



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

APLICAÇÕES DE REALIDADE AUMENTADA E VIRTUAL NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL - REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA¹

SALGADO, Hugo (1); PASDIORA, Livia (2); SCHEER, Sergio (3); SANTOS, Adriana (4)

- (1) Universidade Federal do Paraná, hugo.salgado93@hotmail.com
(2) Universidade Federal do Paraná, liviapasdiora@gmail.com
(3) Universidade Federal do Paraná, sergioscheer@gmail.com
(4) Universidade Federal do Paraná, adrianapls@gmail.com

RESUMO

A construção civil vem sofrendo diversas transformações por conta da revolução tecnológica que vivenciamos nos últimos anos. Os processos, anteriormente feitos em papel e comunicação verbal, migraram para plataformas digitais. Porém, a forma que essa troca de informações ocorre ainda é ineficiente. Para contornar esse problema, algumas tecnologias de visualização surgem como facilitadoras, a exemplo da Realidade Aumentada e Virtual. Tendo em vista esse cenário, a presente revisão foi desenvolvida buscando analisar como a indústria da arquitetura, construção e engenharia (AEC) vem utilizando RA e RV para melhorar seus processos. A primeira etapa foi a definição de palavras chave e busca em quatro diferentes bases de pesquisa. Para análise e quantificação dos dados, as seguintes perguntas foram feitas: Quem foram os autores do artigo? (who); em que ano os estudos foram publicados? (when); em qual país as pesquisas foram conduzidas? (where); quais tecnologias foram utilizadas juntamente com a RA e RV? (what)? Qual a motivação da pesquisa? (why); qual o método que os autores utilizaram para desenvolver a pesquisa? (how). O resultado das análises conclui que a academia tem voltado cada vez mais suas pesquisas para a área tecnológica, buscando sempre maior eficiência nas atividades de construção civil.

Palavras-chave: Realidade Virtual. Realidade Aumentada. Construção civil.

ABSTRACT

Civil construction is passing through several transformations due to the technological revolution that we have experienced in recent years. The processes, previously done on paper and verbal communication, migrated to digital platforms. However, the way this information exchange is carried out is still inefficient. To circumvent this problem, some visualization technologies appear as facilitators, such as Augmented and Virtual Reality. Considering this scenario, this review was developed aiming to analyze how the architecture, construction and engineering (AEC) industry has been using AR and VR to improve its processes. The first step was the definition of keywords and search in four different search bases. For data analysis and quantification, the following questions were asked: Who were the authors of the article? (who); when were the studies published? (when); in which country were the surveys conducted? (where); which technologies were used together with AR and VR? (what)? What is the motivation of the

¹ SALGADO, Hugo; PASDIORA, Livia; SERGIO, Scheer, SANTOS, Adriana. Aplicações de Realidade Aumentada e Virtual na Indústria da construção civil – revisão sistemática da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

research? (why); what method did the authors use to develop the research? (how). The results of the analyzes conclude that the academy has increasingly turned its research to the technological area, always seeking greater efficiency in the activities of civil construction.

Keywords: Virtual Reality. Augmented Reality. Civil construction.

1 INTRODUÇÃO

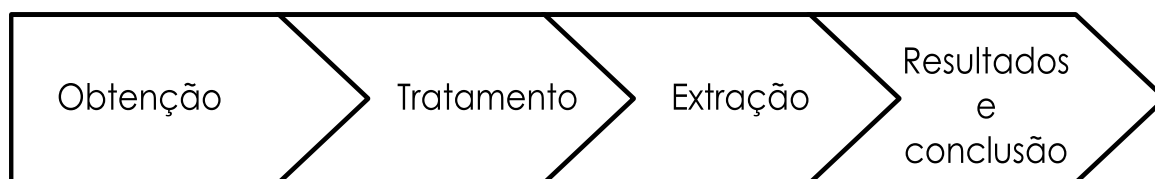
A digitalização na construção civil vem crescendo significativamente na última década (CHU et al., 2018), mudando sua forma de comunicação, usualmente feita em papel, para formatos digitais. Porém, segundo Meza, Turk e Dolenc (2014), mesmo com esse avanço, ainda existem diversas limitações no funcionamento de um modelo digitalizado de construção, pois os arquivos normalmente utilizados na indústria de arquitetura, engenharia e construção (AEC) exigem grande capacidade de processamento, além de serem melhor aproveitados em dispositivos com um tamanho razoável de tela. Tais dispositivos, normalmente computadores e notebooks, estão frequentemente localizados em escritórios, dificultando o fluxo de informações com o canteiro de obras. Com o avanço da capacidade de processamento em dispositivos móveis, como *tablets* e *smartphones*, duas tecnologias se destacam como possível solução para esse problema: as Realidades Aumentada (RA) e Virtual (RV), que permitem a imersão e interação do usuário com objetos e informações digitais. Milgram e Colquhoun (1999) definem a Realidade Aumentada como uma tecnologia capaz de adicionar elementos virtuais em cenas reais, permitindo a interação entre um ambiente real, enquanto o usuário recebe informações provenientes do computador. Já a Realidade Virtual, de acordo com Schnabel (2009), consiste na imersão do usuário em um ambiente totalmente virtual, permitindo também a interação entre os usuários e a cena virtual. Inicialmente voltadas a jogos, as Realidades Virtual e Aumentada apresentam grande potencial de uso na indústria AEC.

