ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Explorando BIM e Realidade Mista: tendências e aplicações na indústria da construção

Exploring BIM and Mixed Reality: trends and applications in the construction industry

Lorena Claudia de Souza Moreira
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | lorenasm@ufba.br
Carine de Menezes Rebello
Norwegian University of Science and Technology | Trondheim | Noruega | carine.m.rebello@ntnu.no

Resumo

A Modelagem da informação da construção (BIM) tem desempenhado um papel transformador na indústria da construção, impulsionando vários aspectos desse campo, especialmente a inovação e a competitividade. A integração da Realidade mista (RM), que combina a Realidade virtual (RV) e a Realidade aumentada (RA), com o BIM, destaca-se como uma abordagem interdisciplinar que melhora a compreensão dos processos de projeto e construção. Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica das pesquisas envolvendo BIM e realidade mista (incluindo RA e RV), no contexto da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), proporcionando um direcionamento para o setor. O método empregado foi a bibliometria integrada a uma revisão bibliográfica. As contribuições explanam indicadores sobre a adoção e aplicação de BIM e realidade mista no domínio da AEC. Estes indicadores incluem dados de publicações por ano e por país, periódico mais citado, análises sobre a tecnologia empregada e identificação de tendências de crescimento, bem como das áreas de aplicação alinhadas aos usos do BIM, que se beneficiam da integração de BIM com a RM.

Palavras-chave: Modelagem da informação da construção. Realidade mista. Realidade virtual. Realidade aumentada. Análise bibliométrica.

Abstract

Building information modeling (BIM) has played a transformative role in the construction industry, boosting several aspects of the field, especially innovation and competitiveness. The integration of Mixed reality (MR), which combines Virtual reality (VR) and Augmented reality (AR) with BIM, stands out as an interdisciplinary approach that improves understanding of design and construction processes. This work aims to conduct a bibliometric analysis of research involving BIM and mixed reality (including AR and VR) in the context of Architecture, Engineering and Construction (AEC), guiding the sector. The methodology used was bibliometrics integrated with a bibliographic review. The contributions explain indicators of the adoption and application of BIM and mixed reality in the AEC domain. These indicators include publication data by year and country, most cited periodical, analysis of the technology used and identification of growth

Como citar:
MOREIRA, L. C. de S.; REBELLO, C. de M. Explorando BIM e Realidade Mista: tendências e aplicações na indústria da construção. **In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2024.**

trends, and application areas aligned with the uses of BIM, which benefit from integrating BIM with MR.
Keywords: Building information modeling. Mixed reality. Virtual reality. Augmented reality. Bibliometric analysis.

INTRODUÇÃO

A indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), embora tradicionalmente lenta na adoção de tecnologias e na valorização de dados, tem se mostrado ativa na incorporação de tecnologias de informação e comunicação. Esse movimento busca modernizar práticas e destacar a importância da tecnologia e dos dados. Nesse sentido, a Modelagem da informação da construção (*Building Information Modeling* - BIM) e a Realidade mista (RM), que integra a Realidade virtual (RV) e a realidade aumentada (RA), destacam-se como uma abordagem interdisciplinar que melhora a compreensão dos processos de projeto, construção e gerenciamento de edificações, promovendo um pensamento mais integrado e colaborativo [1] como um campo a ser explorado.

Os autores [2], definiram a realidade mista como um "espectro de realidade", que vai do ambiente real à realidade virtual, transitando pela realidade aumentada e virtualidade aumentada. O primeiro uso da tecnologia RM na indústria da construção pode ser encontrado em um estudo realizado por [3], com a sobreposição de informações virtuais em um edifício. Desde então, a RM tem sido utilizada na visualização de modelos geométricos em 3D contribuindo para o setor da AEC. Já o BIM atua em uma gama de tecnologias, processos e políticas permitindo aos agentes da construção projetar, construir e operar colaborativamente um empreendimento [4]. Com o BIM, os dados 3D necessários para a visualização estão diretamente disponíveis, e com os dispositivos portáteis mais acessíveis, a tecnologia da RM tornou-se mais possível na prática [5].

É importante salientar que os investimentos em RM em 2021, alcançaram cerca de US$ 4 bilhões para startups tornando-o o segundo ano de maior sucesso em termos de financiamento nesse setor, depois de 2018. Embora os investimentos totais em RM tenham diminuído em 2022, investidores mantiveram interesse contínuo na tendência com uma série de novos aportes em 2023 [6]. Diversos estudos comprovam a integração do BIM com a RM estimulando uma gama de setores da AEC como: melhoria da eficácia e eficiência do planejamento [7]; potencialização de estímulos e experiências na educação [8]; melhoria da comunicação e coordenação entre os agentes da construção e gerentes de *Facility Management* (FM) [9]; auxílio na mitigação de erros e resolução de dúvidas de construção [10]. Ademais, são encontradas aplicações integradas a outras tecnologias como fotogrametria digital, escaneamento a laser, gêmeo digital, inteligência artificial (IA), entre outras [11] [12] [13].

