



TECNOLOGIAS PARA TRANSFORMAR O ENSINO DE ENGENHARIA: UMA REVISÃO DA LITERATURA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6123

Autores: ALEX SANDER CLEMENTE DE SOUZA, LUCIANA DE CRESCE EL DEBS

Resumo: A rápida evolução e o uso generalizado da tecnologia transformaram a produção de bens e serviços, criando uma nova era no setor industrial conhecida como Indústria 4.0. A indústria da construção também mudou significativamente com o as tecnologias inovadoras, digitalização e conectividade, originando o termo construção 4.0. Para acompanhar o desenvolvimento tecnológico da era 4.0, o sistema educacional precisa se atualizar adotando tecnologias emergentes, metodologias pedagógicas inovadoras. Este artigo analisou as transformações na educação em engenharia civil sob a perspectiva da integração de tecnologias inovadoras nos currículos. Foi realizada revisão bibliográfica usando Scopus e o protocolo PRISMA identificando tendências tecnológicas na educação em engenharia; como tem sido integrada nos cursos de engenharia. Foram analisados 146 documentos que indica BIM, Realidade Virtual e Realidade Aumentada como principais tecnologias para a educação em engenharia civil.

Palavras-chave: Educação 4.0, Educação na Construção, Engenharia Civil, Tecnologias Educacionais

TECNOLOGIAS PARA TRANSFORMAR O ENSINO DE ENGENHARIA: UMA REVISÃO DA LITERATURA

1 INTRODUÇÃO

Mudanças profundas e aceleradas no mundo, trazidas pela tecnologia avançada na era da indústria 4.0 impactam todos os setores da sociedade, transformando as relações entre sociedade, organizações e meio ambiente. Nesse cenário, o mercado de trabalho, especialmente na engenharia, demanda perfis profissionais com novas habilidades para enfrentar os desafios de um mundo em constante transformação (BENEŠOVÁ e TUPA, 2017). A influência das tecnologias e transformações da Indústria 4.0 se estendeu a outros setores. Houve avanços significativos no uso de tecnologias emergentes na indústria da construção, alinhando-se ao conceito de Indústria 4.0, frequentemente chamada de Construção 4.0 (FORCAEL et al. 2020). Nesse contexto de transformação tecnológica, a educação em engenharia deve passar por transformações significativas com a introdução de tecnologias inovadoras, que não apenas enriquecem a experiência de aprendizagem, mas também preparam os alunos para os desafios do mercado de trabalho contemporâneo. As mudanças trazidas pela Indústria 4.0 levaram a transformações nos paradigmas educacionais, dando origem ao que hoje é conhecido como Educação 4.0. A Educação 4.0 envolve a integração de tecnologias digitais, conectividade e novas abordagens de aprendizagem, mais flexíveis e personalizadas (BONFIELD et al. 2020; Miranda et al. 2021).

O foco de muitas pesquisas tem sido sobre as tecnologias inovadoras e suas aplicações na Indústria 4.0 (BENEŠOVÁ e TUPA, 2017). Também houve estudos e pesquisas sobre a possibilidade de usar essas tecnologias em outros setores, como a indústria da construção (SOUZA e DEBS, 2024). No entanto, ainda há pouca exploração sobre a identificação das tecnologias mais promissoras para transformar a educação e como a introdução dessas tecnologias impacta os currículos de engenharia e as metodologias de ensino, especialmente em cursos de engenharia civil e gestão da construção (DEBS et al. 2022). Estudos anteriores (SOUZA e DEBS, 2024; MENEGON et al. 2022; Jang et al. 2021) foram dedicados a identificar tecnologias da Indústria 4.0 e seu uso em outros setores, como a indústria da construção. As principais tecnologias no contexto da Indústria 4.0 e da Construção 4.0 identificadas na literatura, que norteiam o presente estudo, são apresentadas na Quadro 1.

