Indústria 5.0: Oportunidades e Desafios para Arquitetura e Construção

13º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção e 4º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção

ARACAJU-SE | 08 a 10 de Novembro

[1]BIM para infraestruturas rodoviárias: uma revisão sistemática

BIM for road infrastructure: a systematic review

Cláudia Rafaela Saraiva de Melo Simões Nascimento
Universidade Federal de Pernambuco | Recife, PE | claudia.msnascimento@ufpe.br

Gisele Joana Ramos dos Santos
Universidade Federal de Pernambuco | Recife, PE | gisele.jrsantos2@ufpe.br

Adiel Teixeira de Almeida-Filho
Universidade Federal de Pernambuco | Recife, PE | adielfilho@cin.ufpe.br

Rachel Perez Palha
Universidade Federal de Pernambuco | Recife, PE | rachel.palha@ufpe.br

RESUMO

Este estudo ter por objetivo examinar as pesquisas que abordam o uso do BIM para infraestruturas rodoviárias e entender como estão avançando os estudos nesta área e quais são suas direções futuras. Para isso, uma Revisão Sistemática da Literatura é apresentada em que foram levantados 81 artigos através de busca no WoS e no Scopus. Como resultados, pode-se destacar que o uso do BIM aliado a tecnologias como GIS, LiDAR, UAV permite otimizar projetos e facilitam levantamento de estruturas existentes visando melhorias nas fases de construção e manutenção, o que também permite uma melhor gestão de ativos rodoviários. Contudo, como lacunas do conhecimento foram encontradas, pode-se citar que há necessidade de ampliar estudos para (i) superar barreiras relacionadas a modelagem e levantamento de curvas de pontes e rodovias; (ii) avançar em estudos de interoperabilidade e troca de informações entre programas e partes interessadas; (iii) desenvolver trabalhos relacionados as fases de planejamento, requalificação e demolição.

Palavras-chave: BIM. Infraestruturas rodoviárias. BIM para infraestruturas rodoviárias. Revisão sistemática da literatura.

ABSTRACT

This study aims to examine the research that addresses the use of BIM for road infrastructure and to understand how studies in this area are progressing and their future directions. To this end, a Systematic Literature Review is presented in which 81 articles were surveyed by searching WoS and Scopus. As result, it can be highlighted that the use of BIM allied to technologies such as GIS, LiDAR, UAV allows for optimizing projects and facilitating the survey of existing structures aiming for improvements in the construction and maintenance phases, which also allows better management of road assets. However, as gaps in knowledge were found, one can mention that there is a need to expand studies to (i) overcome barriers related to modeling and surveying curves of bridges and highways; (ii) advance in interoperability studies and information exchange between programs and stakeholders; (iii) develop work related to the phases of planning, requalification, and demolition.

Keywords: BIM. Road infrastructure. BIM for road infrastructure. Systematic review of the literature.

1 INTRODUÇÃO

As infraestruturas são os ativos mais valiosos do governo e fundamentais para o crescimento da economia, segurança e bem-estar de todos os países. Por isso, é necessário o uso de tecnologias mais eficientes, como o BIM (*Building Information Modeling*), para acompanhar o crescimento e as necessidades da população (GAO et al., 2022). Apesar da sua importância e do decreto Decreto Nº 10.306 que estabelece a utilização do BIM obrigatória para o Ministério da Infraestrutura (BRASIL, 2020) e da Lei de Licitação n° 14.133 que determina a adoção preferencial do BIM para obras de engenharia e arquitetura (BRASIL, 2021), a implementação do BIM tem sido lenta para infraestruturas, mesmo pesquisas mostrando que o governo é quem recebe a maior parte de seus benefícios (YANG; CHOU, 2019).

Do exposto acima, verifica-se que há necessidade de se ampliarem os estudos do BIM voltados a infraestrutura, especialmente um país de grandes dimensões como o Brasil que possui uma malha rodoviária federal de cerca de 75,8 mil km e cerca de 8000 pontes e viadutos (DNIT, 2021). Além disso, é importante otimizar o gerenciamento dos recursos investidos nas obras de infraestrutura existentes, uma vez que muitas delas precisam de reparos e recuperação continuamente e não há orçamento nem pessoal técnico suficientes para solucionar todos os problemas em um mesmo espaço de tempo (COSTIN et al., 2018).

[1] NASCIMENTO, C.R.S.M.S, SANTOS, G.J.R. dos, ALMEIDA-FILHO, PALHA, R.P. BIM para infraestruturas rodoviárias: uma revisão sistemática. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2023, Aracaju. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2023.

