Internet das coisas aplicada à análise e correlação de dados da construção civil

Internet of things (IoT) applied to the analysis and correlation of construction data

Catharina Luiza Dias Silva
Universidade de Brasília | Brasília| Brasil | catharinaluiza.dias@gmail.com
Pedro Bonfim Segobia
Universidade de Brasília | Brasília| Brasil | engsegobia@gmail.com
Vitor Pereira Silva
Universidade de Brasília | Brasília| Brasil | victorpereira.14@hotmail.com
Roberta Bastos de Oliveira
Universidade de Brasília | Brasília| Brasil | robertab.o@hotmail.com
Michele Tereza Marques Carvalho
Universidade de Brasília | Brasília| Brasil | micheletereza@gmail.com
Raissa Seichi Marchiori
Pontifícia Universidade Católica de Goiás | Goiânia | Brasil | marchiori.raissas@gmail.com

Resumo

A internet das coisas (IoT) é uma complexa tecnologia de integração ambientada com software e hardware, tecnologia de sensores, de circuitos integrados e de aplicação eletrônica. Esse artigo tem como objetivo contextualizar o uso da IoT na indústria da construção civil por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Procura-se identificar e analisar as inovações na construção civil com o uso de IoT entre 2017 e 2021 a partir de publicações científicas, com a classificação dos artigos em categorias e subcategorias. Nota-se um aumento significativo de produções científicas inseridas na indústria 4.0 que que devem mudar a maneira de construir.

Palavras-chave: Internet das coisas. Inovação. Construção Civil. Gestão de obra. Revisão sistemática.

Abstract

The internet of things (IoT) is a complex integration technology set with software and hardware, sensor technology, integrated circuits and electronic applications. This article aims to contextualize the use of IoT in the construction industry through a Systematic Literature Review (SLR). It seeks to identify and analyze innovations in civil construction with the use of IoT from 2017 to 2021 from scientific publications and to classify articles in categories and subcategories. There has been a significant increase in scientific production in industry 4.0, which is changing the way of building.

Keywords: Internet of Things. Innovation. Civil Construction. Construction Management. Systematic Review.

Como citar:
SILVA , C. L. D.; SEGOBIA , P. B. .; SILVA, V. P. .; OLIVEIRA, R. B. de; CARVALHO , M. T. M. .; MARCHIORI, R. S. . Internet das coisas aplicada à análise e correlação de dados da construção civil. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 3., 2021, Uberlândia. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1-12. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/611. Acesso em: 9 ago. 2021.

INTRODUÇÃO

No decorrer do desenvolvimento de um projeto de construção, são comuns ocorrências como entregas atrasadas ou incorretas, fundos mal alocados e equipamentos extraviados. Várias dessas ocorrências podem ser rastreadas e definidas como falta de comunicação, de coordenação e deficiência na pontualidade e acessibilidade das informações [1].

Apesar do estereótipo de que a indústria da construção é uma indústria tradicional, notoriamente lenta para inovar e relutante em aceitar mudanças, o desenvolvimento tecnológico tornou-se uma força motriz e diferencial para o avanço da construção.

A implementação da internet das coisas (IoT) na indústria da construção é um exemplo da abrangência desse desenvolvimento tecnológico atuando no progresso da construção. A IoT permite que objetos distribuídos sejam detectados e interconectados através da infraestrutura de rede, permitindo assim o monitoramento e controle centralizados desses itens [2]

O uso da IoT está ganhando cada vez mais espaço no setor da construção civil. Como exemplos já aplicados nacional e internacionalmente temos: uso de IoT para a obtenção de dados em construções inteligentes [3], soluções integrando BIM e internet das coisas no ciclo de vida das edificações [4] e veículo aéreo não tripulado como suporte à gestão de fluxos físicos em canteiro de obras [5].

Diante dessa perspectiva, o presente artigo apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) identificando e mapeando as pesquisas referentes a IoT aplicadas pelo mundo na indústria da construção. Em seguida tem-se a classificação em categorias e subcategorias quanto a temas relevantes e sensores utilizados nesse contexto.