Desse modo, visto o potencial dessas tecnologias para o avanço digital na construção civil, a presente pesquisa busca fazer um levantamento, a partir de uma revisão sistemática da literatura, acerca do modo como a RA e RV estão sendo aplicadas na construção civil, nas mais diferentes fases do ciclo de vida de uma edificação.

2 MÉTODO

O método utilizado nesta pesquisa foi o de uma revisão sistemática de literatura sobre o tema tecnologias de Realidade Aumentada/Virtual, com o intuito de elucidar quais áreas da AEC estão aplicando essas tecnologias e para quais finalidades. Autores como Gough e colaboradores e Dresch e colaboradores (2012; 2015) ressaltam a importância de tais revisões, afirmando que as mesmas auxiliam na consolidação de resultados de trabalhos preliminares, através de métodos explícitos e rigorosos que podem ser replicados por outros pesquisadores. As etapas de desenvolvimento da pesquisa estão ilustradas na Figura 1.

Figura 1. Etapas da pesquisa



Fonte: Os autores

A primeira etapa consistiu na definição de palavras chaves e critérios de buscas, relacionados com o tema a ser tratado. Em seguida quatro bases de dados científicas foram selecionadas para realizar as buscas, IEEE, ScienceDirect, Scopus® e Web of Science.

Em seguida os artigos obtidos foram selecionados adotando o método PRISMA descrito por Moher (2009) e pelo critério de classificação de artigos acadêmicos Ordinatío proposto por Pagani e colaboradores (2015). Ao final desta etapa, 62 artigos foram selecionados, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1. Buscas e tratamento dos dados

Palavras chaves e combinações	Science Direct	IEEE	Scopus®	WOS	Total
TITLE-ABS-KEY ("*reality" OR "reality") AND "construction")	222	136	1744	779	2881
Duplicatas	1889				992
Não relevantes	859				133
Excluídos após leitura dos resumos	51				82
Excluídos após leitura integral dos artigos	20				62
Número de estudos efetivos	62				

Fonte: Os autores

Para a análise dos artigos obtidos, a ferramenta 5W1H foi utilizada para organizar de forma estruturada o conteúdo de cada publicação. Essa ferramenta auxilia na extração de informações pertinentes através de simples perguntas como Who ("Quem"), When ("quando"), Where ("aonde"), What ("o quê"), Why ("por quê") e How ("Como").

Concluída a etapa anterior, as respostas foram analisadas de forma a gerarem resultados e conclusões pertinentes ao foco desta pesquisa.

3 RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos através das leituras dos 62 artigos com base na ferramenta 5W1H.

3.1 Who ("quem") – autores da publicação.

Analisando a autoria de cada artigo, foram identificados 195 autores diferentes. Dentre eles, apenas 5 estão presentes em mais de 2 publicações, como evidenciado na Tabela 1.

Tabela 1 – Pesquisadores com mais de duas publicações

Pesquisador	Instituição	Publicações
Wang, Xiangyu	Curtin University	5
Park, Chan-Sik	Chung-Ang University	4
Du, Jing	Texas A&M University	3
Golparvar-Fard, Mani	Virginia Tech	3
Shi, Yangming	Texas A&M University	3