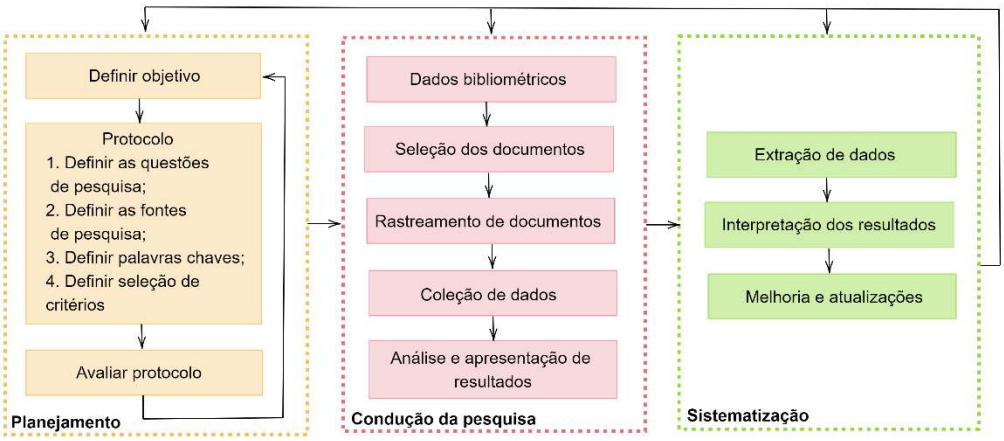
Assim, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica das pesquisas envolvendo BIM e realidade mista (incluindo RA e RV), no contexto da AEC, proporcionando um direcionamento para o setor por meio de indicadores. Estes indicadores incluem análises sobre a tecnologia empregada e identificação de tendências de crescimento, bem como áreas de aplicação que se beneficiam da integração de BIM com a RM. A identificação das áreas de aplicação foi relacionada aos Usos do Modelo "*Model Use Series*" da *BIMe Initiative*, que são as entregas de

projeto do empreendimento a partir da elaboração de modelos, da colaboração e da ligação a banco de dados sobre eles, cada uso do modelo representa um conjunto de requisitos definidos, atividades especializadas e resultados específicos do projeto, que são agrupados em um único título [14].

MÉTODO

O presente estudo caracteriza-se como exploratório, utilizando a revisão bibliográfica como método empregado e estudo bibliométrico como procedimento adotado. A bibliometria pode auxiliar na identificação de tendências de expansão do conhecimento em uma área específica, bem como em lacunas de pesquisa. Na dispersão e obsolescência de campos científicos, na identificação dos autores e dos periódicos mais utilizados para a divulgação de pesquisas em uma determinada disciplina [15]. O delineamento do estudo (Figura 1) foi dividido em planejamento, condução e sistematização. Assim, a partir do objetivo foi elaborado o protocolo com as questões de pesquisa, palavras chaves e critérios.

Figura 1: Delineamento do estudo



Fonte: as autoras, 2023.

As palavras chaves (*string*) utilizadas foram (“*mixed reality” or MR or “virtual reality” or “augmented reality” or “x reality”) and (“building information modeling” or BIM*). A partir daí, a pesquisa foi dividida em duas etapas. No estudo bibliométrico, Etapa 01, foram analisados 216 resultados, sem intervalo temporal definido e no idioma inglês, na base de dados *Web of Science*. Na etapa 02 objetivou-se uma análise sobre a tecnologia empregada e áreas de aplicação que se beneficiam da integração de BIM com RM, abarcando RA e RV. Foi adotado o intervalo temporal de 2023 a maio de 2024 no intuito de verificar as tendências mais recentes na área, abarcando 57 publicações. Na condução da pesquisa, visando que o presente estudo contemple apenas aplicações práticas, nessa etapa, após análise, foram excluídos 9 artigos de revisão de literatura e 11 publicações que estavam fora da temática BIM com RM ou que não apresentavam a implementação de artefatos. Na interpretação dos resultados, a estratégia utilizada para a identificação das áreas de aplicação de BIM com RM da amostra pesquisada foi relacioná-las com as series de uso do modelo “*Model Use Series*” e uso do modelo [14]. As series de usos do modelo são estruturadas

como: (i) 2010 Captura e Representação, (ii) 3010 Planejamento e Projeto, (iii) 4010 Simulação e Quantificação, (iv) 5010 Construção e Fabricação, (v) 6010 Operação e Manutenção, (vi) 7010 Monitoramento e Controle, (vii) 8010 Vinculação e Extensão [4].

Com o objetivo de realizar o mapeamento da literatura científica dos termos citados foi utilizado o software livre Bibliometrix (versão 4.2.3), criado em linguagem R para auxiliar na compilação de dados e análise das informações. Foi utilizado o Bibliometrix com a extensão Biblioshiny, software livre que gera uma interface gráfica facilitando a visualização dos dados [15]. Na sistematização dos resultados, gráficos e quadro foram empregados para visualizar as informações analisadas e serão apresentados na seção de resultados, a seguir.