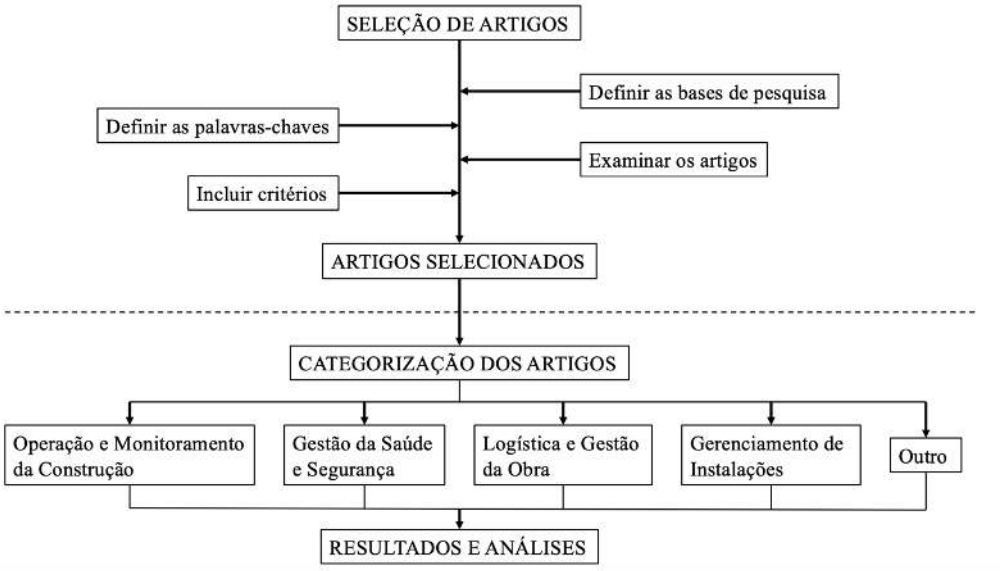
METODOLOGIA DE PESQUISA

Para a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre IoT na construção civil, essa seção detalha as etapas da metodologia a serem empregadas, delineando as linhas gerais dos procedimentos que serão adotados e os conceitos nos quais se baseiam.

A RSL é uma das metodologias mais utilizadas em pesquisas acadêmicas para a análise do estado da arte de diversos temas. Ela contribui para que possam ser identificados, por exemplo, os autores e artigos mais relevantes do tema, além da evolução de tópicos ao longo dos anos. Segundo Ruschel [6], uma RSL tem a função de mapear, avaliar criticamente, consolidar e agregar resultados de estudos primários para a identificação de ênfases, tendências e lacunas de pesquisa.

Para atingir o objetivo da revisão sistemática, foi adotado um processo de dois estágios, como mostra a Figura 1.

Figura 1: Fluxograma utilizado na condução da pesquisa



Fonte: os autores.

SELEÇÃO DOS ARTIGOS

A pesquisa de artigos relevantes foi realizada a partir de mecanismos de pesquisa ScienceDirect e Scopus, ambos bancos de dados de citação e resumo da Elsevier.

A *string* de busca utilizadas foi INTERNET OF THINGS "ou" IOT "e" CIVIL CONSTRUCTION. A pesquisa foi realizada usando o campo título, resumo e palavra-chave (T / A / K) da aba de pesquisa avançada das bases de dados. Adotou-se uma restrição para o ano de publicação dos artigos, de 2017 a 2021, pois o foco dessa revisão são as inovações.

Como resultado da pesquisa, 323 artigos foram selecionados inicialmente a partir das palavras-chave e da restrição de ano de publicação. O conteúdo foi então examinado e aplicou-se critérios para a extração dos artigos que se enquadram na proposta da revisão sistemática.

Os critérios utilizados foram: (1) estar especificamente relacionado à construção civil; (2) apresentar alguma aplicação da IoT na indústria da construção; (3) o artigo deve ser em inglês ou em português. Após a inclusão desses critérios, o número de artigos se reduziu a 109.

A análise de conteúdo é uma técnica relevante para a coleta e organização de informações e para verificar a existência de tendências e padrões nos artigos. A qualitativa concentra-se na inserção de dados em categorias e a quantitativa determina a frequência que um tópico é mencionado dentro dos dados categorizados [7].

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Parte-se para a leitura dos 109 artigos selecionados, que foram produzidos por pesquisadores de 26 países, com destaque para a China e os Estados Unidos.

Os artigos foram divididos em categorias e subcategorias, levando como base a categorização proposta por Tang *et al.* [8] e Jia *et al.* [9]. As identificadas foram: operação e monitoramento de construção, gestão da saúde e segurança, logística e gestão de obra, gerenciamento de instalações entre outros.