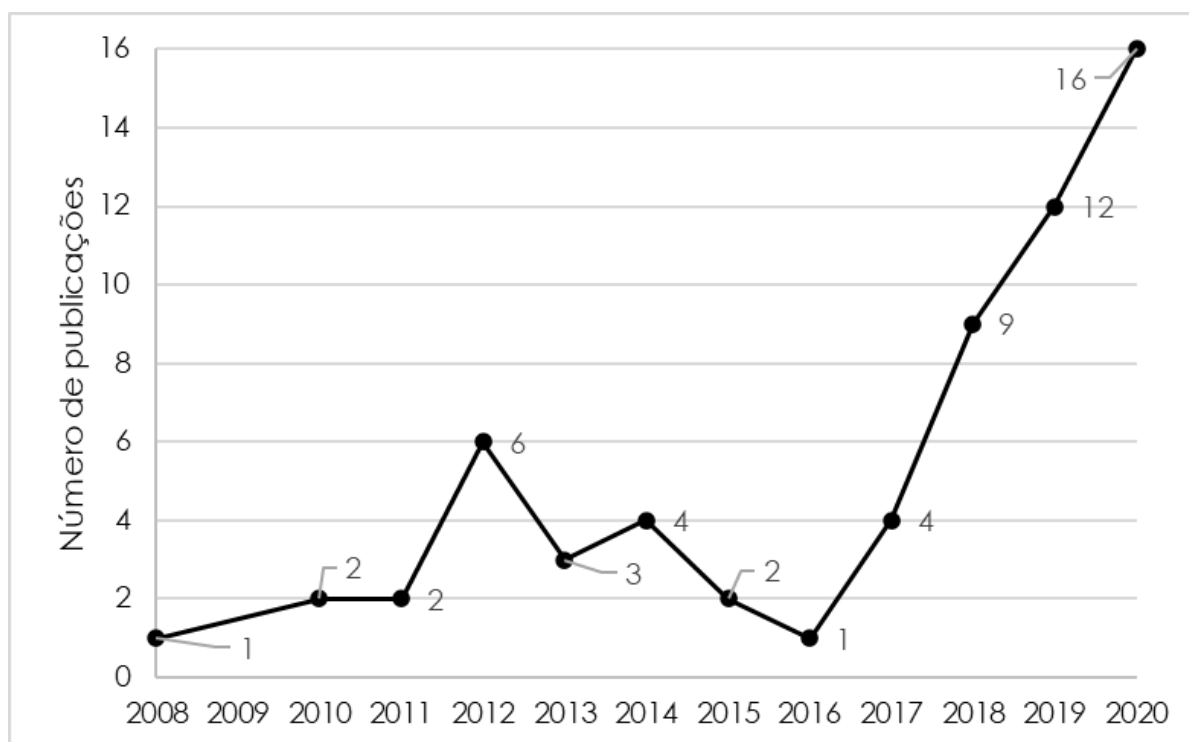
Fonte: Os autores

Analisando a tabela acima, constatou-se que a baixa quantidade de pesquisadores, com mais de duas publicações, evidencia um ambiente de pesquisa heterogêneo, onde a variedade de autores colabora para diversidade de temas e abordagens.

3.2 When (“quando”) – ano de publicação do estudo

Entre as publicações selecionadas a mais antiga é do ano 2008, com apenas uma publicação. O Gráfico 1, exibe a distribuição da quantidade de artigos, por ano, no período de tempo entre 2008 até 2020.

Gráfico 1 – Número de publicações obtidas por ano



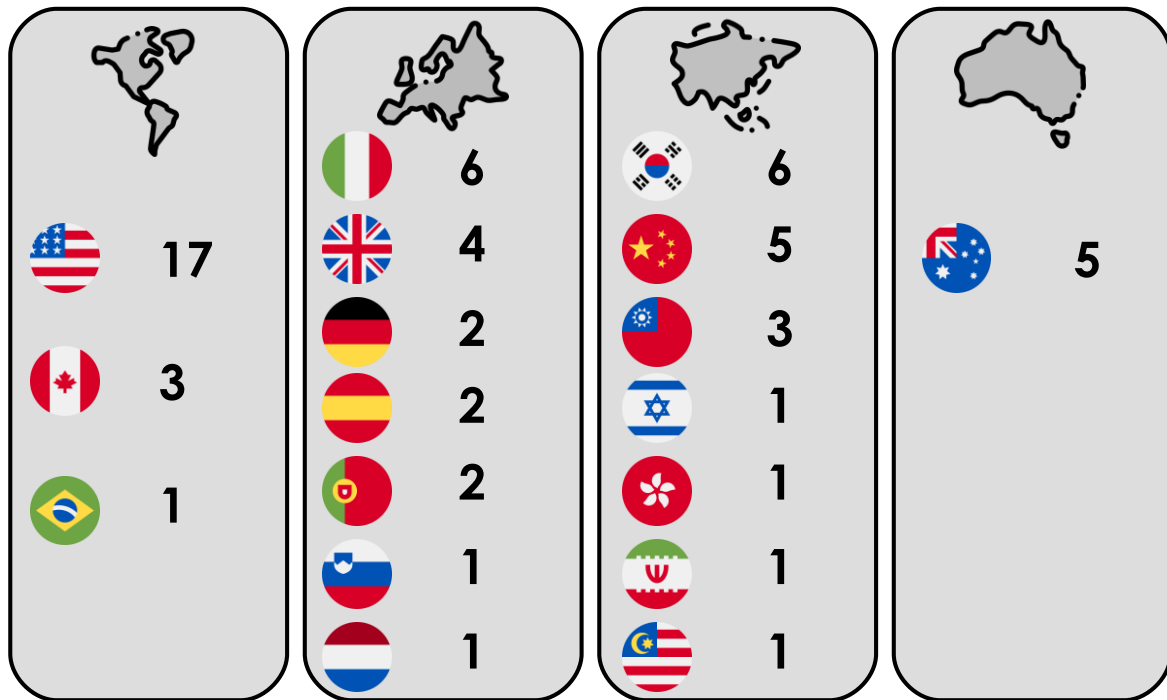
Fonte: Os autores

Observando o gráfico acima, concluímos que a partir do ano de 2016, o número de publicações sobre Realidade Aumentada/Virtual vem crescendo, correspondendo a mais de 70% do total de publicações. Esse crescimento nos últimos 4 anos comprova a contemporaneidade do tema, que passa a ser tratado com mais frequência com o passar dos anos.

3.3 Where (“onde”) – local de realização dos estudos

Quanto ao local de desenvolvimento dos artigos, destaca-se os Estados Unidos, com 17 publicações. Acreditamos que a ocorrência deste fato se deve pela concentração de grandes empresas desenvolvedoras de tecnologias de Realidade Aumentada/Virtual em território estadunidense, o que age como um incentivo para pesquisadores da área desenvolverem protótipos, ferramentas e soluções sobre este tema. A Figura 2, apresenta a totalidade de artigos selecionados por país.

Figura 2 – Número de publicações obtidas, por país.