Assim, este estudo faz uma Revisão Sistemática da Literatura e tem por objetivo examinar as pesquisas que abordam o uso do BIM para infraestruturas rodoviárias e visa responder como estão avançando as pesquisas nessa área e quais são suas direções futuras.

2 METODOLOGIA

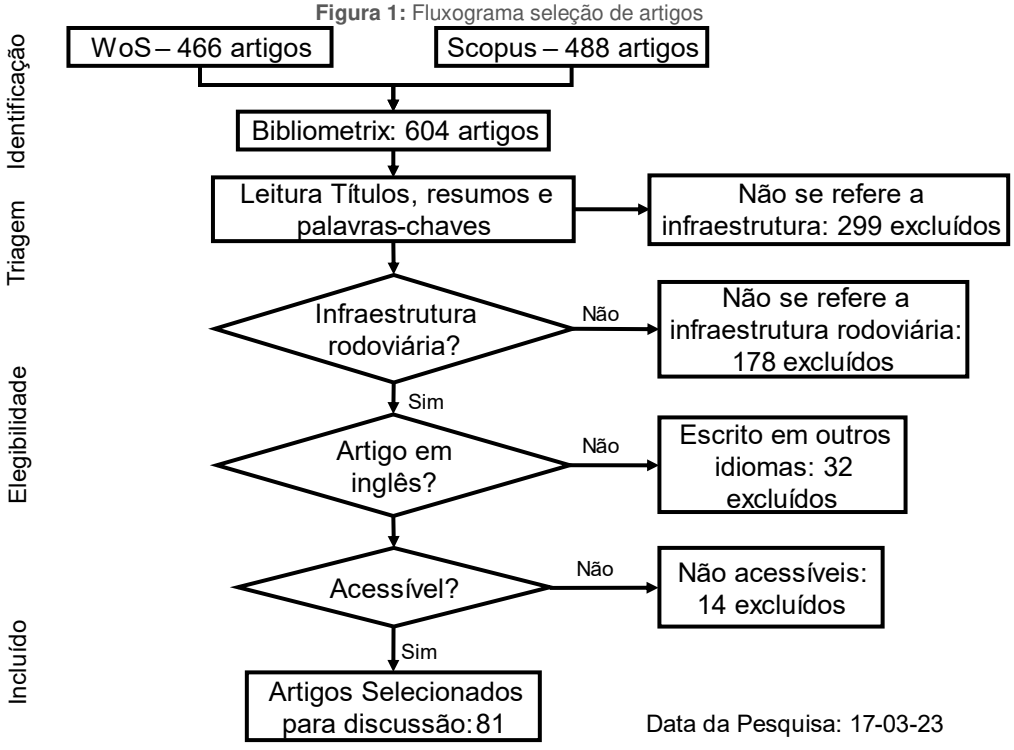
A metodologia escolhida para o artigo trata-se de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Uma RSL é uma maneira rigorosa de identificar e avaliar o estado de conhecimento existente sobre uma determinada questão e busca identificar as principais contribuições científicas para um campo (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003). A revisão iniciou com a identificação dos estudos relacionados ao BIM e infraestruturas, realizando uma busca no Web of Science (WoS) e no Scopus.

Buscou-se por artigos e usou-se a combinação das seguintes palavras-chave e operadores booleanos: "Building Information Modeling" OR "BIM" and “Infrastructure”. No WoS a pesquisa foi em tópico e no Scopus em título, resumo e palavras-chaves. Além disso, no Scopus, restringiu-se a pesquisa às subáreas de engenharia e ciência da computação. Foram encontrados 466 artigos no WoS e 488 artigos no Scopus. A pesquisa foi realizada em 17 de março de 2023. O R Studio com Bibliometrix foi usado para mesclar o conjunto das bases de dados e extrair as duplicatas (ARIA; CUCCURULLO, 2017) totalizando 604 artigos.

Optou-se por essas escolhas de palavras-chave de busca, pois existem vários termos relacionados ao tema BIM para infraestruturas rodoviárias, tais como Construction Information Modeling (CIM), Bridge Information Modeling (BRIM), Infrastructure Information Model (IBIM), Road Information Model (RIM), Tunnel Information Model (TIM), usá-los como palavras-chaves poderia limitar a pesquisa, pois poderia deixar de fora do estudo alguns trabalhos importantes que não usaram nenhuma destes termos ao longo do texto.