OPERAÇÃO E MONITORAMENTO DA CONSTRUÇÃO

Com o surgimento de objetos inteligentes ligados a IoT, a integração de dados passou a ser em tempo real, auxiliando as operações e o gerenciamento da construção. A integração de sensores com BIM coleta informações continuamente e podem realizar o compartilhamento e comunicação dessas informações por meio da IoT com outros objetos inteligentes ou com a equipe de supervisão da construção [8], trazendo assim diversos benefícios a partir do monitoramento da construção em vários aspectos.
Criou-se subcategorias para acolher esses aspectos:

- Monitoramento Local do Ambiente: detecção de ocupação do espaço em tempo real [10-12]; uso do sinal de Wi-Fi para monitorar e mapear estruturas desabadas [13], plataforma de análise geotécnica tridimensional [14]; tecnologia para estudo do projeto preliminar do custo de construção, duração e resistência ao cisalhamento [15]; uso do WEB-GIS para monitoramento de conservação preventiva [16]; uso de hardware para monitoramento da qualidade da construção [17];
- Monitoramento de Recursos: sensores são usados para mapear o movimento da frente de trabalho, dos materiais e de equipamentos em canteiros de obras, como também monitoramento do fornecimento de água [18-19];
- Comunicação e Colaboração: A operação de construção pode ser aprimorada usando comunicação em tempo real e colaboração com dispositivos BIM e IoT [20], de forma a correlacionar dados de construção em tempo real colhidos a partir de sensores e dispositivos móveis; utiliza-se também da IoT para inovação na educação [21] e para transformações digitais através de construções eficientes [22];
- Desempenho de Construção e Monitoramento de Progresso: O desempenho da construção e o monitoramento do progresso podem se beneficiar dos dispositivos IoT, como por exemplo, é possível capturar, em tempo real, com uso de sensores, dados do desempenho real, status do projeto, atividade de construção e contexto. Criando modelos e aplicando esses dados em ferramentas BIM, é possível usar essas informações para monitorar o processo de construção, atualizar os cronogramas de construção e fazer controle de qualidade [8; 23]. Uma aplicação é a integração da IoT em fluxos de trabalho operacionais para tomada de decisão automatizada e em tempo real em operações de construção repetitivas [24]. Outra utilização é a melhora de projetos e performance da construção usando-se de wireless 5G [25].

GESTÃO DA SAÚDE E SEGURANÇA

Saúde e segurança se enquadram nas preocupações especializadas e de alto impacto, por conta dos riscos associados aos trabalhadores e ocupantes da edificação e da grande regulamentação legislativa [8].

A utilização de sensores para monitoramento local da segurança e saúde foi amplamente implementada por questões de segurança, tanto dos trabalhadores e ocupantes, quanto da estrutura. Um sistema autônomo baseado na IoT para segurança dos trabalhadores em canteiros de obras com estratégias de alarme, monitoramento e posicionamento em tempo real [26-27]. Outro exemplo é um sistema de aviso de barreira de segurança para canteiros de obras subterrâneas usando tecnologias de Internet das Coisas [28].

LOGÍSTICA E GESTÃO DA OBRA

A aplicação da internet das coisas na logística e gestão da obra auxilia a automação em pré-moldados, no gerenciamento de construção enxuta e no gerenciamento do canteiro de obras [8].
Sobre as subcategorias foi possível identificar:

- Automação em Pré-moldados: Dispositivos BIM e IoT, como RFID, são ferramentas importantes para o processo de automação em pré-moldados, atuam na logística, rastreamento, visualização com modelo BIM e montagem automática [8]. Vários autores publicaram pesquisas com propostas de soluções em pré-moldados [29-31];
- Gerenciamento do Canteiro de Obras: Aplicativos estão sendo elaborados, com ferramentas da IoT, para oferecer suporte à colaboração, controle, monitoramento, gerenciamento de suprimentos, segurança e outros processos de construção [32];
- *Lean Construction*: Com a aplicação da IoT, a comunicação entre sistemas, humanos e dispositivos em toda a cadeia de suprimentos e o ciclo de vida do projeto de construção podem ser automatizados, assim sendo possível avaliar o progresso do trabalho, as restrições e produtividade, a partir de um fluxo de informação constante e confiável [8]. Essa aplicação acelera o desenvolvimento da *Lean Construction*;
- Outros: Essa subcategoria agrupa os artigos selecionados que fazem parte da categoria Logística e gestão de Obra, mas não se encaixam em nenhuma das subcategorias supracitadas.

GERENCIAMENTO DE OPERAÇÕES

A Internet das Coisas (IoT) fornece caminhos para que os gerentes de instalações automatizem os processos de operação predial e manutenção, de gestão do desempenho de edifícios, gerenciamento de energia e desenvolvimento de estratégias para respostas a desastres e emergências [33]. Tais como:

- Operação Predial e Manutenção: A partir de dispositivos de IoT pode-se criar plataformas que auxiliam práticas de operação predial e manutenção, como, por exemplo, acesso a dados em tempo real, verificação de manutenção, criação e atualização de uma plataforma digital da edificação real; gerenciamento de espaço [8] e alerta de segurança estrutural através de dispositivos wireless, algoritmos e softwares [34-37];
- Gestão do Desempenho do Edifício: Com a introdução da IoT na gestão do desempenho do edifício, é possível aumentar o desempenho no

gerenciamento de dados de desempenho de construção em tempo real, como também no monitoramento e avaliação do desempenho, também é possível monitorar a qualidade do ambiente interno e melhorando o conforto do usuário [8];