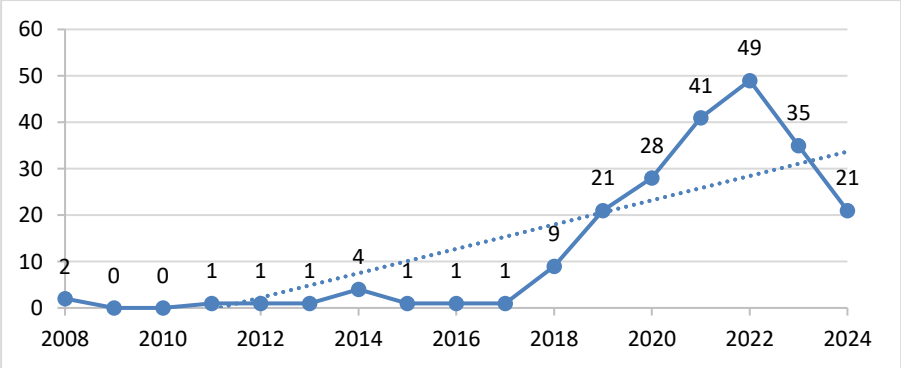
RESULTADOS

Nessa seção serão explicitados os resultados encontrados nas etapas 01 e 02 do presente trabalho, conforme delineamento apresentado na seção de método.

ESTUDO BIBLIOMÉTRICO – ETAPA 01

Na produção científica anual ao longo dos anos de 2008 a 2024, ao analisar a amostra pesquisada, observa-se um crescimento no número de publicações a partir de 2018, atingindo um pico em 2022 (Figura 2) e redução a partir de 2023. Entre 2008 e 2013, o número de publicações foi baixo e estável, com exceção de um pequeno aumento em 2014. Já a partir de 2018, há um aumento acentuado no número de publicações, indicando um crescente interesse e pesquisa na área até 2022. Os anos de 2020 a 2022 mostram uma atividade particularmente intensa, possivelmente influenciada pela pandemia de COVID-19, que acelerou a adoção de tecnologias digitais para colaboração remota e simulações em ambientes virtuais. Em resumo, a análise bibliométrica dos dados fornecidos sugere um crescimento no campo de BIM e realidade mista, com picos de interesse em anos recentes e redução a partir de 2023.

Figura 2: Produção Científica Anual em BIM e RM



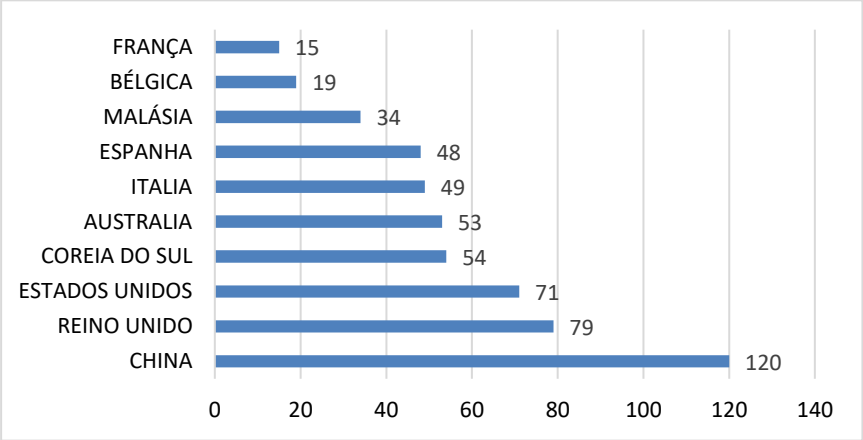
Fonte: as autoras, 2023.

A análise dos dados de publicações por país (Figura 3), revela que a China lidera em publicações sobre BIM e RM, com 120 artigos, seguida pelo Reino Unido (79) e Estados Unidos (71). Isso sugere um foco e investimento nesses países em pesquisa e

desenvolvimento dessas tecnologias. Reino Unido e Estados Unidos também se destacam devido à sua tradição em inovação tecnológica e à presença de renomadas instituições de pesquisa. A Coreia do Sul e a Austrália, com 54 e 53 publicações respectivamente, mostram um crescente interesse na área. A Europa está bem representada com a Itália, Espanha, Bélgica e França indicando um interesse disseminado e possíveis colaborações regionais. A Malásia, com 34 publicações, se destaca entre os países asiáticos, além da China e Coreia do Sul, sugerindo um papel emergente na pesquisa de BIM e realidade mista.

O Brasil ocupa a vigésima segunda posição com 6 publicações, demonstrando um envolvimento ainda incipiente em comparação com os líderes, indicando a necessidade de maior investimento e desenvolvimento na área. A quantidade de publicações pode ser vista como um indicador do avanço e maturidade das pesquisas, com potencial para incentivar colaborações internacionais que acelerem o desenvolvimento global dessas tecnologias.