As diretrizes do PRISMA - Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses foram empregadas para a avaliação das 604 pesquisas identificadas. Foram lidos títulos e resumos e excluídos 299 artigos que não abordavam o uso do BIM para infraestruturas. Depois foram excluídos artigos que não abordavam especificamente infraestruturas rodoviárias, trabalhos que não foram escritos em inglês e os que não estavam acessíveis para download, restando 81 para análise e desenvolvimento da pesquisa (Ver figura 1).

Figura 1: Fluxograma seleção de artigos

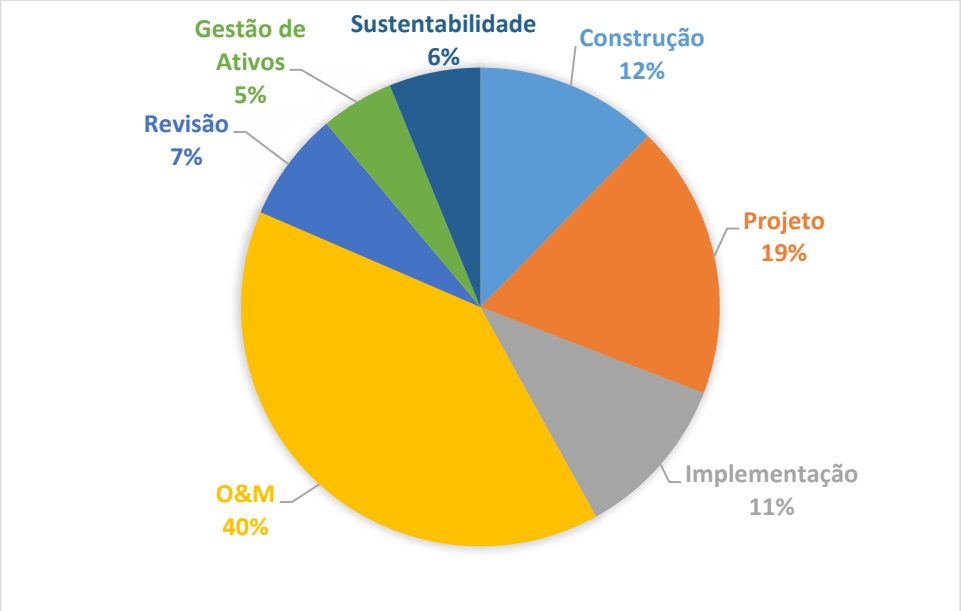


Fonte: os autores.

3 RESULTADOS

Para analisar a literatura levantada, os 81 artigos encontrados foram agrupados em 6 diferentes categorias: (i) Implementação, (ii) Projeto, (iii) Construção, (iv) Operação e Manutenção (O&M), (v) Revisão da Literatura, (vi) Sustentabilidade. A figura 2 mostra a distribuição quantitativa desses trabalhos. As principais pesquisas relacionadas a cada categoria serão descritas na sequência.

Figura 2: Distribuição dos artigos em categorias



Fonte: os autores.

3.1 Implementação

A categoria Implementação estudou a percepção da transformação digital em infraestrutura de transportes (GUO et al., 2022); criou métricas para analisar os benefícios da implementação bem sucedida do BIM (HERVA; SINGH, 2018); estudou a implementação através de um projeto piloto (BUI, 2020) e através de análise institucional em três organizações de infraestruturas na Espanha (HETEMI; ORDIERES-MERÉ; NUUR, 2020).

3.2 Projeto

Os artigos desta categoria apresentaram modelagens BIM com bibliotecas de objetos, engenharia de sistemas e manual de entrega de informações para infraestruturas (BOSURGI; PELLEGRINO; SOLLAZZO, 2022); descreveram os processos de desenvolvimento de projetos recomendando programas para modelagens (BAZÁN et al., 2020); propuseram uma abordagem para identificar o traçado de rodovias ótimas usando a combinação BIM-Sistema de Informações Geográficas (GIS) (ZHAO; LIU; MBACHU, 2019).

Também desenvolveram arquivo paramétrico capaz de gerar todos os tipos de pontes (GIRARDET; BOTON, 2021); criaram processos automatizados para otimização de aço através de pontes em arco (KORUS; SALAMAK; JASIŃSKI, 2021), para avaliar cenários de vias mais seguras através de arquivo de intercâmbio *Industry Foundation Classes* (IFC) em um modelo BIM (DOLS et al., 2021) e para avaliar o risco de acidentes na fase de projetos (COLLADO-MARISCAL et al., 2022); usaram de aprendizado profundo como forma de verificar e reconhecer classes IFC com foco em elementos BIM de rodovia (KOO et al., 2021).