- Gerenciamento de Energia: A eficiência energética dos edifícios é tema de várias pesquisas na academia, isso ocorre porque representam grande parte do consumo total de energia no mundo [9]. Sistemas de gerenciamento de energia predial são desenvolvidos para ajudar a controlar, monitorar e otimizar o uso atual de energia predial, os dados avaliados por tais sistemas são coletados a partir de sensores e pelo monitoramento da ocupação do ambiente [38-39];
- Resposta a Emergência e Desastre: A tecnologia e ferramentas da internet das coisas podem gerar soluções eficazes em resposta a emergência e desastre de edificações, auxiliam na localização interna de vítimas, cálculo do caminho mais curto de evacuação e resposta automática a incidentes [8; 40-41], auxiliam também no fornecimento de parâmetros à integridade estrutural do edifício através de um inventário [42].

OUTRO

Essa categoria agrupa os artigos selecionados que não se encaixam em nenhuma das categorias supracitadas.

ANÁLISE QUANTITATIVA

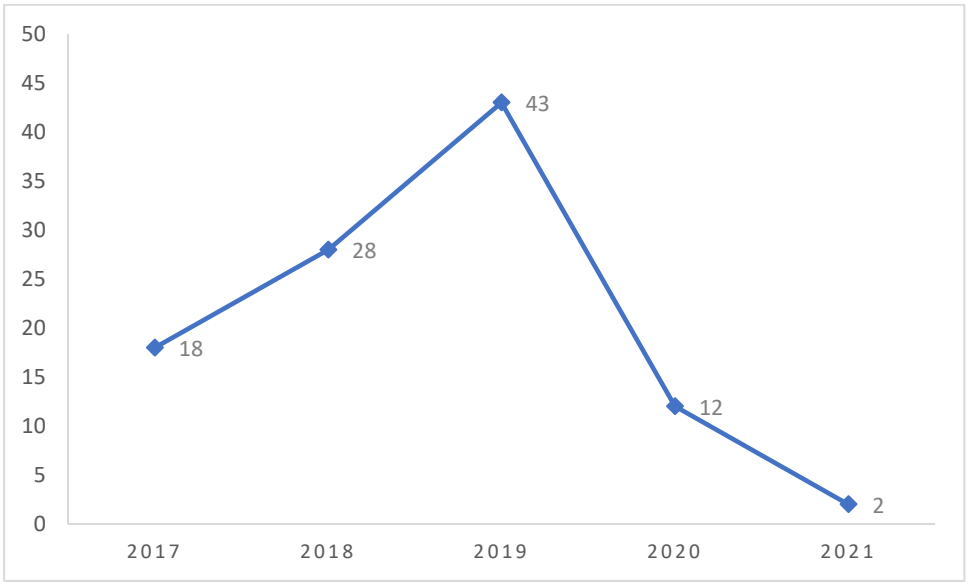
Os artigos foram agrupados em relação ao ano de publicação, como mostra a Figura 2, que permite avaliar a evolução na quantidade de trabalhos publicados. Nota-se um pico considerável no ano de 2019, e uma queda de mais de 30% em 2020 quanto ao ano anterior. Pode-se correlacionar esse fato a pandemia da Covid-19, que ocasionou a diminuição da produção científica, sobretudo as relacionadas a pesquisas em campo. Acredita-se que, apesar do ano de 2021 ainda estar em curso, os artigos nesse assunto, dentro dos critérios aplicados também não serão expressivos.

Após a identificação das categorias, foi possível ainda a divisão em subcategorias para uma melhor visualização da concentração de publicações, conforme mostrado na Figura 3. É importante ressaltar que alguns artigos foram classificados em mais de uma categoria ou subcategoria, justificando o somatório final acima de 110.

A categoria Gerenciamento de Instalações apresentou o maior número de artigos, 42 quando somados os artigos das subcategorias que a compõem. É importante destacar que esta categoria está focada no pós-obra, com enfoque para manutenções e desempenho da edificação.