Figura 3: Número de publicações em BIM e RM por país



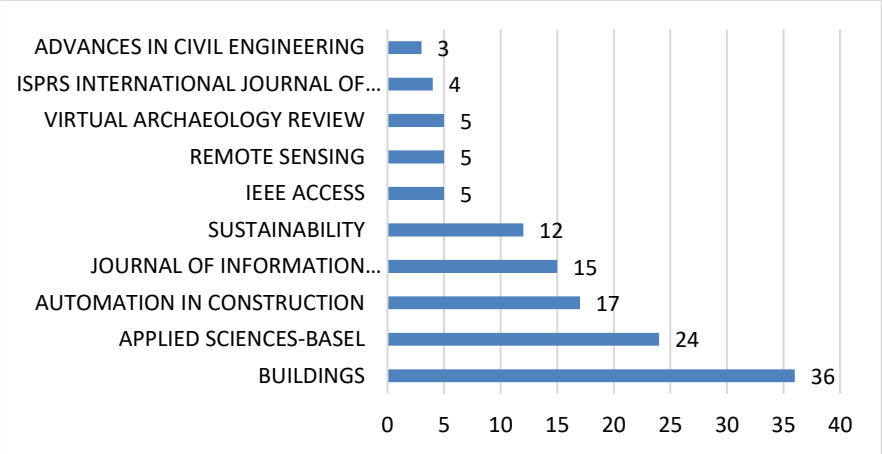
Fonte: as autoras, 2023.

Com relação à publicação mais citada da amostra identificou-se, com 229 citações, "*An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction*", de [16] que desenvolveu uma plataforma, integrando Internet das Coisas e BIM, visando melhorar a montagem *in loco* de construções pré-fabricadas. Ademais, foram desenvolvidas funcionalidades de visualização e rastreabilidade com tecnologias BIM e RV, permitindo o gerenciamento da construção e informações de custo em tempo real.

A análise dos dados referentes aos periódicos e anais de congressos com o maior número de publicações sobre BIM e realidade mista (Figura 4) revela uma concentração significativa em alguns veículos acadêmicos de destaque. O periódico "*Buildings*" lidera com 36 publicações, seguido por "*Applied Sciences-Basel*" com 24 e "*Automation in Construction*" com 17. O "*Journal of Information Technology in Construction*" e "*Sustainability*" também apresentam números expressivos de publicações, com 15 e 12, respectivamente. Outras publicações como "IEEE *Access*", "*Remote Sensing*" e "*Virtual Archaeology Review*" possuem 5 artigos cada, enquanto

o "ISPRS *International Journal of Geo-Information*" e "*Advances in Civil Engineering*" apresentam um menor número de publicações, com 4 e 3 artigos, respectivamente.

Figura 4: Periódicos e anais de congressos com maior número de publicações



Fonte: as autoras, 2023.

As palavras-chave mais citadas (Figura 5), excluindo os termos da *string* de busca, refletem tendências e áreas de desenvolvimento em BIM e realidade mista. A inclusão de "gêmeo digital" (*digital twin*) destaca a importância da criação de representações digitais de empreendimentos para o monitoramento e gerenciamento em tempo real. A menção à "indústria da construção" (*construction industry*) indica um foco contínuo na aplicação prática dessas tecnologias no setor, enfatizando a transformação digital. O "aprendizado profundo" (*deep learning*) sublinha a integração de técnicas da IA para melhorar a análise de dados e a tomada de decisões automáticas, potencializando a eficiência e a precisão dos projetos. Termos como "Open BIM", "inspeção" e "*scan to BIM"* também indicam áreas de interesse, e delineiam um panorama de inovação contínua.

Figura 5: Nuvem de palavras-chaves mais citadas



Fonte: as autoras, gerado pelo Biblioshiny, 2023.

CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE – ETAPA 02

Na caracterização das aplicações quanto ao uso do modelo foi considerado que os usos do modelo 4030 (Simulação e Realidade Aumentada) e o 4240 (Simulação em Realidade Virtual) integram todas as pesquisas da amostra, uma vez que se trata do assunto principal deste trabalho. A análise dos dados apresentados sobre as séries de uso do modelo identificados nas aplicações de BIM com realidade mista (RM) revela várias tendências importantes.

Captura e Representação (2010): Com 6 aplicações práticas, esta categoria sublinha a importância da captura de dados e da representação das condições reais do ambiente construído. Esse uso é essencial para a geração de modelos HBIM (*Historic Building Information Modelling*), com o uso de tecnologias como escaneamento a laser e fotogrametria, bem como a criação de gêmeos digitais, importantes para a operação e manutenção dos edifícios [13] [17] [18] [19] [20] [21].

Planejamento e Projeto (3010): Com 9 aplicações práticas, esta categoria lidera, destacando a prevalência de BIM e RM na fase de planejamento e projeto. A alta frequência de uso sugere que essas tecnologias são particularmente valiosas para a visualização e validação dos projetos antes da construção, especialmente pela capacidade de transmitir informações espaciais. O uso intensivo nesta fase permite detectar problemas de construtibilidade, mitigar erros de projeto, otimizar soluções e revisões projetuais melhorando a comunicação e compreensão entre os agentes da construção [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30].

Simulação e Quantificação (4010) e Operação e Manutenção (6010): Ambas as categorias com 5 aplicações práticas demonstram a importância da fase de operação utilizando BIM e RM. As simulações permitem prever o comportamento dos edifícios em diferentes cenários e usos como detecção de interferências, análise de construtibilidade e questões energéticas, enquanto a estimativa de custos proporciona medições para a gestão dos recursos. Na operação e manutenção, que é contemplado pelo FM, essas tecnologias garantem a inspeção do empreendimento e manutenção dos ativos, reduzindo custos e prolongando a vida útil das edificações [31] [32] [33] [34] [35] [36] [37] [38] [39] [40].