3.3 Construção

Os trabalhos da categoria Construção abordaram o uso do BIM 4D e 5D para a construção de infraestrutura de transportes aplicando o BIM associado a veículos aéreos não tripulados (UAVs) para monitoramento e gestão dos locais de construção (SAMSAMI; MUKHERJEE; BROOKS, 2022); usaram BIM-GIS para avaliação da qualidade do asfalto na construção de rodovias (HAN et al., 2022a); propuseram o uso de plataforma digital para entregas de informações e projetos para melhor gerenciamento de dados em

construção de rodovias (CHEN et al., 2022); avaliaram o emprego de tablets na fase de construção de infraestruturas (ATKINSON et al., 2022).

3.4 Operação e Manutenção

Os trabalhos da categoria O&M usaram o *Light Detection And Ranging* (LiDAR) (BARAZZETTI; PREVITALI; SCAIONI, 2020) e o *Automatic Road ANalyzer* (ARAN) (CAFISO et al., 2021) para detectar estradas e classificá-las transformando em objetos paramétricos BIM; desenvolveram ferramenta de monitoramento de ponte com visualização de dados online e identificação de dados em tempo real para verificar a saúde estrutural (SINGH; SADHU, 2020); empregaram *laser scanner* (JUSTO et al., 2023), UAV (JANG et al., 2021) e varredura a laser móvel portátil (PREVITALI; BRUMANA; BANFI, 2022) para levantamento de infraestruturas de transportes e assim melhor programar manutenções e reparos.

Propuseram estrutura combinando BIM-IFC com tecnologias de web semântica para compartilhar informações, dando apoio a tomadas de decisões efetivas de manutenção (HU; LIU, 2019) e com rede neural artificial (ANN) para prever o comportamento de pontes (KWON et al., 2021). Detalharam uma nova abordagem ontológica para padronizar BIM para O&M (AIT-LAMALLAM et al., 2021a) e propuseram uma extensão do IFC em rodovias (AIT-LAMALLAM et al., 2021b).

Usaram BIM para a requalificação e atualização de um trecho de estrada existente (VIGNALI et al., 2021); analisaram BIM-GIS para O&M para fins de geração de dados e atualização do modelo viário (SHAMRAEVA; SAVINOV, 2021); desenvolveram gêmeo digital de uma maquete de ponte para avaliar integração de dados de tráfego em tempo real com um modelo virtual de uma ponte (ADIBFAR; COSTIN, 2022); propuseram sistemas de inspeção de pontes usando Realidade Mista (RM) (RIEDLINGER et al., 2022), Realidade Aumentada (RU) (JOHN SAMUEL; SALEM; HE, 2022) e IoT (Internet das coisas) (HAN et al., 2022b) em rodovias; criaram estrutura para gerar modelos de informações 3D e arquivos de saída IFC a partir de plantas de pontes 2D (AKANBI; ZHANG, 2022).

3.5 Gestão de Ativos

Esta categoria investigou, através de entrevistas, o uso do BIM para gerenciamento de ativos na Austrália (CALDERA et al., 2022); propôs o uso de informações padronizadas, tecnologias da Web Semântica e ontologias em uma plataforma baseada na Web para gerenciamento de ativos de infraestrutura (HAGEDORN et al., 2023).

3.6 Revisão da literatura

A categoria Revisão da literatura apresentou estudos sobre BIM para infraestrutura de transporte (COSTIN et al., 2018); Modelagem de Informação de Danos (DIM) em pontes (ARTUS; KOCH, 2020); aplicação do BIM em projetos de infraestrutura (VILUTIENĖ et al., 2020); BIM e tecnologias de gêmeos digitais na digitalização do transporte (GAO et al., 2022).

3.7 Sustentabilidade

A categoria Sustentabilidade comparou o desempenho de sustentabilidade do ciclo de vida de métodos alternativos de construção de pavimento rodoviário usando um programa visual baseado em BIM criado para automatizar a estrutura proposta (PATEL; RUPARATHNA, 2021); criou uma ferramenta de avaliação do ciclo de vida (LCA) para soluções de pavimento de asfalto rodoviário envolvendo materiais alternativos e tecnologias avançadas de reciclagem (ORETO et al., 2022); propôs uma ferramenta para avaliar a sustentabilidade do ciclo de vida de um pavimento rodoviário a partir da fase de projeto (ORETO et al., 2023).