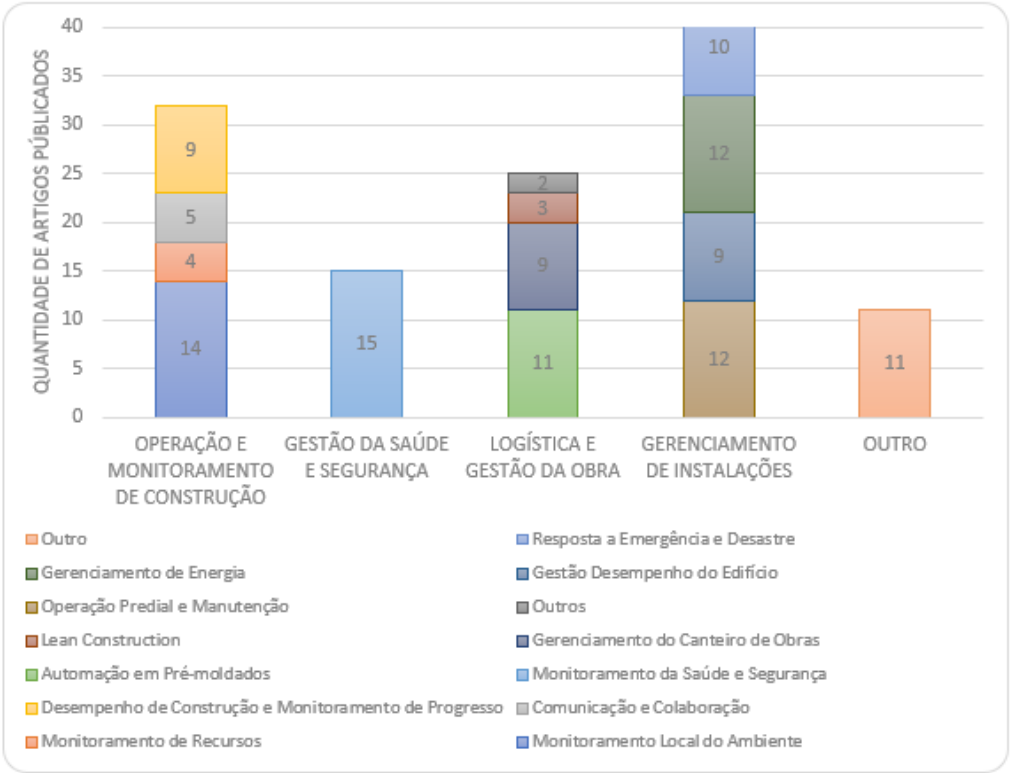
Já as subcategorias que mais têm sido estudadas são o Monitoramento Local da Segurança e Saúde, Gerenciamento de Energia e Operação Predial e Manutenção sendo a primeira com enfoque na Segurança e Saúde de usuários e estruturas, o segundo com enfoque na eficiência energética das edificações e o último com enfoque no pós-obra na parte de manutenção das estruturas.

Figura 2: Evolução das publicações entre 2017 e 2021



Fonte: os autores.

Figura 3: Categorização geral dos artigos selecionados



Fonte: os autores.

SENSORES NA APLICAÇÃO DA IOT NA CONSTRUÇÃO CIVIL

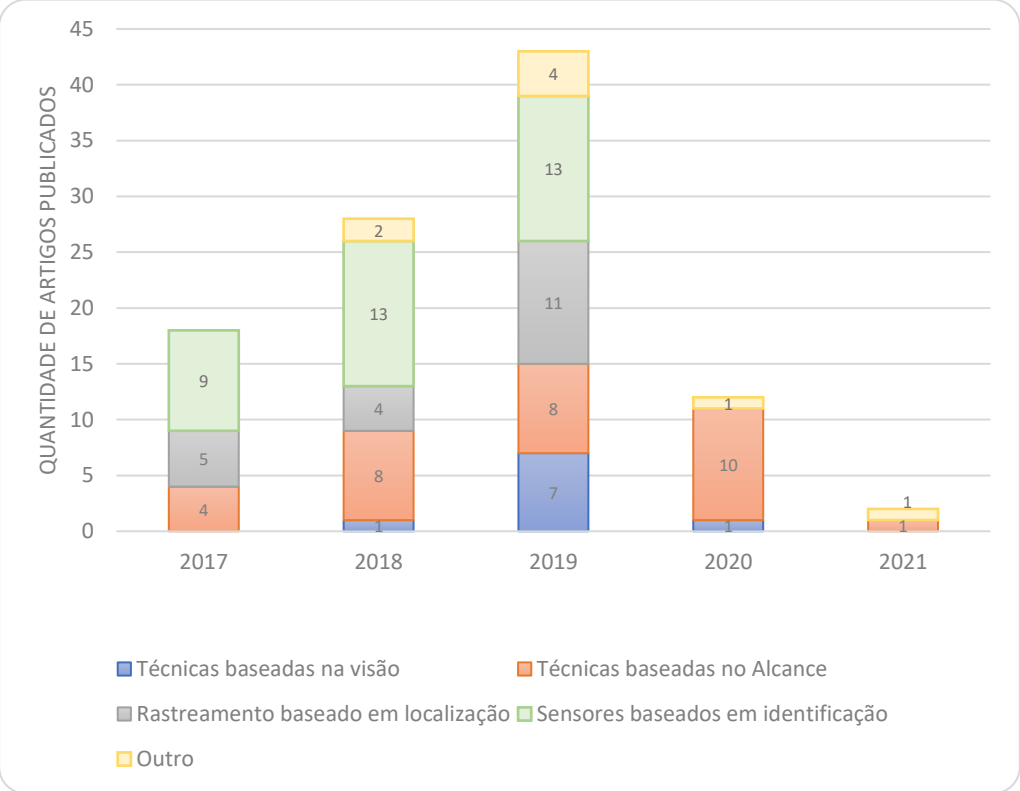
Para identificar e proporcionar uma análise mais detalhada dos tipos de sensores que são usualmente implementados no ecossistema da construção civil e que podem fazer parte de redes IoT no canteiro de obras e na edificação pós-obra, as técnicas de