Construção e Fabricação (5010) e Monitoramento e Controle (7010): Com apenas 2 aplicações práticas cada, essas categorias indicam uma menor exploração das tecnologias BIM e RM. Isso pode refletir desafios na implementação dessas tecnologias em ambientes de construção, que são dinâmicos e complexos. No entanto, pesquisas estão sendo realizadas abarcando a logística da construção, canteiro de obras e monitoramento estrutural. Há um potencial para aumentar a adoção dessas tecnologias, o que poderia resultar em redução de erros e retrabalhos, e na melhoria da segurança e eficiência no canteiro de obras [41] [42] [43] [44].

Vinculação e Extensão (8010): As 7 aplicações práticas nesta categoria indicam um uso significativo na integração de BIM com outras tecnologias e sistemas. A capacidade de conectar BIM e RM com tecnologias como IoT, Sistema de informação de geográfica (SIG) e plataformas web permite uma gestão inteligente e previsiva dos projetos, além de facilitar a colaboração interdisciplinar [12] [45] [46] [11] [47] [48] [49].

O Quadro 01, apresenta os usos do modelo identificados em cada série de uso bem como os autores das aplicações. Vale ressaltar que foi adotado o uso principal, quando encontrado mais de um uso associado a cada pesquisa.

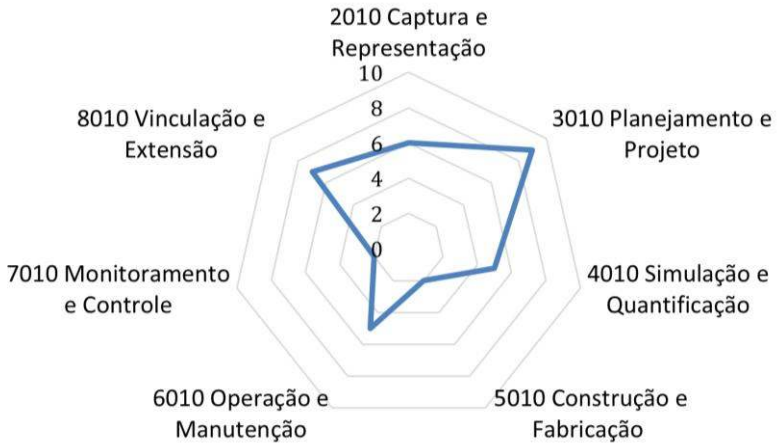
Quadro 1: Series de Usos do Modelo e Uso do Modelo identificados nas aplicações de BIM com RM

Series de Usos do modelo	**Uso do modelo**	**Autores**
2010 Captura e Representação	2030 Representação como construído 2050 Escaneamento Laser 2060 Fotogrametria 2090 Comunicação visual	Fiorillo; Bolognesi, (2023) [13]; Liu; Wang; Huang; Zhang; Lu, (2023) [17]; González; González-Collazo; Balado; Fernández; Diaz-Vilariño, (2023) [18]; Ferreira; Cruz; Freitas; Genin, (2023) [19]; Banfi; Roascio; Mandelli; Stanga, (2023) [20]; Stanga; Banfi; Roascio, (2023) [21].
3010 Planejamento e Projeto	3010 Concepção 3020 Planejamento da Construção 3060 Análise de processo Lean 3040 Autoria de projeto 3100 Programação espacial 3110 Planejamento urbano	Chen; Li; Li; Xue; Liu; Fang [22]; Seo; Kim; Kim, (2023); Alizadehsalehi; Hadavi, (2023) [23]; Zhou; Wang; Yu; Chen, (2024) [24]; Ehab; Burnett; Heath, (2023) [25]; Johansson; Roupé, (2024) [26]; Khorchi; Boton, (2024) [27]; Matthys; De Cock; Mertens, Boussauw; De Maeyer; Van de Weghe, (2023) [28]; Buchanan; Loporcaro; Lukosch, (2023) [29]; Yang; White; Lipson-Smith; Shannon; Latifi, (2024) [30].
4010 Simulação e Quantificação	4040 Detecção de Interferências 4060 Análise de Construtibilidade 4070 Estimativa de custos 4090 Utilização de Energia 4160 Análise de Segurança do Trabalho	Omaran; Al-Zuheriy, (2023) [31]; Song; Park; Lee; Bae; Kwon; Cho; Chung, (2023) [32]; Zaman; Abdelaty; Sobuz, (2024) [33]; Nagatoishi; Fruchter, (2023) [34]; Delgado; Guimaraes; Martins; Parracho; Freitas; Lima; Rodrigues, (2023) [35].
5010 Construção e Fabricação	5050 Logística de Construção	Yoon; Lee, (2023) [41]; Dzeng; Cheng; Cheng, (2024) [42].
6010 Operação e Manutenção	6010 Manutenção de ativos 6040 Inspeção de edifício	Girgin; Fruchter; Fischer, (2023) [36]; Pan; Isnaeni, (2024) [37]; Lee; Yabuki; Fukuda, (2024) [38]; Fotia; Barrile, (2023) [39]; Hesselink; Vahdatikhaki; Harmsen; Voordijk, (2023) [40].
7010 Monitoramento e Controle	7020 BIM na Obra 7050 Monitoramento da Saúde Estrutural	Lee; Rashidi; Talei; Kong, (2024) [43]; Fawad; Salamak; Hanif; Koris; Ahsan; Rahman; Gerges; Salah, (2024) [44].
8010 Vinculação e Extensão	8050 Interface BIM IOT 8040 Sobreposição BIM/GIS 8070 BIM/Extensão de Serviços da Web.	Radanovic; Khoshelham; Fraser; Acharya, (2023) [12]; Dinis; Rodrigues; Martins, (2024) [45]; Belaroussi; Issa; Cameli; Lantieri; Adelé, (2024) [46]; Pan; Lin; Ye; Li; Guo; Harmon, (2024) [11]; Urban; Fischer; Schranz, (2024) [47]; La Guardia; Koeva, (2023) [48]; Hegemann; Stascheit; Maidl; Gangrade; Kottke, (2023) [49].