4 DISCUSSÃO

Como mostrado na seção anterior, muitos estudos, que usam o BIM para infraestruturas rodoviárias, vêm sendo desenvolvido nos últimos anos. Embora já se conheçam os benefícios econômicos do BIM, ainda é necessário envolver mais atores em estudos de projetos de infraestruturas e entender contextos diferentes. A maior parte dos estudos, voltados à implementação, foram desenvolvidos em países desenvolvidos, Austrália e Suécia, Estados Unidos, Finlândia, Polônia e Espanha, correspondendo a aproximadamente 67% das pesquisas encontradas. A busca do entendimento das implicações da adoção do BIM e de como isso

mudaria em termos de contratos, licitações e procedimentos em instituições públicas responsáveis pela infraestrutura rodoviária devem ser explorados em países em desenvolvimento como o Brasil.

Na fase de projetos, apesar dos avanços realizados no desenvolvimento de bibliotecas (BOSURGI; PELLEGRINO; SOLLAZZO, 2022), arquivos paramétricos (GIRARDET; BOTON, 2021) e do uso de aprendizado profundo para reconhecer elementos de rodovias no IFC (KOO et al., 2021), problemas de interoperabilidade e de modelagem de curvas em pontes e estradas ainda são barreiras a serem rompidas.

A última versão disponível do IFC é a 4.3.1.0, lançada em 2022, e estende os benefícios para ativos de infraestruturas, tais como rodovias, pontes, ferrovias, portos e hidrovias. Há definições de entidades de alinhamento, terraplenagem, estrutura de pontes, energia ferroviária, sinalização ferroviária, trilhos ferroviários, telecomunicações ferroviárias, drenagem, elementos marítimos e alguns geotécnicos (BUILDINGSMART, 2022). Os artigos analisados nesta revisão são anteriores ao lançamento desta versão, apenas 3 artigos são do ano de 2023, sendo assim, a versão mais atualizada do IFC precisa ser estudada e analisada se os problemas relatados na literatura ainda existem ou se foram mitigados. Além disso, trabalhos futuros devem verificar a interoperabilidade entre softwares BIM, além do uso dos fornecidos pela Autodesk, e propor rotinas usando linguagens de programação para minimizar perdas informações. Também se sugere o uso de programação para estudos que visem diminuir os erros de modelagem de curvas.

Com relação a fase de construção, há necessidade de melhorar a comunicação e a troca de informações entre as partes interessadas. Apesar de várias pesquisas terem estudado o BIM para melhorar essas tarefas (CHEN et al., 2022), sugere-se o uso do ambiente comum de dados (DCE) para facilitar essa troca aliado a ampliação do uso de Internet das Coisas (IoT) na construção. Também não foram encontrados trabalhos que usassem o BIM para gestão de saúde e segurança em construção de infraestrutura rodoviária, sendo esta outra lacuna a ser preenchida.

Com relação à O&M, muitas pesquisas usaram UAV e LiDAR (BARAZZETTI; PREVITALI; SCAIONI, 2020; CAFISO et al., 2021; JANG et al., 2021; JUSTO et al., 2023; PREVITALI; BRUMANA; BANFI, 2022) para levantamento de estruturas existentes, porém há a necessidade de expandir os estudos realizados, já que a maioria se limitou, em seu estudo de caso, a pontes e trechos curtos de estradas. Uma outra questão encontrada está relacionada a dificuldade de levantamento de curvas de pontes e estradas (JUSTO et al., 2023). Outro problema é a perda de informações obtidas pelo UAV ou LiDAR e a necessidade de trabalho manual ao transferi-las e transformá-las em modelos BIM (BARAZZETTI; PREVITALI; SCAIONI, 2020). Logo, para otimizar essa transferência de informações, sugere-se estudos relacionados a programação e/ou aprendizado de máquina para mitigar essas questões.

Poucos trabalhos estão relacionados a sustentabilidade, sugere-se que pesquisas devam aprofundar os estudos relacionados a escolha de materiais a partir da fase de projeto (ORETO et al., 2022), analisando o impacto no ciclo de vida da infraestrutura rodoviária e como a situação econômica do país estudado interferiria nas escolhas de materiais.

Além do exposto, não foram encontrados trabalhos relacionados às fases de planejamento, requalificação e demolição. Logo, pesquisas deveriam ser desenvolvidas para suprimir esta lacuna encontrada. Por fim, sugere-se que outros programas devam ser explorados, a maior parte dos trabalhos usou o Autodesk Civil 3D, Revit e o Dynamo em sua modelagem e na criação de rotinas.