Quadro 1 - Tecnologias líderes identificadas na literatura sobre Indústria 4.0, Construção 4.0 e Educação 4.0

Inteligência artificial (IA)	Internet das Coisas (IoT)
Realidade Aumentada (RA)	Robótica / automação
Realidade Virtual (RV)	Impressão 3D
Building Information Modeling (BIM)	Drones

Fonte: autor

A pesquisa tem se concentrado na identificação de tecnologias transformadoras da Indústria 4.0 e sua influência em diversos campos. A educação também busca integrar essas tecnologias, particularmente no ensino de engenharia. No entanto, a sinergia entre Indústria 4.0, Construção 4.0 e Educação 4.0, especialmente para o ensino de engenharia civil e gestão da construção, ainda é pouco explorada (SOUZA e DEBS, 2023). Este trabalho visa abordar essa lacuna por meio de uma revisão da literatura combinada com análise bibliométrica sobre

tecnologias de integração no ensino de engenharia, especialmente em engenharia civil e gestão da construção, orientada pelas seguintes questões de pesquisa:

Q1: Qual é o panorama geral das pesquisas relacionadas à introdução de inovações tecnológicas no ensino de construção civil e engenharia civil?

Q2: Quais são as tecnologias com mais potenciais para transformar o ensino de engenharia na era 4.0?

Q3: Como as tecnologias foram integradas e impactadas nos currículos dos cursos de engenharia?

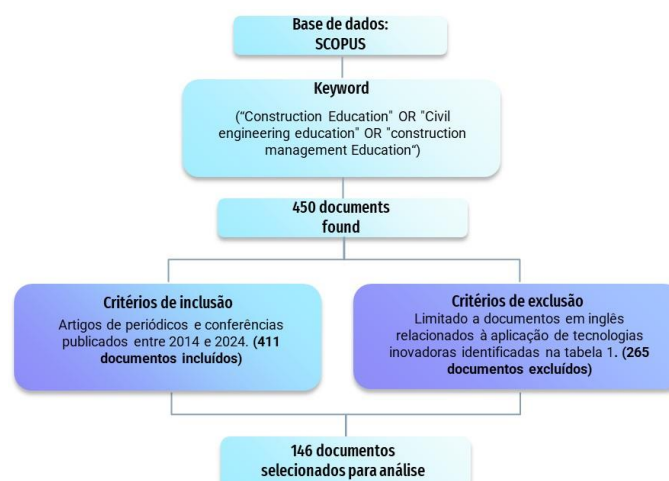
Q4: Quais são as tendências na pesquisa sobre tecnologias inovadoras no ensino de engenharia?

Portanto, o objetivo é fornecer um panorama das pesquisas sobre inovação tecnológica na educação, especialmente para gestores de engenharia civil e construção. Pretendemos identificar as tecnologias mais utilizadas e com maior potencial de transformação, bem como as tendências nessa área de pesquisa.

2 METODOLOGIA

Revisão de literatura tipo escopo foi utilizada para abordar os principais objetivos deste estudo, que se concentram nas aplicações de tecnologias inovadoras na educação em engenharia e seu impacto na abordagem de aprendizagem. A revisão de escopo (Munn et al. 2018), juntamente com a análise bibliométrica, tem sido aplicada efetivamente em vários campos. Ela nos permite monitorar tópicos, pesquisas, e tendências além de oferecer uma compreensão abrangente das transformações na educação em engenharia relacionadas a tecnologias educacionais inovadoras. Neste estudo, foram adotadas as diretrizes apresentadas por (BEARMAN, 2012; XIAO e WATSON, 2019), divididas em três etapas: busca documental, análise bibliométrica e análise de conteúdo. A Figura 1 resume a etapa de busca documental, indicando os termos de busca, os critérios de inclusão e exclusão na base de dados Scopus.

Figura 1 – Processos de pesquisa de documentos.



Fonte: autores

Na segunda fase, utilizamos o VOSviewer (ARIA, 2017) para realizar uma análise bibliométrica. Isso envolveu a identificação da distribuição e do crescimento anual de publicações e citações, as principais fontes, autores e instituições de pesquisa. Também buscamos identificar os trabalhos e autores mais citados, bem como os tópicos mais frequentes nas pesquisas. Por fim, na última fase, realizamos uma análise de conteúdo dos documentos selecionados. Essa análise permitiu identificar quais tecnologias têm potencial

mais significativo para transformar a educação e como essas tecnologias têm sido integradas ao processo de aprendizagem em engenharia.

3 RESULTADOS E DISCURSÕES

Cento e quarenta e seis (146) documentos foram selecionados da base de dados Scopus seguindo o protocolo de busca por tecnologias inovadoras utilizadas no ensino de engenharia civil e construção. A Figura 2 apresenta um resumo das informações coletadas sobre os documentos.

Figura 2 – Resumo das informações.