Fonte: as autoras, 2023.

Também foi realizada uma quantificação das Series de Uso do Modelo identificadas nas aplicações de BIM com RM (Figura 6).

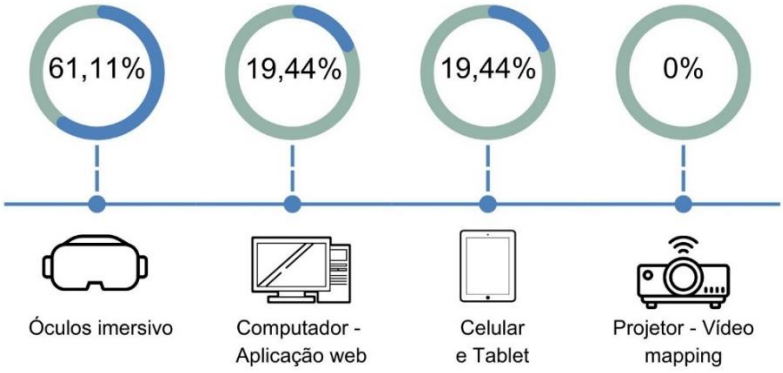
Figura 6: Series de Uso do Modelo identificados nas aplicações de BIM com RM



Fonte: as autoras, 2023.

Por fim, foram analisados os dispositivos mais empregados em AEC, na amostra pesquisada (Figura7). Com 61,11% de ocorrências, é indicado que os óculos imersivos são a tecnologia preferida para integrar BIM e RM na atualidade, provavelmente devido à sua capacidade de fornecer uma experiência envolvente e imersiva. As aplicações em Computador - Aplicação Web e Celular e Tablet, ambas com 19,44% de uso, mostram que há também um interesse em plataformas mais acessíveis e versáteis. A ausência de uso de Projetor, com 0% de ocorrências, sugere uma subutilização desta tecnologia. Esses dados destacam uma tendência de adoção de tecnologias mais imersivas e interativas no setor da AEC.

Figura 7: Tecnologia (dispositivos) empregada nas aplicações de BIM com RM



Fonte: as autoras, 2023.

Em resumo os resultados permitiram identificar que:

- Há um crescimento no campo de BIM e realidade mista a partir de 2018, com auge em 2022, e redução a partir de 2023;
- A China lidera em publicações sobre BIM e RM;
- As fases iniciais de planejamento, projeto e captura, e representação são as mais integradas a BIM e RM;
- Há oportunidades para expandir o uso dessas tecnologias, principalmente nas fases de construção e fabricação, monitoramento e controle;

- Estudos mais recentes abrangem, em sua maioria, aplicações que utilizam óculos imersivos em maior medida do que outras tecnologias de realidade mista (RM).

CONCLUSÃO

Em conclusão, a integração de BIM e realidade mista com a indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção tem melhorado a compreensão dos processos e promovendo maior integração entre tecnologias. Apesar de algumas disparidades na adoção e pesquisa global, a contínua inovação e a colaboração internacional prometem avanços, abarcando o BIM e a RM como agentes para a modernização e digitalização do setor. A análise das publicações destaca a relevância de países como a China e Reino Unido, bem como integração com gêmeo digital e aprendizado profundo, e evidências de áreas de interesse como planejamento, projeto e captura; e representação. O uso de tecnologias imersivas, como óculos de realidade virtual e aumentada, está se tornando predominante, facilitando a visualização e a gestão de projetos em tempo real. No entanto, vale ressaltar que a adoção e a integração dessas tecnologias ao longo de todo o ciclo de vida da construção exigem investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento, capacitação de profissionais e superação de barreiras tecnológicas e culturais.

REFERÊNCIAS

[1] AMER, Fouad; HOCKENMAIER, Julia; GOLPARVAR-FARD, Mani. Learning and critiquing pairwise activity relationships for schedule quality control via deep learning-based natural language processing. **Automation in Construction**, v. 134, p. 104036, 2022.

[2] MILGRAM, Paul; KISHINO, Fumio. A taxonomy of mixed reality visual displays. **IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems**, v. 77, n. 12, p. 1321-1329, 1994.