A não seleção de artigos relacionados às fases de fases de planejamento, requalificação e demolição, pode estar relacionada a forma como esta pesquisa foi realizada, restringindo a artigos publicados em inglês, ou seja, pode haver trabalhos em outros idiomas publicados sobre essas fases, o que necessitaria uma busca mais ampla e sem as restrições utilizadas. Sugere-se uma busca avançada sem restrições de idiomas.

A fim de entender como a pesquisa nacional se apresenta com relação ao tema BIM para infraestruturas rodoviárias, uma pesquisa adicional foi realizada no Google Scholar entre os anos de 2022 e 2023 usando as mesmas palavras-chave descritas na metodologia. Foram levantados 6 trabalhos: três deles estavam relacionados a trabalhos em órgãos ligados a transportes, podendo-se citar a implementação do BIM Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (MELLO et al., 2021); dois deles eram RSL e analisaram trabalhos acadêmicos publicados no Brasil (FERREIRA, 2022) e o último abordava o uso do LiDAR para levantamento de condições de pavimento (CURSINO; MACHADO, 2022).

Isso mostra que o Brasil também vem realizando pesquisas a respeito do BIM para infraestruturas rodoviárias, mas existem poucas aplicações como indicaram as RSL voltadas aos trabalhos publicados no

Brasil (FERREIRA, 2022). Assim, sugere-se a de parcerias com órgão nacionais, a fim de desenvolver estudos aplicados e expressando a realidade e a necessidade das infraestruturas nacionais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão sistemática levantou 81 artigos na literatura e analisou, através da divisão em categorias, como estão evoluindo as pesquisas relacionadas ao BIM aplicado para infraestruturas rodoviárias. Pode-se constatar que do BIM otimiza projetos e, aliados a GIS, nuvens de pontos, LiDAR, UAV, scanners a laser e IoT, pode facilitar o levantamento de infraestruturas existentes visando uma melhor operação e manutenção e traz meios de fazer uma melhor gestão de ativos. Além de permitir um maior número de simulações relacionadas aos projetos e ao gerenciamento de construção, o que é de bastante interesse público, já que há uma necessidade de otimizar a gestão de seus recursos, coletando dados precisos e completos ao longo do ciclo de vida, a fim de se operar e manter as estruturas de forma eficaz.

Contudo, há muito o que avançar nesta área de pesquisa, como estudar a implementação do BIM em contextos como o brasileiro, a fim de explorar como essa adoção poderia implicar em mudanças em termos contratuais, licitações e mudanças internas das instituições responsáveis pelas infraestruturas de transportes. Há a necessidade de superar barreiras de interoperabilidade e de modelagem de curvas de pontes e rodovias, tanto a nível de projetos quanto de levantamento de estruturas. Além disso, precisa-se avançar na comunicação e troca de informações na fase de construção. Trabalhos nas fases de planejamento, requalificação e demolição necessitam ser desenvolvidos, visando projetos mais sustentáveis e que pensem em questões ambientais. Pesquisas relacionadas à gestão de saúde e segurança em construção de infraestrutura rodoviária também são lacunas a serem preenchidas.

6 AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente apoiado pela FACEPE (IBPG-1725-3.01/21 e APQ-1178-3.01/21), Capes (001) e CNPq (315245/2020-4).

REFERÊNCIAS

ADIBFAR, A.; COSTIN, A. M. Creation of a Mock-up Bridge Digital Twin by Fusing Intelligent Transportation Systems (ITS) Data into Bridge Information Model (BrIM). **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 148, n. 9, p. 1–11, 2022. https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002332.

AIT-LAMALLAM, S. et al. IFCInfra4OM: An ontology to integrate operation and maintenance information in highway information modelling. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 5, 2021a. https://doi.org/10.3390/ijgi10050305.

AIT-LAMALLAM, S. et al. Extending the ifc standard to enable road operation and maintenance management through openbim. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 8, 2021b. https://doi.org/10.3390/ijgi10080496.

AKANBI, T.; ZHANG, J. Framework for Developing IFC-Based 3D Documentation from 2D Bridge Drawings. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 36, n. 1, p. 1–13, 2022. https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000986.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. 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.

ARTUS, M.; KOCH, C. State of the art in damage information modeling for RC bridges – A literature review. **Advanced Engineering Informatics**, v. 46, n. August, p. 101171, 2020. https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101171.

ATKINSON, E. et al. Challenges in the adoption of mobile information communication technology (M-ICT) in the construction phase of infrastructure projects in the UK. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, v. 40, n. 3, p. 327–344, 2022. https://doi.org/10.1108/IJBPA-04-2021-0048.