Fonte: autores

Os artigos estão divididos igualmente entre publicações em periódicos (73) e em conferências (73). Porém, quando consideramos as citações dos documentos, o impacto de publicações em periódicos é mais significativo. Os dez artigos de periódicos têm, combinados, um total de 559 citações, enquanto os dez artigos de conferência têm somente 226 citações. Além disso, nenhum artigo de conferência está entre os cinco artigos mais citados dentre os revisados (Quadro 2).

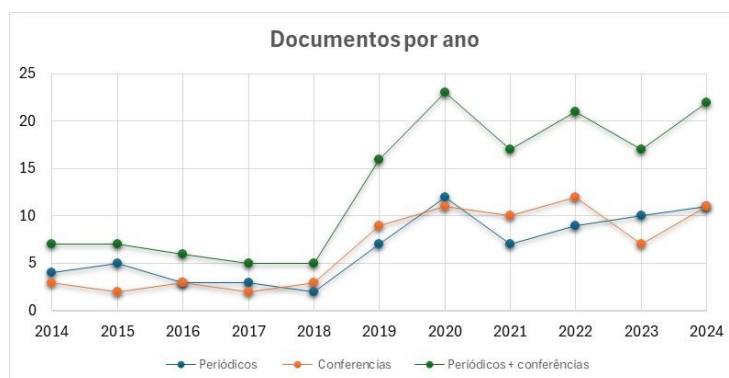
Quadro 2 – Lista dos cinco documentos mais citados

	Referência	Fonte	Ano	N. de citações
1	Jin et al (2019)	Engineering, Construction and Architectural Management	2019	86
2	Zhang et al. (2022)	Automation in Construction	2022	80
3	Jin et al. (2018)	Engineering, Construction and Architectural Management	2018	66
4	Dib and Adamo-Villani (2014)	Journal of computing in civil engineering	2014	62
5	Wen and Gheisari (2020)	Construction Innovation	2020	59

Fonte: autores

Os três principais países em pesquisa sobre o uso de tecnologias inovadoras no ensino de engenharia civil e gestão da construção são os Estados Unidos (73), a China (15) e o Reino Unido (13). A distribuição anual de publicações demonstra crescimento consistente, especialmente a partir de 2018. Além disso, indica que o aumento nas publicações em periódicos superou o das publicações em conferências (Figura 3).

Figura 3 – Distribuição e crescimento anual das publicações.

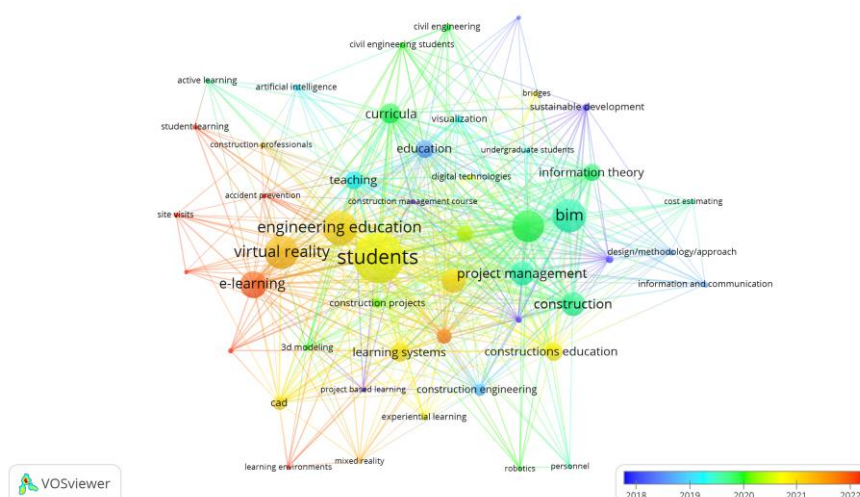


Fonte: autores

As relações e a frequência de palavras-chave utilizadas em pesquisas relacionadas a tecnologias educacionais para o ensino de gestão da construção e engenharia civil foram analisadas com o método de contagem completa de todas as palavras-chave, com um mínimo de cinco ocorrências (Figura 4). Na Figura 4, optamos por manter as palavras-chave em inglês em coerência com o utilizado na pesquisa bibliográfica. A escala de cores representa o ano médio das publicações em que a palavra-chave foi citada, variando do mais antigo (azul escuro) ao mais recente (vermelho); e o tamanho do nó mede a frequência de ocorrência da palavra-chave, que a pesquisa centraliza em alunos e tecnologias altamente envolventes, Building Information Modeling (BIM), Realidade Virtual (RV), Realidade Aumentada (RA) e e-learning. Essas áreas estão emergindo como tópicos de pesquisa em alta a partir de 2021.