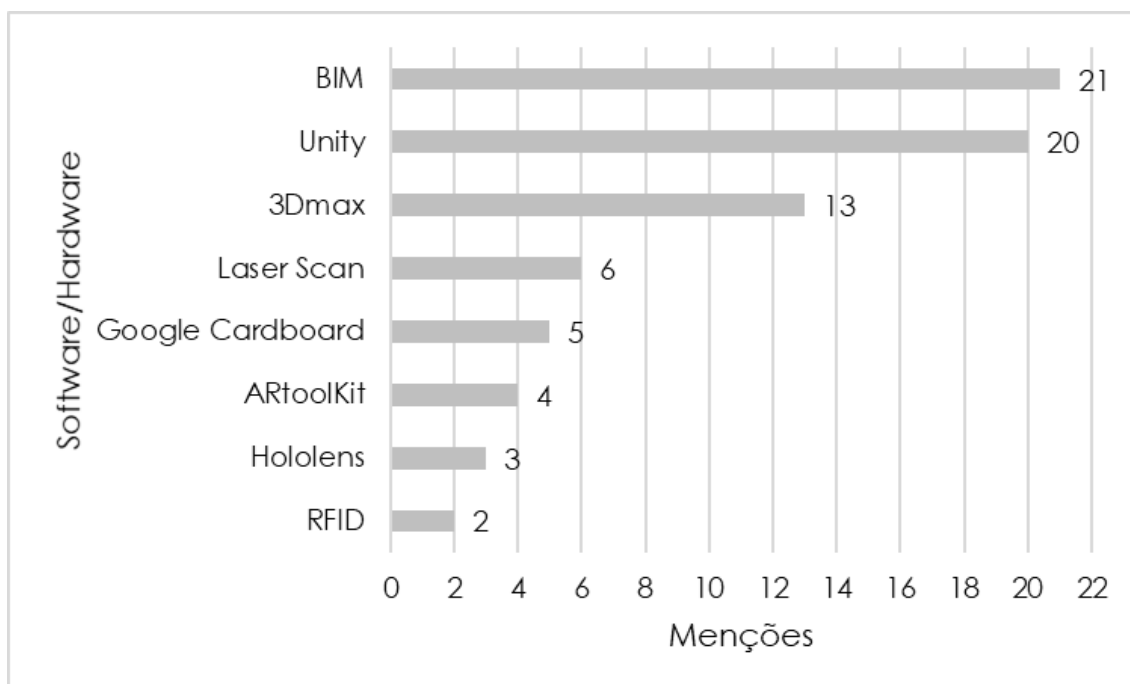
Fonte: Os autores

A figura acima mostra que 18 países e 4 continentes diferentes, apresentam interesse no tema tratado, evidenciando que a utilização de tecnologias de Realidade Aumentada/Virtual na construção é de interesse global.

3.4 What (“o que”) – tecnologias utilizadas

Nessa seção, foram levantados quais hardwares e/ou softwares foram utilizados para possibilitar o uso de RA e RV no contexto da construção civil. O Gráfico 2 mostra as tecnologias que tiveram maiores menções dentre os artigos analisados.

Gráfico 2 – Recursos tecnológicos com maior número de menções



Fonte: Os autores

Conforme observado no gráfico anterior, o Building Information Modelling (BIM) foi a tipologia de *software* mais utilizada nos artigos revisados, com 38% das menções. Apontado como o pioneiro na digitalização da indústria AEC, o BIM atua como uma plataforma que integra diversas informações, além de ser um *software* de modelagem. Porém sua adoção enfrentou algumas barreiras na construção civil. Uma delas é a grande quantidade de dados gerada pelo modelo, o que prejudica a forma de informações. A RA e a RV são importantes aliados para contornar essa barreira, sendo tecnologias complementares ao BIM.

Em segundo lugar, mencionado em 32% dos estudos, a Unity, proveniente da indústria de jogos digitais, sendo usada largamente nos estudos levantados para fazer a transcrição de arquivos provenientes de modelos BIM para dispositivos móveis, na forma de RA e RV. Porém, os arquivos IFC (Industry Foundation Classes), provenientes de modelos BIM, não tem transcrição direta para o *software* Unity. Isso explica a terceira colocação, o *software* 3Dmax, com 21% das menções. Os pesquisadores utilizaram o 3Dmax para transcrever arquivos ".ifc" (provenientes de um modelo BIM) para o formato aceito pela Unity (.fbx).

Em relação à hardwares, destacam-se dois tipos de HDMs: Microsoft Hololens, com 3 menções, e Google CardBoard, com 5. Ambos funcionam como óculos para visualizar ambientes ou objetos virtuais, porém o Google CardBoard, dispositivo que depende de um *smartphone*, foi escolhido mais vezes por ser feito de papelão, tornando-se uma opção mais acessível, de fácil aquisição e montagem.

3.5 Why ("por quê) – motivação do estudo

A RA e a RV têm inúmeras aplicações na indústria AEC, desde a etapa de concepção do projeto até o gerenciamento do edifício já em funcionamento. Essa seção buscou levantar por quais motivos as mencionadas tecnologias foram utilizadas no ramo na construção civil, com base nos artigos revisados. A Tabela 2 traz

os motivos que tiveram maior destaque.