utilização dos sensores foram divididas em categorias levando como base a categorização proposta por Louis e Dunston [19], sendo:

- Técnicas Baseadas na Visão: Essa técnica se baseia na utilização de câmeras para automatizar tarefas de gerenciamento de projeto e para medição de progresso executado;
- Técnicas Baseadas em Alcance: Essa técnica utiliza a detecção de luz e alcance (LiDAR) e distância e alcance do laser (LADAR) para aplicações referentes à construção, como detecção de falhas e monitoramento do progresso;
- Rastreamento Baseado em Localização: Essa técnica utiliza sistemas de localização, como o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e sistemas de banda ultra-larga (UWB) para rastreamento de atividades da construção;
- Sensores Baseados em Identificações: Essa técnica é baseada em um sistema de sensores, como códigos de barras e dispositivos de identificação por radiofrequência (RFID), eles são utilizados para rastreamento de suprimentos no canteiro de obras;
- Outro: Essa categoria agrupa os artigos selecionados que não se encaixam em nenhuma das categorias proposta por Louis e Dunston [19].

A categorização geral dos artigos revisados com base nas categorias de tipos de sensores propostas é apresentada na Figura 4, juntamente com as quantidades de artigos de cada categoria, e por ano de publicação. Ressalta-se que alguns artigos abordam mais de um tipo de sensor.

Figura 4: Categorização quanto ao tipo de sensores utilizados ao longo dos anos



Fonte: os autores.

Os Sensores Baseados em Identificação são os mais abordados em todos os anos analisados, principalmente nas categorias de Gerenciamento de Instalações e Logística e Gestão da Obra, no entanto é possível identificar o Rastreamento Baseado em Localização e Técnicas Baseadas na Visão aumentaram significativamente no último ano, sendo que as Técnicas Baseadas na Visão, sequer apareceram nos artigos de 2017, mostrando-se uma técnica promissora, principalmente na Operação e Monitoramento da Construção As técnicas baseadas no alcance, também foram expressivas proporcionalmente em todos os anos, principalmente no monitoramento e desempenho no pós-obra, como pode ser observado nas pesquisas de Abruzze *et al*. [34], Lin *et al*. [35], Zabielski e Srokosz [37], Sánchez-Aparicio *et al*. [16] e Ershadul Haque *et al* [36]. As discussões mais recentes ainda abordam a importância do 5G para evolução da utilização da IoT na Construção Civil [25].

CONCLUSÕES

A identificação das inovações na construção civil com o uso da IoT foi verificada a partir de uma RSL. A análise das inovações teve início na categorização dos artigos em detrimento do nicho de aplicação, com a identificação de 5 categorias principais.

O Gerenciamento de Instalações foi a categoria que mais se destacou em número de artigos, bem como aumento de pesquisas durante os anos analisados, o que demonstra uma tendência no estudo do desempenho e manutenção predial ligado ao monitoramento integrado a IoT.

As categorias de Logística e Gestão de Obra e Operação e Monitoramento da Construção, apresentaram um aumento nas abordagens das pesquisas, e podem estar relacionadas aos Sensores utilizados, com a inovação da utilização da IoT.

Os Sensores Baseados em Identificação apresentaram maior destaque, contudo, foi possível observar que as publicações nos últimos anos apresentaram uma estabilidade em relação a sua aplicação, mas ainda assim é bastante aplicada, principalmente no Gerenciamento de Instalações e Logística e Gestão da Obra.

As Técnicas Baseadas na Visão e no Rastreamento Baseado em Localização, foram o que cresceram em aplicação na construção civil, com aplicações diretamente relacionadas a etapa construtiva, como a Operação e Monitoramento da Construção e Logística e Gestão da Obra. Contudo, mais recentemente, as técnicas baseadas no alcance apresentaram um crescimento significativo em aplicações na construção civil, estando diretamente relacionada ao monitoramento do pós-obra.