A análise da frequência de palavras-chave e a triagem de títulos/resumos permitiu identificar trabalhos com objetivos focados na implementação de tecnologias inovadoras específicas no ensino de engenharia civil e gestão da construção (Quadro 3). Nossos resultados indicam que o e-learning (45 ocorrências) e os ambientes virtuais de aprendizagem (33 ocorrências) estão se tornando tópicos de pesquisa cada vez mais importantes, em aplicações como laboratórios virtuais e visitas virtuais. Não há referências recorrentes a conceitos 4.0 (como indústria 4.0, educação 4.0 e construção 4.0) em relação ao ensino de engenharia, especificamente engenharia civil, e ao ensino de gestão da construção.

Figura 4 – Relações de palavras-chave e frequência de áreas temáticas identificadas.



Fonte: autores

Quadro 3 – Principais tecnologias e métodos de aprendizagem identificados na literatura.

Tecnologia	Número de documentos	% Documentos	Frequência de palavras-chave
Realidade Virtual (RV)	58	39.7	66
BIM	56	38.4	90
Realidade Aumentada (RA)	23	15.8	29
Inteligência Artificial (IA)	4	2.7	11
Robótica	4	2.7	6
Drones	3	2.1	3
Internet das coisas (IoT)	2	1.4	4
Impressão 3D	2	1.4	7

Fonte: autores

4 SÍNTESE

Realidade Virtual, BIM e Realidade Aumentada são tecnologias que têm despertado interesse significativo em pesquisas sobre a integração da tecnologia em ambientes educacionais, particularmente nas áreas de engenharia civil e gestão da construção. O uso do Building Information Modeling (BIM) na indústria da construção civil está bem estabelecido, mas pesquisas e o desenvolvimento contínuos nessa área ainda atraem atenção significativa tanto da indústria quanto da academia. Como resultado, o BIM desempenha um papel fundamental na definição do currículo dos cursos de engenharia civil, gestão da construção e arquitetura, alinhando os objetivos de aprendizagem com as expectativas e demandas da indústria (LUCAS, 2017). O BIM deve ser integrado aos currículos dos cursos para melhor capacitar futuros profissionais. Enfatizar o ensino conceitual do BIM como um processo integrado de projeto e gestão da construção é crucial, em vez de focar apenas em seus aspectos tecnológicos (LEITE, 2016).

O BIM tem sido incorporado aos cursos de engenharia civil e gestão da construção de diversas maneiras. Isso inclui a oferta de cursos extracurriculares, sua integração a disciplinas específicas do currículo formal (WANG e LEITE, 2014; ZHANG et al. 2019; RACHMAWATI et al. 2022) e sua incorporação interdisciplinar para apoiar a aprendizagem de outros conteúdos, como sustentabilidade, ciclo de vida e segurança (SOEMARDI e ERWIN, 2017; ATABAY et al. 2019; ATABAY et al. 2020). A pesquisa em educação na construção civil tem se concentrado na incorporação do Building Information Modeling (BIM) a outras tecnologias digitais, incluindo realidade virtual e realidade aumentada (DEBS et al. 2022). Essa tendência está ganhando força devido à sua capacidade de aprimorar os resultados da aprendizagem e equipar melhor os alunos para as exigências do setor. A integração permite que os alunos visualizem e interajam com modelos de construção complexos, melhorando sua percepção espacial, criatividade, habilidades de resolução de problemas e aumentando o envolvimento e a motivação dos alunos (LOZANO-GALANT et al. 2024; WANG et al. 2024; ANIFOWOSE et al. 2022; RASHIDI et al. 2023).