Tabela 2 – Motivos para o emprego da RA e RV e número de menções

Motivação do estudo	Número de menções
Segurança	22
Qualidade	16
Produtividade	11

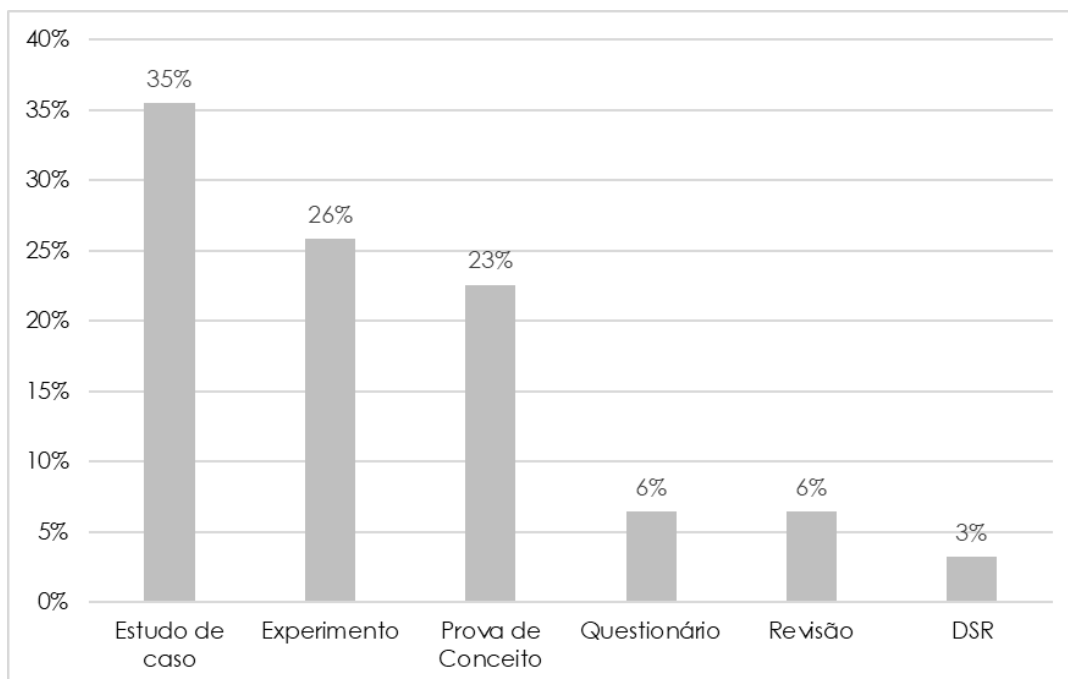
Fonte: Os autores

Segurança foi o motivo que obteve maior destaque nos artigos revisados, com menções em 35% dos textos. A maioria dos estudos utilizou RA e RV no treinamento e simulação de possíveis situações de perigo existentes no canteiro de obras, para capacitar melhor os funcionários do setor e prevenir possíveis acidentes. Em segundo lugar a qualidade, com menção em 26% dos estudos. As empresas do ramo de AEC estão cada vez mais preocupadas com a qualidade de suas obras, e a checagem tradicional, geralmente feita de forma manual, é demorada e trabalhosa. A RA e RV permitem a automatização desse processo. A seguir a produtividade, com 18% das menções. Com a expansão do mercado da construção civil, as empresas precisam de funcionários cada vez mais capacitados e produtivos, o que justifica o investimento de pesquisas para aplicar RA e RV nesse campo.

3.6 How (“como”) – método utilizado no estudo

Quanto a abordagem adotada por cada pesquisa analisada, 35% utilizaram estudo de caso, 26% experimento, 23% prova de conceito, 6% questionários, 6% revisão de literatura e 3% *Design Science Research*, como ilustrado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Distribuição dos métodos utilizados



Fonte: Os autores

Estudos de caso foram utilizados, em sua maioria, para avaliar a resposta de usuários a determinados ambientes virtuais criados através de modelos BIM, que são utilizados na concepção de novos projetos, este é um dos motivos pelo qual esta abordagem apresenta a maior porcentagem. Devido ao fato de tecnologias de Realidade Aumentada/Virtual possuírem a característica de serem manipuladas e aprimoradas, bastando somente as ferramentas certas de desenvolvimento e algum conhecimento em programação, a criação de protótipos ou aplicativos nessa área se torna algo acessível. Sendo assim, experimentos que testam algum protótipo são a segunda maior incidência entre os artigos analisados.

Cabe aqui, ressaltar a abordagem designada de prova de conceito, que se apresenta como a terceira maior incidência. Este método contribui para a consolidação de aspectos inovadores que ainda precisam ser evoluídos (MACHADO; VILELA, 2020). Deste modo, em uma área relativamente nova, como a da Realidade Aumentada/Virtual na construção, é de se esperar que esta abordagem tenha sido amplamente utilizada.

4 CONCLUSÃO

Esta pesquisa analisou 62 publicações acadêmicas através de uma revisão sistemática de literatura sobre o tema Realidade Aumentada/Virtual na construção civil. Por meio da ferramenta 5W1H, foi possível extrair informações pertinentes em cada artigo, de modo a garantir uma base de dados coesa, para uma investigação sistemática de cada categoria tratada.