[3] FEINER, Steven et al. A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. Personal Technologies, v. 1, p. 208-217, 1997.

[4] BIMe Initiative **BIM Dictionary2020**. Disponível em: https://bimdictionary.com/. Acessado em maio 2024.

[5] JOHANSSON, Mikael; ROUPÉ, Mattias; VIKLUND TALLGREN, Mikael. From BIM to VR-Integrating immersive visualizations in the current design process. In: **Fusion-Proceedings of the 32nd eCAADe Conference-Volume 2 (eCAADe 2014)**. 2014. p. 261-269.

[6] MCKINSEY DIGITAL. Technology trends outlook 2023. 2023.

[7] OMARAN, S. M.; AL-ZUHERIY, A. S. J. Integrating Building Information Modeling and Virtual Reality to Develop Real-time Suitable Cost Estimates using Building Visualization**. International Journal of Engineering**, v. 36, n. 5, p. 858-869, 2023.

[8] CHEN, Xingbin et al. Effects of building information modeling prior knowledge on applying virtual reality in construction education: lessons from a comparison study. **Journal of Computational Design and Engineering**, v. 10, n. 5, p. 2036-2048, 2023.

[9] ALIZADEHSALEHI, Sepehr; HADAVI, Ahmad. Synergies of lean, BIM, and extended reality (LBX) for project delivery management. **Sustainability**, v. 15, n. 6, p. 4969, 2023.

[10] ABINA, Oluwarotimi Gbenga; OGUNBAYO, Babatunde Fatai; AIGBAVBOA, Clinton Ohis. Enabling technologies of health and safety practices in the fourth industrial revolution:

Nigerian construction industry perspective. **Frontiers in Built Environment**, v. 9, p. 1233028, 2023.
[11] PAN, Xiang et al. Deep learning based approaches from semantic point clouds to semantic BIM models for heritage digital twin. **Heritage Science**, v. 12, n. 1, p. 65, 2024.
[12] RADANOVIC, M. et al. Continuous Bim Alignment for Mixed Reality Visualisation. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 10, p. 279-286, 2023.
[13] FIORILLO, Fausta; BOLOGNESI, C. M. Cultural heritage dissemination: Bim modelling and ar application for a diachronic tale. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 48, p. 563-570, 2023.
[14] BIMe Initiative. S211in Model Uses List (v1.26). March 1, 2020. Disponível em: https://bimexcellence.org/resources/200series/211in/. Acessado em: 25 maio. 2024.
[15] ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.
[16] LI, Clyde Zhengdao 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.
[17] LIU, Xiaofan et al. Study on Construction of Three-Dimensional Interaction Virtual Reality of Corridor Based on Computer Vision. **IEEE Access**, v. 11, p. 10639-10653, 2022.
[18] GONZÁLEZ, V. et al. Interactive Capture and Labelling of Point Clouds with HOLOLENS2 for Semantic Segmentation. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 48, p. 641-647, 2023.
[19] FERREIRA, Teresa Cunha et al. Methodology for the digital documentation of modern architecture: Applied research on Álvaro Siza's works for the world heritage list. In: **29th CIPA Symposium "Documenting, Understanding, Preserving Cultural Heritage. Humanities and Digital Technologies for Shaping the Future**". Copernicus Publications, 2023.
[20] BANFI, Fabrizio et al. Narrating ancient roman heritage through drawings and digital architectural representation: From historical archives, UAV and LIDAR to virtual-visual storytelling and HBIM projects. **Drones**, v. 7, n. 1, p. 51, 2023.
[21] STANGA, Chiara; BANFI, Fabrizio; ROASCIO, Stefano. Enhancing Building Archaeology: Drawing, UAV Photogrammetry and Scan-to-BIM-to-VR Process of Ancient Roman Ruins. **Drones**, v. 7, n. 8, p. 521, 2023.
[22] CHEN, Xingbin et al. Effects of building information modeling prior knowledge on applying virtual reality in construction education: lessons from a comparison study. **Journal of Computational Design and Engineering**, v. 10, n. 5, p. 2036-2048, 2023.
[23] ALIZADEHSALEHI, Sepehr; HADAVI, Ahmad. Synergies of lean, BIM, and extended reality (LBX) for project delivery management. **Sustainability**, v. 15, n. 6, p. 4969, 2023.
[24] ZHOU, Min et al. A Quality Management Method for Prefabricated Building Design Based on BIM and VR-Integrated Technology. **Applied Sciences**, v. 14, n. 4, p. 1635, 2024.
[25] EHAB, Ahmed; BURNETT, Gary; HEATH, Tim. Enhancing public engagement in architectural design: A comparative analysis of advanced virtual reality approaches in building information modeling and gamification techniques. **Buildings**, v. 13, n. 5, p. 1262, 2023.
[26] JOHANSSON, Mikael; ROUPÉ, Mattias. Real-world applications of BIM and immersive VR in construction. **Automation in Construction**, v. 158, p. 105233, 2024.
[27] KHORCHI, Aissa; BOTON, Conrad. An OpenBIM-based 4D approach to support coordination meetings in virtual reality environments. **Journal of Building Engineering**, v. 85, p. 108647, 2024.
[28] MATTHYS, Mario et al. Rethinking the Public Space Design Process Using Extended Reality as a Game Changer for 3D Co-Design. **Applied Sciences**, v. 13, n. 14, p. 8392, 2023.
[29] BUCHANAN, Emma; LOPORCARO, Giuseppe; LUKOSCH, Stephan. On the Effectiveness of Using Virtual Reality to View BIM Metadata in Architectural Design Reviews for Healthcare. **Multimodal Technologies and Interaction**, v. 7, n. 6, p. 60, 2023.