A Realidade Virtual (RV) é uma tecnologia poderosa que oferece aos estudantes uma experiência de aprendizagem ativa e interativa, apoiando o ensino de engenharia em aulas virtuais ou online. A RV simula ambientes imersivos onde as condições físicas da vida real são de difícil acesso, perigosas ou caras. (WANG et al. 2022). A literatura apresenta uma série de pesquisas sobre o desenvolvimento de ambientes virtuais de aprendizagem para diferentes finalidades, sendo as mais comuns o aprendizado sobre planejamento e montagem de construções industriais (LUCAS, 2017; LUCAS, 2018; DIN, 2022) e treinamento de segurança em canteiros de obras (ABOTALEB et al. 2022; ABOTALEB et al. 2023; SENGUPTA e SPARKLING 2021; ZHANG et al. 2022). A RV tem sido utilizada na educação para criar jogos

educativos para o ensino de conceitos de engenharia civil (CASTRONOVO et al. 2019; DIN, 2022; KANDI et al. 2020). As avaliações desses ambientes virtuais pelos alunos têm sido positivas, destacando a facilidade de compreensão e visualização de conceitos, retenção de conhecimento, aumento da confiança e engajamento e poucas dificuldades operacionais (WANG et al. 2024; SENGUPTA e SPARKLING 2021).

Da mesma forma, a Realidade Aumentada (RA) tem o potencial de revolucionar o ensino de engenharia, proporcionando experiências educacionais imersivas que combinam os mundos real e virtual. Essa tecnologia permite que os estudantes visualizem facilmente estruturas e detalhes de construção, resultando em melhor aprendizado, comunicação e engajamento (SIVAPRIYAN et al. 2024). Ela tem sido usada em salas de aula para aprimorar a compreensão e a visualização dos processos de montagem e inspeção de instalações (BADEMOSI et al. 2019; KIM e OLSEN, 2022). No entanto, a integração das tecnologias de RV e RA na educação é dificultada por desafios como custos excessivos, falta de habilidades de programação entre os professores e escassez de aplicações específicas para cursos de engenharia civil (DIN, 2022; ROKOOEI et al. 2022; WONG et al. 2021).

Nossa pesquisa mostra que a combinação de BIM, RV, RA e IA estar emergindo como uma tendência proeminente na aplicação dessas tecnologias no ensino de engenharia. Essa integração também abre caminho para a criação de jogos imersivos que simulam o mundo real e estão avançando para ambientes virtuais inteligentes. Isso abre oportunidades de aprendizagem por meio de Realidade Mista (RM) e Realidade Estendida (XR) (LOZANO-GALANT et al. 2024; WANG et al. 2023; WANG et al. 2024; OGUNSEIJU et al. 2023; OGUNSEIJU et al. 2022).

Embora não haja uma frequência significativa de artigos, a inteligência artificial é reconhecida como uma tecnologia disruptiva na construção civil, mas seu uso é limitado devido aos desafios econômicos e à escassez de docentes e técnicos qualificados (CHENG et al., 2024). Estudos nessa área são escassos e se concentram principalmente na descrição das disciplinas que abordam esse tema em cursos de engenharia civil e gestão da construção civil (CHENG et al., 2024; RIVERA et al., 2024). Além disso, o uso de chatbots como ferramenta de aprendizagem tem sido explorado (UDDIN et al., 2024), embora apenas recentemente.

Espera-se um aumento no uso de robôs e tecnologias de automação no setor da construção civil. Futuros engenheiros civis e gerentes de construção devem ter conhecimento sobre suas aplicações nas obras, bem como sobre questões operacionais e de segurança (BADEMOSI et al. 2018). No entanto, implementar esses aprendizados em sala de aula pode ser desafiador devido a restrições logísticas e financeiras. Alternativamente, a realidade virtual pode ser utilizada para criar simuladores para o aprendizado de robótica aplicada ao setor da construção civil.

A revisão da literatura não indicou uma conexão clara entre Educação 4.0, Construção 4.0 e Indústria 4.0. A necessidade de atualizar a formação de engenheiros e gestores de construção em resposta a tecnologias inovadoras não está sendo diretamente vinculada à quarta revolução industrial e seus desdobramentos na Construção 4.0 e na Educação 4.0.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta revisão analisou artigos de pesquisa sobre educação em engenharia civil e construção, com foco na aplicação de tecnologias inovadoras, publicados na última década. Uma análise da frequência de artigos entre 2014 e 2024 indica um crescente interesse de pesquisa neste tópico. Os pesquisadores buscam compreender como as tecnologias podem ser integradas aos currículos e quais são os benefícios e desafios dessa integração. A