Quanto às lacunas encontradas, percebe-se que as categorias de Gestão da Saúde e Segurança e Outros possuem menores abordagens em pesquisas na área de IoT, apesar de serem áreas de extrema importância a serem exploradas. Vale salientar também a queda expressiva de estudos na área a partir do ano de 2020, correlacionado ao acontecimento da pandemia, a qual provocou dificuldades nos estudos e pesquisas em campo. Acredita-se que esta queda ainda permanecerá durante o ano de 2021 pelos dados já apresentados.

Salienta-se, assim, a significância desse trabalho com a identificação das tendências de pesquisa e das lacunas encontradas para a importante relação entre IoT e construção civil. Um maior detalhamento dos artigos mapeados pode ser visto em Silva [43].

REFERÊNCIAS

[1] NIU *et al*. An SCO-enabled logistics and supply chain-management system in construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 143, p. 04016103, 2017.

[2] NIU, Y.; ANUMBA, F.C.; LU, W. Taxonomy and Deployment Framework for Emerging Pervasive Technologies in Construction Projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, p. 04019028, 2019.

[3] GAO, X. *et al*. 2021. Internet of Things Enabled Data Acquisition Framework for Smart Building Applications. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, p. 04020169. DOI: https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001983.

[4] MACHADO, F. A.; RUSCHEL, R. C. Soluções integrando BIM e Internet das Coisas no ciclo de vida da edificação: uma revisão crítica. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 204-222, set. 2018. ISSN 1980-6809. DOI: https://doi.org/10.20396/parc.v9i3.8650216.

[5] SACRAMENTO, I. C. C.; CAMPOS, V. R.; FERNANDES, V. de O.; FERREIRA, E. de A. M. Veículo aéreo não tripulado como suporte à gestão de fluxos físicos em canteiros de obra. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 2019**. Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2019. p. 1-10. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/4. Acesso em: 30 jul. 2021.

[6] RUSCHEL, R. C. *et al*. Revisões sistemáticas da Literatura: Parte II. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 8, n. 4, p. 217-219, dez. 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.20396/parc.v8i4.8652036

[7] SIRAJ, N. B.; FAYEK, A. R. Risk Identification and Common Risks in Construction: Literature Review and Content Analysis. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n.9, p. 03119004, 2019.

[8] TANG, S*. et al.* A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. **Automation in Construction**, v. 101, p. 127 - 139, 2019.

[9] JIA, M. *et al*. Adopting Internet of Things for the development of smart buildings: A review of enabling technologies and applications. **Automation in Construction**, v. 101, p. 111 - 126, 2019.

[10] YAN, W.; SAKAIRI, T. Geo CPS: Spatial challenges and opportunities for CPS in the geographic dimension. **Journal of Urban Management**, Hangzhou, v. 8, n.3, p. 331-341, 2019.

[11] SALIMI, S.; HAMMAD, A. Critical review and research roadmap of office building energy management based on occupancy monitoring. **Energy and Buildings**, v. 182, p. 214 - 241, 2019.

[12] SHEN, W.; NEWSHAM, G.; GUNAY, B. Leveraging existing occupancy related data for optimal control of commercial office buildings: A review. **Advanced Engineering Informatics**, v. 33, p. 230 - 242, 2017.

[13] KHAN, M. F. *et al*. Wi-Fi frequency selection concept for effective coverage in collapsed structures. **Future Generation Computer Systems**, v. 97, p. 409 - 424, 2019.

[14] LEE, D. *et al*. Generation of 3D Terrain Map using Cell Deviation Algorithm for Earthwork. **Procedia Engineering**, v. 196, p. 436 - 440, 2017.

[15] SHARMA *et al*. A Survey on Applications of Artificial Intelligence for Pre-Parametric Project Cost and Soil Shear-Strength Estimation in Construction and Geotechnical Engineering. **Sensors**, v. 11, 2021.

[16] SÁNCHEZ-APARICIO *et al*. Web-GIS approach to preventive conservation of heritage buildings. **Automation in Construction**, v. 118, 2020.

[17] CHEN, F. *et al.* Real-time monitoring of construction quality for gravel piles based on Internet of Things. **Automation in Construction**, v. 116, p. 103-228, 2020.

[18] CHEN, Y.; HAN, D. Water quality monitoring in smart city: A pilot project. **Automation in Construction**, v. 89, p. 307 - 316, 2018.

[19] ZHANG, F.; XUE, H.; ZHANG, J. Multi-source big data dynamic compressive sensing and optimization method for water resources based on IoT. **Sustainable Computing: Informatics and Systems**, v. 20, p. 210 - 219, 2018.