Quanto aos resultados, constatou-se que há uma diversidade significativa entre os autores dos estudos, refletindo diretamente na variedade de aplicações que o tema em questão é tratado dentro da construção civil. Em relação ao ano de cada publicação, verifica-se que o assunto está em ascensão nos últimos 4 anos, o que comprova sua contemporaneidade. Com respeito a abrangência, o tema mostrou ser de interesse global, por possuir publicações em 4 continentes e 18 países diferentes. Acerca das tecnologias utilizadas, o modelo BIM se destaca por ser uma plataforma que integra diversas informações, além de ser um *software* de modelagem, mostrando ser uma tecnologia em alta em relação a digitalização da construção. O *game engine* Unity, proveniente da indústria de jogos digitais, tem grande utilização na transição de modelos BIM para Realidade Aumentada/Virtual para dispositivos móveis. Quanto a *hardwares*, o Google Cardboard foi o mais utilizado, isso se deve a sua simplicidade e baixo custo, o que é essencial para uma tecnologia que visa ser aplicável em canteiro de obra. Com relação a motivação, a segurança apresentou ser a maior delas, evidenciando a preocupação com a saúde e o bem-estar dos funcionários de obra. A busca por aprimoramento de qualidade e produtividade também aparecem como motivações de estudos. Entre os métodos, estudos de caso foram a maioria devido à necessidade da avaliação da resposta do usuário a ambientes virtuais criados através de modelos de construção.

Por fim, concluímos que a academia tem voltado cada vez mais suas pesquisas para a área tecnológica, em específico Realidade Aumentada/Virtual, buscando sempre maior segurança e eficiência nas atividades de construção civil. Evidências encontradas neste estudo corroboram para a narrativa de que as inovações tecnológicas têm muito a contribuir com o setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

- CHU, M.; MATTHEWS, J.; LOVE, P. E. D. Integrating mobile Building Information Modelling and Augmented Reality systems: An experimental study. **Automation in Construction**, 2018.
- DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. **Design science research : a method for science and technology advancement**. Porto Alegre: Springer, 2015.
- GOUGH, D. (DAVID A. .; OLIVER, S.; THOMAS, J. **An introduction to systematic reviews**. London: SAGE Publications Ltd, 2012.
- MACHADO, R. L.; VILELA, C. Conceptual framework for integrating bim and augmented reality in construction management. **Journal of Civil Engineering and Management**, 2020.
- MEŽA, S.; TURK, Ž.; DOLENC, M. Component based engineering of a mobile BIM-based augmented reality system. **Automation in Construction**, 2014.
- MILGRAM, P.; COLQUHOUN, H. A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration. **Mixed Reality**, 1999.
- MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Journal of clinical epidemiology**, 2009.
- PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, 2015.
- SCHNABEL, M. A. Framing mixed realities. **Mixed Reality In Architecture, Design And Construction**, 2009.

APÊNDICE

A seguir, serão apresentadas todas as 62 referências dos artigos selecionados para a revisão sistemática da literatura.

AHN, S.; KIM, T.; PARK, Y.-J.; KIM, J.-M. Improving Effectiveness of Safety Training at Construction Worksite Using 3D BIM Simulation. **Advances in Civil Engineering**, v. 2020, p. 1–12, 2020.

AKANMU, A. A.; OLAYIWOLA, J.; OLATUNJI, O. A. Automated checking of building component accessibility for maintenance. **Automation in Construction**, v. 114, p. 103196, 2020.

ALBERT, A.; HALLOWELL, M. R.; KLEINER, B.; CHEN, A.; GOLPARVAR-FARD, M. Enhancing Construction Hazard Recognition with High-Fidelity Augmented Virtuality. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 7, p. 4014024, 2014.

AZHAR, S. Role of Visualization Technologies in Safety Planning and Management at Construction Jobsites. **Procedia Engineering**, v. 171, p. 215–226, 2017.

BALALI, V.; ZALAVADIA, A.; HEYDARIAN, A. Real-Time Interaction and Cost Estimating within Immersive Virtual Environments. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 146, n. 2, p. 4019098, 2020.

BEHZADAN, A. H.; AZIZ, Z.; ANUMBA, C. J.; KAMAT, V. R. Ubiquitous location tracking for context-specific information delivery on construction sites. **Automation in Construction**, v. 17, n. 6, p. 737–748, 2008.

BHANDARI, S.; HALLOWELL, M. R.; BOVEN, L. VAN; et al. Using Augmented Virtuality to Examine How Emotions Influence Construction-Hazard Identification, Risk Assessment, and Safety Decisions. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 146, n. 2, p. 4019102, 2020.

BOTON, C. Supporting constructability analysis meetings with Immersive Virtual Reality-based collaborative BIM 4D simulation. **Automation in Construction**, v. 96, p. 1–15, 2018.

CHAI, C.; MUSTAFA, K.; KUPPUSAMY, S.; et al. BIM Integration in Augmented Reality Model. **International Journal of Technology**, v. 10, n. 7, p. 1266, 2019.

CHALHOUB, J.; AYER, S. K. Using Mixed Reality for electrical construction design communication. **Automation in Construction**, v. 86, p. 1–10, 2018.

CHEN, K.; LU, W.; PENG, Y.; ROWLINSON, S.; HUANG, G. Q. Bridging BIM and building: From a literature review to an integrated conceptual framework. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 6, p. 1405–1416, 2015.