[30] YANG, Tianyi et al. Design Decision Support for Healthcare Architecture: A VR-Integrated Approach for Measuring User Perception. **Buildings**, v. 14, n. 3, p. 797, 2024.
[31] OMARAN, S. M.; AL-ZUHERIY, A. S. J. Integrating Building Information Modeling and Virtual Reality to Develop Real-time Suitable Cost Estimates using Building Visualization. **International Journal of Engineering**, v. 36, n. 5, p. 858-869, 2023.
[32] SONG, Jinwoo et al. Augmented Reality-Based BIM Data Compatibility Verification Method for FAB Digital Twin implementation. **Buildings**, v. 13, n. 11, p. 2683, 2023.
[33] ZAMAN, Ahmad Akib Uz; ABDELATY, Ahmed; SOBUZ, Md Habibur Rahman. Integration of BIM data and real-time game engine applications: Case studies in construction safety management. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 29, n. 7, p. 117-140, 2024.
[34] NAGATOISHI, Marcel Georges. **Construction Management in Space: Explore Solution Space of Optimal Schedule and Cost Estimate**. Stanford University, 2022.
[35] DELGADO, João MPQ et al. BIM and BEM Interoperability–Evaluation of a Case Study in Modular Wooden Housing. **Energies**, v. 16, n. 4, p. 1579, 2023.
[36] GIRGIN, Simge; FRUCHTER, Renate; FISCHER, Martin. A CASE STUDY TOWARDS ASSESSING THE IMPACT OF MIXED REALITY-BASED INSPECTION AND RESOLUTION OF MEP ISSUES DURING CONSTRUCTION. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 28, 2023.
[37] PAN, Nai-Hsin; ISNAENI, Nurani Nanda. Integration of Augmented Reality and Building Information Modeling for Enhanced Construction Inspection—A Case Study. **Buildings**, v. 14, n. 3, p. 612, 2024.
[38] LEE, Michelle Siu Zhi; YABUKI, Nobuyoshi; FUKUDA, Tomohiro. Scene Understanding for Dimensional Compliance Checks in Mixed-Reality. **CivilEng**, v. 5, n. 1, p. 1-29, 2023.
[39] FOTIA, Antonino; BARRILE, Vincenzo. Viaduct and Bridge Structural Analysis and Inspection through an App for Immersive Remote Learning. **Electronics**, v. 12, n. 5, p. 1220, 2023.
[40] HESSELINK, Lars et al. Usability analysis of virtual-reality-enabled digital twin for the inspection of sewage pumping stations. **International Journal of Construction Management**, p. 1-12, 2023.
[41] YOON, Jae-Wook; LEE, Seung-Hyun. Development of a construction-site work support system using BIM-marker-based augmented reality. **Sustainability**, v. 15, n. 4, p. 3222, 2023.
[42] DZENG, Ren-Jye; CHENG, Chen-Wei; CHENG, Ching-Yu. A Scaffolding Assembly Deficiency Detection System with Deep Learning and Augmented Reality. **Buildings**, v. 14, n. 2, p. 385, 2024.
[43] LEE, Yee Sye et al. Innovative Point Cloud Segmentation of 3D Light Steel Framing System through Synthetic BIM and Mixed Reality Data: Advancing Construction Monitoring. **Buildings**, v. 14, n. 4, p. 952, 2024.
[44] FAWAD, Muhammad et al. Integration of bridge health monitoring system with augmented reality application developed using 3D game engine–Case Study. **IEEE Access**, 2024.
[45] MATOSEIRO DINIS, Fábio; RODRIGUES, Raquel; PEDRO DA SILVA POÇAS MARTINS, João. Development and validation of natural user interfaces for semantic enrichment of BIM models using open formats. **Construction Innovation**, v. 24, n. 1, p. 196-220, 2024.
[46] BELAROUSSI, Rachid et al. Exploring Virtual Environments to Assess the Quality of Public Spaces. **Algorithms**, v. 17, n. 3, p. 124, 2024.
[47] URBAN, Harald; FISCHER, Simon; SCHRANZ, Christian. Adapting to an OpenBIM Building Permit Process: A Case Study Using the Example of the City of Vienna. **Buildings**, v. 14, n. 4, p. 1135, 2024.
[48] LA GUARDIA, Marcello; KOEVA, Mila. Towards Digital Twinning on the Web: Heterogeneous 3D Data Fusion Based on Open-Source Structure. **Remote Sensing**, v. 15, n. 3, p. 721, 2023.
[49] HEGEMANN, F. et al. Generating a digital twin for tunneling projects during the construction phase. In: **Expanding Underground-Knowledge and Passion to Make a Positive Impact on the World**. CRC Press, 2023. p. 2701-2709.