[20] IBEM, E. O.; LARYEA, S. Survey of digital technologies in procurement of construction projects. **Automation in Construction**, v. 46, p. 11 – 21, 2014.

[21] WAHBEH *et al*. Digital Twinning of the Built Environment - An interdisciplinary Topic for innovation in didactics. **Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 4, 2020.

[22] ERNSTSEN *et al*. How Innovation Champions Frame the Future: Three Visions for Digital Transformation of Construction. **Journal of Construction and Enginnering Management**, v. 147, 2021.

[23] ALAVI, A. H.; BUTTLAR, W. G. An overview of smartphone technology for citizen-centered, real-time and scalable civil infrastructure monitoring. **Future Generation Computer Systems**, v. 93, p. 651 - 672, 2019.

[24] LOUIS, J.; DUNSTON, P. S. Integrating IoT into operational workflows for real-time and automated decision-making in repetitive construction operations. **Automation in Construction**, v. 94, p. 317 - 327, 2018.

[25] FANG, Z. Construction planning of university discipline based on 5G networks and Internet of Things system. **Journal of Microprocessors and Microsystems**, 2020.

[26] KANAN, R.; ELHASSAN, O.; BENSALEM, R. An IoT-based autonomous system for workers' safety in construction sites with real-time alarming, monitoring, and positioning strategies**. Automation in Construction**, v. 88, p. 73-86, 2018.

[27] ZHOU, C.; DING, L. Y. Safety barrier warning system for underground construction sites using Internet-of-Things technologies. **Automation in Construction,** v. 83, p. 372 - 389, 2017.

[28] SRINIVAS, A.; MANIVANNAN. S. Preventing Collaborative Black Hole Attack in IoT Construction Using a CBHA–AODV Routing Protocol. **International Journal of Grid and High Performance Computing**, v. 12, 2020.

[29] LI, C. Z. *et al*. An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction. **Automation in Construction**, v. 89, p. 146 - 161, 2018.

[30] ZHONG, R. Y. *et al*. Prefabricated construction enabled by the Internet-of-Things. **Automation in Construction**, v. 76, p. 59 - 70, 2017.

[31] YANG, Y.; PAN, M.; PAN, W. 'Co-evolution through interaction' of innovative building technologies: The case of modular integrated construction and robotics. **Automation in Construction**, v. 107, 2019.

[32] KOCHOVSKI, P.; STANKOVSKI, V. Supporting smart construction with dependable edge computing infrastructures and applications. **Automation in Construction**, v. 85, p. 182 - 192, 2018.

[33] PISHDAD-BOZORGI *et al*. Planning and developing facility management enabled building information model (FM-enabled BIM). **Automation in Construction**, v. 87, p. 22 - 38, 2018.

[34] ABRUZESSE, D. *et al*. IoT sensors for modern structural health monitoring. A new frontier. **Procedia Structural Integrity**, v. 25, p. 378-385, 2020.

[35] LIN, C. *et al*. Optimal arrangement of structural sensors in soft rock tunnels based industrial IoT applications. **Computer Communication**, v. 156, p. 159-167, 2020.

[36] ERSHADUL HAQUE *et al*. Comparative Study of IoT-Based Topology Maintenance Protocol in a Wireless Sensor Network for Structural Health Monitoring. **Remote Sens**, v. 12, 2020

[37] ZABIELSKI, J.; SROKOSZ, P., Monitoring of Structural Safety of Buildings Using Wireless Network of MEMS Sensors. **Journal Buildings**, 2020.

[38] TERROSO-SAENZ, F. *et al*. An open IoT platform for the management and analysis of energy data. **Future Generation Computer Systems**, v. 92, p. 1066 - 1079, 2019.

[39] HARAS, M.; SKOTNICKI, T. Thermoelectricity for IoT - A review. **Nano Energy**, v. 54, p. 461 - 476, 2018.

[40] NASER, M. Z.; KODUR, V. K. R. Cognitive infrastructure - a modern concept for resilient performance under extreme events. **Automation in Construction**, v. 90, p. 253 - 264, 2018.

[41] HUANG, Z. *et al*. Damage detection and quantitative analysis of shield tunnel structure. **Automation in Construction**, v. 94, p. 303 - 316, 2018.

[42] OLIVITO, *et al*. Inventory and monitoring of historical cultural heritage buildings on a territorial scale: a preliminary study of structural health monitoring based on the CARTIS approach. **Acta Imeko**, v. 10, 2021.

[43] SILVA, C. L. D. **Internet das coisas aplicada à análise e correlação de dados da construção civil**. 2020. 66 p. Monografia de Projeto Final – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.