CHENG, T.; TEIZER, J. Real-time resource location data collection and visualization technology for construction safety and activity monitoring applications. **Automation in Construction**, v. 34, p. 3–15, 2013.

CHI, H.-L.; KANG, S.-C.; WANG, X. Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction. **Automation in Construction**, v. 33, p. 116–122, 2013.

CHOI, M.; AHN, S.; SEO, J. VR-Based investigation of forklift operator situation awareness for preventing collision accidents. **Accident Analysis & Prevention**, v. 136, p. 105404, 2020.

CHU, M.; MATTHEWS, J.; LOVE, P. E. D. Integrating mobile Building Information Modelling and Augmented Reality systems: An experimental study. **Automation in Construction**, 2018.

DALLASEGA, P.; REVOLTI, A.; SAUER, P. C.; SCHULZE, F.; RAUCH, E. BIM, Augmented and Virtual Reality empowering Lean Construction Management: a project simulation game. **Procedia Manufacturing**, v. 45, p. 49–54, 2020.

DING, Z.; LIU, S.; LIAO, L.; ZHANG, L. A digital construction framework integrating building

information modeling and reverse engineering technologies for renovation projects. **Automation in Construction**, v. 102, p. 45–58, 2019.

DINIS, F. M.; SANHUDO, L.; MARTINS, J. P.; RAMOS, N. M. M. Improving project communication in the architecture, engineering and construction industry: Coupling virtual reality and laser scanning. **Journal of Building Engineering**, v. 30, p. 101287, 2020.

DU, J.; SHI, Y.; ZOU, Z.; ZHAO, D. CoVR: Cloud-Based Multiuser Virtual Reality Headset System for Project Communication of Remote Users. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 144, n. 2, p. 4017109, 2018.

DU, J.; ZOU, Z.; SHI, Y.; ZHAO, D. Zero latency: Real-time synchronization of BIM data in virtual reality for collaborative decision-making. **Automation in Construction**, v. 85, p. 51–64, 2018.

EIRIS, R.; GHEISARI, M.; ESMAEILI, B. Desktop-based safety training using 360-degree panorama and static virtual reality techniques: A comparative experimental study. **Automation in Construction**, v. 109, p. 102969, 2020.

EIRIS, R.; JAIN, A.; GHEISARI, M.; WEHLE, A. Safety immersive storytelling using narrated 360-degree panoramas: A fall hazard training within the electrical trade context. **Safety Science**, v. 127, p. 104703, 2020.

FAZEL, A.; IZADI, A. An interactive augmented reality tool for constructing free-form modular surfaces. **Automation in Construction**, v. 85, p. 135–145, 2018.

GARCÍA-PEREIRA, I.; PORTALÉS, C.; GIMENO, J.; CASAS, S. A collaborative augmented reality annotation tool for the inspection of prefabricated buildings. **Multimedia Tools and Applications**, v. 79, n. 9–10, p. 6483–6501, 2019.

GETULI, V.; CAPONE, P.; BRUTTINI, A. Planning, management and administration of HS contents with BIM and VR in construction: an implementation protocol. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 2020.

_____. BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach. **Automation in Construction**, v. 114, p. 103160, 2020.

GOLPARVAR-FARD, M.; PEÑA-MORA, F.; SAVARESE, S. Integrated Sequential As-Built and As-Planned Representation with D4AR Tools in Support of Decision-Making Tasks in the AEC/FM Industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 137, n. 12, p. 1099–1116, 2011.

GOMEZ-JAUREGUI, V.; MANCHADO, C.; DEL-CASTILLO-IGAREDA, J.; OTERO, C. Quantitative evaluation of overlaying discrepancies in mobile augmented reality applications for AEC/FM. **Advances in Engineering Software**, v. 127, p. 124–140, 2019.

GOULDING, J.; NADIM, W.; PETRIDIS, P.; ALSHAWI, M. Construction industry offsite production: A virtual reality interactive training environment prototype. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 1, p. 103–116, 2012.

GU, N.; LONDON, K. Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. **Automation in Construction**, v. 19, n. 8, p. 988–999, 2010.

HABIBNEZHAD, M.; PUCKETT, J.; JEBELLI, H.; et al. Neurophysiological testing for assessing construction workers task performance at virtual height. **Automation in Construction**, v. 113, p. 103143, 2020.

HERBERS, P.; KÖNIG, M. Indoor localization for augmented reality devices using BIM, point clouds, and template matching. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 9, n. 20, 2019.

HEYDARIAN, A.; CARNEIRO, J. P.; GERBER, D.; et al. Immersive virtual environments versus physical built environments: A benchmarking study for building design and user-built environment explorations. **Automation in Construction**, v. 54, p. 116–126, 2015.

HUANG, H.-M.; RAUCH, U.; LIAW, S.-S. Investigating learners' attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach. **Computers & Education**, v. 55, n.

3, p. 1171–1182, 2010.

KIM, K.; KIM, HONGJO; KIM, HYOUNGKWAN. Image-based construction hazard avoidance system using augmented reality in wearable device. **Automation in Construction**, v. 83, p. 390–403, 2017.

KOPSIDA, M.; BRILAKIS, I. Real-Time Volume-to-Plane Comparison for Mixed Reality\textendashBased Progress Monitoring. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 34, n. 4, p. 4020016, 2020.