avaliação do conteúdo fornece informações valiosas sobre as práticas e inovações atuais. Foi possível inferir que BIM, VR e AR são as tecnologias de maior interesse para pesquisadores e que têm potencial de transformar significativamente o ensino de engenharia, particularmente em engenharia civil e gestão da construção. O estudo revelou lacunas na sinergia entre a Indústria 4.0 e a Construção 4.0, bem como a falta de envolvimento e política institucional na implementação dessas tecnologias. Este fato destaca a necessidade de maior exploração e desenvolvimento de estratégias educacionais e ambientes de aprendizagem baseados nas tecnologias emergentes identificadas no estudo, por meio da colaboração entre a academia e a indústria. Pesquisas futuras devem se concentrar em expandir e diversificar as aplicações dessas tecnologias no ensino de engenharia civil e gestão da construção, com ênfase no desenvolvimento de jogos educacionais que combinem tecnologias de visualização, BIM e inteligência artificial para uso em ensino presencial e online. Este estudo utilizou apenas o banco de dados SCOPUS e se concentrou em publicações em língua inglesa; portanto, alguns artigos importantes podem ter sido omitidos. A revisão incluiu apenas publicações de 2014 em diante para conectar-se com os conceitos da Indústria 4.0 que surgiram naquela época. Ao criar os mapas para análise de co-ocorrência temáticas, foram combinados sinônimos de palavras-chave, o que é uma metodologia comum, mas pode introduzir vieses. Apesar destas limitações, os resultados apresentados podem orientar o planejamento de novos currículos prevendo a integração de tecnologias ao treinamento em engenharia para alinhá-los às demandas modernas.

REFERÊNCIAS

- ABOTALEB, Ibrahim et al. An interactive virtual reality model for enhancing safety training in construction education. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 31, n. 2, p. 324-345, 2023.
- ABOTALEB, Ibrahim et al. Virtual reality for enhancing safety in construction. In: **Construction Research Congress 2022**. 2022. p. 1191-1201.
- ANIFOWOSE, Hassan; YAN, Wei; DIXIT, Manish. BIM LOD+ Virtual Reality--Using Game Engine for Visualization in Architectural & Construction Education. **arXiv preprint arXiv:2201.09954**, 2022.
- ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.
- ATABAY, Senay; PELIN GURGUN, Asli; KOC, Kerim. Incorporating BIM and Green Building in Engineering Education: Assessment of a school building for LEED Certification. **Practice Periodical on Structural Design and Construction**, v. 25, n. 4, p. 04020040, 2020. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000528](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000528)
- ATABAY, SENAY; GURGUN, ASLI PELIN; DEMIRBAS, ALPER GOKTUG. Design of certified green buildings using Building Information Modeling. **Proceedings of International Structural Engineering and Construction**, v. 6, n. 1, p. 1-6, 2019.
- BADEMOSI, Fopefoluwa; TAYEH, Ralph; ISSA, Raja RA. Skills Assessment for Robotics in Construction Education. **EG-ICE**, v. 2394, p. 1-10, 2018.
- BADEMOSI, Fopefoluwa; BLINN, Nathan; ISSA, Raja RA. Use of augmented reality technology to enhance comprehension of construction assemblies. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 24, 2019.
- BEARMAN, Margaret et al. Systematic review methodology in higher education. **Higher Education Research & Development**, v. 31, n. 5, p. 625-640, 2012.
- BENEŠOVÁ, Andrea; TUPA, Jiří. Requirements for education and qualification of people in Industry 4.0. **Procedia manufacturing**, v. 11, p. 2195-2202, 2017.

BENEŠOVÁ, Andrea; TUPA, Jiří. Requirements for education and qualification of people in Industry 4.0. **Procedia manufacturing**, v. 11, p. 2195-2202, 2017. <https://doi.org/10.1080/23752696.2020.1816847>.

CASTRONOVO, Fadi et al. Design and development of a virtual reality educational game for architectural and construction reviews. In: **2019 ASEE Annual Conference & Exposition**. 2019. CHENG, J. Y., DEVKOTA, A., GHEISARI, M., & JEELANI, I., 2024. Enhancing AI Literacy of Undergraduate Students Using Construction Safety Context. In Construction Research Congress 2024 (pp. 40-49).

DIB, Hazar; ADAMO-VILLANI, Nicoletta. Serious sustainability challenge game to promote teaching and learning of building sustainability. **Journal of computing in civil engineering**, v. 28, n. 5, p. A4014007, 2014.

DIN, Zia. Lessons learned from the development of immersive virtual reality-based collaborative architecture, engineering, and construction (AEC) education environment. In: **2022 ASEE Annual Conference & Exposition**. 2022.