BARAZZETTI, L.; PREVITALI, M.; SCAIONI, M. Roads Detection and Parametrization in Integrated BIM-GIS Using LiDAR. **Infrastructures**, v. 5, n. 7, 2020. https://doi.org/10.3390/infrastructures5070055.

BAZÁN, Á. M. et al. New perspectives for bim usage in transportation infrastructure projects. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 10, n. 20, p. 1–22, 2020. https://doi.org/10.3390/app10207072.

BOSURGI, G.; PELLEGRINO, O.; SOLLAZZO, G. Pavement condition information modelling in an I-BIM environment. **International Journal of Pavement Engineering**, v. 23, n. 13, p. 4803–4818, 2022. https://doi.org/10.1080/10298436.2021.1978442.

BRASIL. **DECRETO Nº 10.306**. Disponível em: <http://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.306-de-2-de-abril-de-2020-251068946>. Acesso em: 1 nov. 2021.

BRASIL. **Brasil**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14133.htm>. Acesso em: 17 jun. 2021.

BUI, N. Implementation of Building Information modeling in Vietnamese infrastructure construction: A case study of institutional influences on a bridge project. **Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries**, v. 86, n. 4, p. 1–13, 2020. https://doi.org/10.1002/isd2.12128.

BUILDINGSMART. **IFC Schema Specifications - buildingSMART Technical**. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/>.

CAFISO, S. et al. BIM of an Existing Road Using Advanced Monitoring Systems. **International Journal on Engineering Applications (IREA)**, v. 9, n. September, p. 243–250, 2021. https://doi.org/10.15866/irea.v9i5.20726.

CALDERA, S. et al. Digital Engineering for Resilient Road Infrastructure Outcomes: Evaluating Critical Asset Information Requirements. **Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems**, v. 10, n. 1, p. 1–22, 2022. https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d8.0357.

CHEN, S. Y. et al. Data-Driven Platform Framework for Digital Whole-Process Expressway Construction Management. **Frontiers in Neuroscience**, v. 16, n. June, p. 1–22, 2022. https://doi.org/10.3389/fnins.2022.891772.

COLLADO-MARISCAL, D. et al. Proposal for the Integration of Health and Safety into the Design of Road Projects with BIM. **Buildings**, v. 12, n. 10, 2022. https://doi.org/10.3390/buildings12101753.

COSTIN, A. et al. Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations. **Automation in Construction**, v. 94, n. June, p. 257–281, 2018. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.001.

CURSINO, P. L. S.; MACHADO, F. A. Levantamento de condições existentes com lidar em dispositivos móveis e análise de pavimentos usando BIM. **4º congresso português de 'Building Information Modelling' vol. 2 - ptBIM**, n. July, p. 448–458, 2022. https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.39.

DNIT. **BIM DNIT**. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/bim-no-dnit>. Acesso em: 14 out. 2021.

DOLS, J. F. et al. Development of driving simulation scenarios based on building information modeling (BIM) for road safety analysis. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 4, p. 1–22, 2021. https://doi.org/10.3390/su13042039.

FERREIRA, I. Revisão bibliográfica: Uso do BIM em projetos de infraestruturas de transportes. **4º Congresso Português de Building Information Modelling vol. 1 - ptBIM**, p. 298–309, 2022. https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.25.

GAO, C. et al. Application of Digital Twins and Building Information Modeling in the Digitization of Transportation: A Bibliometric Review. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 12, n. 21, 2022. https://doi.org/10.3390/app122111203.

GIRARDET, A.; BOTON, C. A parametric BIM approach to foster bridge project design and analysis. **Automation in Construction**, v. 126, p. 103679, 2021. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103679.

GUO, X. et al. Case Study of Building Information Modeling Implementation in Infrastructure Projects. **Transportation Research Record**, v. 2676, n. 2, p. 663–679, 2022. https://doi.org/10.1177/03611981211045060.

HAGEDORN, P. et al. BIM-Enabled Infrastructure Asset Management Using Information Containers and Semantic Web. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 37, n. 1, p. 1–17, 2023. https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0001051.

HAN, C. et al. Construction quality evaluation of asphalt pavement based on BIM and GIS. **Automation in Construction**, v. 141, n. May 2021, p. 104398, 2022a. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104398.

HAN, T. et al. A BIM-IoT and intelligent compaction integrated framework for advanced road compaction quality

monitoring and management. **Computers and Electrical Engineering**, v. 100, n. April, p. 107981, 2022b. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.107981.