KWIATEK, C.; SHARIF, M.; LI, S.; HAAS, C.; WALBRIDGE, S. Impact of augmented reality and spatial cognition on assembly in construction. **Automation in Construction**, v. 108, p. 102935, 2019.

KWON, O.-S.; PARK, C.-S.; LIM, C.-R. A defect management system for reinforced concrete work utilizing BIM, image-matching and augmented reality. **Automation in Construction**, v. 46, p. 74–81, 2014.

LI, C. Z.; XUE, F.; LI, X.; HONG, J.; SHEN, G. Q. An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction. **Automation in Construction**, v. 89, p. 146–161, 2018.

LI, H.; CHAN, G.; SKITMORE, M. Visualizing safety assessment by integrating the use of game technology. **Automation in Construction**, v. 22, p. 498–505, 2012.

LI, X.; YI, W.; CHI, H.-L.; WANG, X.; CHAN, A. P. C. A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. **Automation in Construction**, v. 86, p. 150–162, 2018.

LUCENA, A. F. E.; SAFFARO, F. A. Guidelines for exploring construction sites in virtual reality environments for hazard identification. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, p. 1–10, 2020.

MEŽA, S.; TURK, Ž.; DOLENC, M. Component based engineering of a mobile BIM-based augmented reality system. **Automation in Construction**, 2014.

MIRSHOKRAEI, M.; GAETANI, C. I. DE; MIGLIACCIO, F. A Web-Based BIM\textendashAR Quality Management System for Structural Elements. **Applied Sciences**, v. 9, n. 19, p. 3984, 2019.

MOROSI, F.; ROSSONI, M.; CARUSO, G. Coordinated control paradigm for hydraulic excavator with haptic device. **Automation in Construction**, v. 105, p. 102848, 2019.

OMAR, T.; NEHDI, M. L. Data acquisition technologies for construction progress tracking. **Automation in Construction**, v. 70, p. 143–155, 2016.

PARK, C.-S.; KIM, H.-J. A framework for construction safety management and visualization system. **Automation in Construction**, v. 33, p. 95–103, 2013.

PARK, C.-S.; LEE, D.-Y.; KWON, O.-S.; WANG, X. A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template. **Automation in Construction**, v. 33, p. 61–71, 2013.

PERLMAN, A.; SACKS, R.; BARAK, R. Hazard recognition and risk perception in construction. **Safety Science**, v. 64, p. 22–31, 2014.

RAHIMIAN, F. P.; SEYEDZADEH, S.; OLIVER, S.; RODRIGUEZ, S.; DAWOOD, N. On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning. **Automation in Construction**, v. 110, p. 103012, 2020.

RATAJCZAK, J.; RIEDL, M.; MATT, D. T. BIM-based and AR Application Combined with Location-Based Management System for the Improvement of the Construction Performance. **Buildings**, v. 9, n. 5, p. 118, 2019.

RIEXINGER, G.; KLUTH, A.; OLBRICH, M.; BRAUN, J.-D.; BAUERNHANSL, T. Mixed Reality for On-Site Self-Instruction and Self-Inspection with Building Information Models. **Procedia CIRP**, v. 72, p. 1124–1129, 2018.

- SHI, Y.; DU, J.; AHN, C. R.; RAGAN, E. Impact assessment of reinforced learning methods on construction workers fall risk behavior using virtual reality. **Automation in Construction**, v. 104, p. 197–214, 2019.
- TAVARES, P.; COSTA, C. M.; ROCHA, L.; et al. Collaborative Welding System using BIM for Robotic Reprogramming and Spatial Augmented Reality. **Automation in Construction**, v. 106, p. 102825, 2019.
- TEIZER, J.; CHENG, T.; FANG, Y. Location tracking and data visualization technology to advance construction ironworkers education and training in safety and productivity. **Automation in Construction**, v. 35, p. 53–68, 2013.
- VAHDATIKHAKI, F.; AMMARI, K. EL; LANGROODI, A. K.; et al. Beyond data visualization: A context-realistic construction equipment training simulators. **Automation in Construction**, v. 106, p. 102853, 2019.
- WANG, R.; LOWE, R.; NEWTON, S; KOCATURK, T. Task complexity and learning styles in situated virtual learning environments for construction higher education. **Automation in Construction**, v. 113, p. 103-148, 2020.
- WANG, X.; LOVE, P. E. D.; KIM, M. J.; et al. A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality. **Automation in Construction**, v. 34, p. 37–44, 2013.
- WANG, X.; TRUIJENS, M.; HOU, L.; WANG, Y.; ZHOU, Y. Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry. **Automation in Construction**, v. 40, p. 96–105, 2014.
- YANG, M.-D.; CHAO, C.-F.; HUANG, K.-S.; LU, L.-Y.; CHEN, Y.-P. Image-based 3D scene reconstruction and exploration in augmented reality. **Automation in Construction**, v. 33, p. 48–60, 2013.
- ZHOU, Y.; LUO, H.; YANG, Y. Implementation of augmented reality for segment displacement inspection during tunneling construction. **Automation in Construction**, v. 82, p. 112–121, 2017.
- ZOU, Y.; KIVINIEMI, A.; JONES, S. W. A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. **Safety Science**, v. 97, p. 88–98, 2017.