DEBS, L.; HUBBARD, B.; ZIMPFER, M. Teaching of emerging technology in construction education. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2022. p. 082032.

FORCAEL, Eric et al. Construction 4.0: A literature review. **Sustainability**, v. 12, n. 22, p. 9755, 2020.

JIN, Ruoyu et al. Scientometric analysis of BIM-based research in construction engineering and management. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 26, n. 8, p. 1750-1776, 2019.

JIN, R., YANG, T., PIROOZFAR, P., KANG, B. G., WANATOWSKI, D., HANCOCK, C. M., & TANG, L., 2018. Project-based pedagogy in interdisciplinary building design adopting BIM. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 25(10), 1376-1397.

JANG, Youjin et al. Identifying the perception differences of emerging construction-related technologies between industry and academia to enable high levels of collaboration. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, n. 10, p. 06021004, 2021.

KANDI, Varsha Reddy et al. Assessing the impact of a construction virtual reality game on design review skills of construction students. **Journal of Architectural Engineering**, v. 26, n. 4, p. 04020035, 2020.

KIM, Jeffrey; OLSEN, Darren; RENFROE, Jack. Construction workforce training assisted with augmented reality. In: **2022 8th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)**. IEEE, 2022. p. 1-6.

LEITE, Fernanda. Project-based learning in a building information modeling for construction management course. **J. Inf. Technol. Constr.**, v. 21, n. Apr, p. 164-176, 2016. <http://www.itcon.org/2016/11>.

LOZANO-GALANT, F. et al. Enhancing civil engineering education through affordable AR tools for visualizing BIM models. **Journal of Civil Engineering Education**, v. 150, n. 3, p. 05024003, 2024.

LUCAS, Jason D. Identifying learning objectives by seeking a balance between student and industry expectations for technology exposure in construction education. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, v. 143, n. 3, p. 05016013, 2017. DOI: 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000318.

LUCAS, Jason David. Immersive VR in the construction classroom to increase student understanding of sequence, assembly, and space of wood frame construction. **J. Inf. Technol. Constr.**, v. 23, n. November 2017, p. 179-194, 2018.

MENEGON, Julia; DA SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto. The impact of industry 4.0 concepts and technologies on different phases of construction project lifecycle: A literature review.

Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, v. 47, n. 3, p. 1293-1319, 2023.

MIRANDA, Jhonattan et al. The core components of education 4.0 in higher education: Three case studies in engineering education. **Computers & Electrical Engineering**, v. 93, p. 107278, 2021.. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107278>.

MUNN, Zachary et al. Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. **BMC medical research methodology**, v. 18, p. 1-7, 2018.

OGUNSEIJU, Omobolanle et al. Detecting learning stages within a sensor-based mixed reality learning environment using deep learning. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 37, n. 4, p. 04023011, 2023.

OGUNSEIJU, Omobolanle R. et al. Mixed reality environment for learning sensing technology applications in Construction: A usability study. **Advanced Engineering Informatics**, v. 53, p. 101637, 2022.

RACHMAWATI, Titi Sari Nurul; SAGITANINGRUM, Fathiyah Hakim; MACHFUDIYANTO, Rossy Armyrn. Exploring the integration of BIM to civil engineering undergraduate curriculum in Indonesian universities. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing, 2022.

RASHIDI, Ali et al. Construction planning through 4D BIM-based virtual reality for light steel framing building projects. **Smart and Sustainable Built Environment**, v. 12, n. 5, p. 1153-1173, 2023.

RIVERA, ERIKA JUDITH et al. Empowering Future Construction Professionals by Integrating Artificial Intelligence in Construction-Management Education and Fostering Industry Collaboration. In: **2024 ASEE Annual Conference & Exposition**. 2024.

ROKOOEI, Saeed et al. Design and Development Considerations for Construction Virtual Reality Training Applications—A Case Study. In: **Construction Research Congress 2022**. 2022. p. 900-910.

SIVAPRIYAN, R. et al. Review on Augmented Reality in Civil Engineering Education and Application. In: **2024 International Conference on Intelligent and Innovative Technologies in Computing, Electrical and Electronics (IITCEE)**. IEEE, 2024. p. 1-5.

SENGUPTA, Ramyani; SPARKLING, Anthony E. Incorporating virtual reality in construction management education. In: **2021 ASEE virtual annual conference content access**. 2021.

SOEMARDI, Biemo W.; ERWIN, Ray G. Using BIM as a tool to teach construction safety. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, 2017. p. 05007.

SOUZA, Alex Sander Clemente; DEBS, Luciana. Concepts, innovative technologies, learning approaches and trend topics in education 4.0: A scoping literature review. **Social Sciences & Humanities Open**, v. 9, p. 100902, 2024.

DE SOUZA, Alex Sander Clemente; DEBS, Luciana. A review of synergies between industry 4.0, construction 4.0, and education 4.0 in the engineering education context. In: **2023 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)**. IEEE, 2023. p. 1-9.

SOUZA, Alex Sander Clemente de; DEBS, Luciana. Identifying emerging technologies and skills required for construction 4.0. **Buildings**, v. 13, n. 10, p. 2535, 2023.

SUN, Yuan; GHEISARI, Masoud; JEELANI, Idris. RoboSite: An Educational Virtual Site Visit Featuring the Safe Integration of Four-Legged Robots in Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 150, n. 10, p. 04024126, 2024.

UDDIN, SM Jamil et al. ChatGPT as an educational resource for civil engineering students. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 32, n. 4, p. e22747, 2024.

XIAO, Yu; WATSON, Maria. Guidance on conducting a systematic literature review. **Journal of planning education and research**, v. 39, n. 1, p. 93-112, 2019.

YANG, Yiran et al. The use of virtual reality in manufacturing education: State-of-the-art and future directions. **Manufacturing Letters**, v. 35, p. 1214-1221, 2023.

WANG, Jingwen; MA, Qingsong; WEI, Xindong. The application of extended reality technology in architectural design education: a review. **Buildings**, v. 13, n. 12, p. 2931, 2023.

WANG, Xiangzhi et al. Examining the effects of an immersive learning environment in tertiary AEC education: Cave-VR system for students' perception and technology acceptance. **Journal of Civil Engineering Education**, v. 150, n. 2, p. 05023012, 2024.

WANG, Kaiyang et al. Implementation of augmented reality in BIM-enabled construction projects: a bibliometric literature review and a case study from China. **Construction Innovation**, v. 24, n. 4, p. 1085-1116, 2024.

WANG, Chen et al. Application of VR technology in civil engineering education. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 30, n. 2, p. 335-348, 2022.

WANG, Li; LEITE, Fernanda. Process-oriented approach of teaching building information modeling in construction management. **Journal of professional issues in engineering education and practice**, v. 140, n. 4, p. 04014004, 2014.

WEN, Jing; GHEISARI, Masoud. Using virtual reality to facilitate communication in the AEC domain: a systematic review. **Construction Innovation**, v. 20, n. 3, p. 509-542, 2020.

WONG, P. S. P. et al. Towards applying virtual reality techniques in fostering blended learning of the construction technology. In: **EASEC16: Proceedings of The 16th East Asian-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction**, 2019. Springer Singapore, 2021. p. 2107-2117.

ZHANG, Ming et al. Virtual reality technology in construction safety training: Extended technology acceptance model. **Automation in Construction**, v. 135, p. 104113, 2022.

ZHANG, Jingxiao; XIE, Haiyan; LI, Hui. Improvement of students problem-solving skills through project execution planning in civil engineering and construction management education. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 26, n. 7, p. 1437-1454, 2019.

TECHNOLOGIES FOR TRANSFORMING ENGINEERING EDUCATION: A SCOPING LITERATURE REVIEW

Abstract: *The rapid evolution and widespread use of technology have transformed production of goods and services, leading to a new era in the industrial sector known as Industry 4.0. Similarly, the construction industry has undergone significant changes using innovative technology, digitalization, and connectivity, which has been termed construction 4.0. To keep up with the technological development of the 4.0 era, the educational system needs to update itself by adopting emerging technologies, innovative pedagogical methodologies, and competency-based learning. This paper analyzed the transformation in construction and civil engineering education in this article from the perspectives of innovative technologies integrations in the curricula. The authors conducted a literature review using the Scopus database and PRISMA protocol to identify the latest technology trends in engineering education; how have technologies been integrated and impacted in engineering course. Bibliometric and content analysis of 146 documents collected indicates that BIM, Virtual Reality, and Augmented Reality are the primary technologies for education in civil construction, and the trend is the integrated use of these three technologies. The results do not indicate any connections between research in construction education and the concepts of industry 4.0 or construction 4.0.*

Keywords: *Education 4.0, Construction Education, Civil Engineering, Educational Technologies*