HERVA, M.; SINGH, V. Assessing gaps and opportunities in measuring the benefits of BIM in infrastructure design projects: What can we consider before, during and after the project? **International Journal of Product Lifecycle Management**, v. 11, n. 4, p. 326–349, 2018. https://doi.org/10.1504/IJPLM.2018.097878.

HETEMI, E.; ORDIERES-MERÉ, J.; NUUR, C. An institutional approach to digitalization in sustainability-oriented infrastructure projects: The limits of the building information model. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 9, 2020. https://doi.org/10.3390/su12093893.

HU, M.; LIU, Y. E-maintenance platform design for public infrastructure maintenance based on IFC ontology and Semantic Web services. **Concurrency and Computation: Practice and Experience**, v. 32, n. 6, p. 1–15, 2019. https://doi.org/10.1002/cpe.5204.

JANG, K. et al. Infrastructure BIM platform for lifecycle management. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 11, n. 21, p. 1–11, 2021. https://doi.org/10.3390/app112110310.

JOHN SAMUEL, I.; SALEM, O.; HE, S. Defect-oriented supportive bridge inspection system featuring building information modeling and augmented reality. **Innovative Infrastructure Solutions**, v. 7, n. 4, 2022. https://doi.org/10.1007/s41062-022-00847-3.

JUSTO, A. et al. Generating IFC-compliant models and structural graphs of truss bridges from dense point clouds. **Automation in Construction**, v. 149, n. February, 2023. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104786.

KOO, B. et al. A geometric deep learning approach for checking element-to-entity mappings in infrastructure building information models. **Journal of Computational Design and Engineering**, v. 8, n. 1, p. 239–250, 2021. https://doi.org/10.1093/jcde/qwaa075.

KORUS, K.; SALAMAK, M.; JASIŃSKI, M. Optimization of geometric parameters of arch bridges using visual programming FEM components and genetic algorithm. **Engineering Structures**, v. 241, n. March, 2021. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112465.

KWON, T. H. et al. Building information modeling-based bridge health monitoring for anomaly detection under complex loading conditions using artificial neural networks. **Journal of Civil Structural Health Monitoring**, v. 11, n. 5, p. 1301–1319, 2021. https://doi.org/10.1007/s13349-021-00508-6.

MELLO, L. G. R. DE et al. PROCESSO DE IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM NO DNIT Implementation process of the BIM methodology at DNIT. v. 5, 2021.

ORETO, C. et al. Bim-Lca Integration Framework for Sustainable Road Pavement Maintenance Practices. **International Journal of Transport Development and Integration**, v. 6, n. 1, p. 1–11, 2022. https://doi.org/10.2495/TDI-V6-N1-1-11.

ORETO, C. et al. Leveraging Infrastructure BIM for Life-Cycle-Based Sustainable Road Pavement Management. **Materials**, 2023. http://www.dor.gov.np/documents/Road_Pavement_Management_Discussion_Paper.pdf.

PATEL, K.; RUPARATHNA, R. Life cycle sustainability assessment of road infrastructure: a building information modeling-(BIM) based approach. **International Journal of Construction Management**, v. 0, n. 0, p. 1–10, 2021. https://doi.org/10.1080/15623599.2021.2017113.

PREVITALI, M.; BRUMANA, R.; BANFI, F. Existing infrastructure cost effective informative modelling with multisource sensed data: TLS, MMS and photogrammetry. **Applied Geomatics**, v. 14, p. 21–40, 2022. https://doi.org/10.1007/s12518-020-00326-3.

RIEDLINGER, U. et al. Evaluation of Mixed Reality Support for Bridge Inspectors Using BIM Data Digital Prototype for a Manual Task with a Long-Lasting Tradition. **I-Com**, v. 21, n. 2, p. 253–267, 2022. https://doi.org/10.1515/icom-2022-0019.

SAMSAMI, R.; MUKHERJEE, A.; BROOKS, C. N. Mapping Unmanned Aerial System Data onto Building Information Modeling Parameters for Highway Construction Progress Monitoring. **Transportation Research Record**, v. 2676, n. 4, p. 669–682, 2022. https://doi.org/10.1177/03611981211064277.

SHAMRAEVA, V.; SAVINOV, E. Infra-bim for business processes' management in road Construction and operation. **Architecture and Engineering**, v. 6, n. 3, p. 19–28, 2021. https://doi.org/10.23968/2500-0055-2021-6-3-19-28.

SINGH, P.; SADHU, A. System Identification-Enhanced Visualization Tool for Infrastructure Monitoring and Maintenance. **Frontiers in Built Environment**, v. 6, n. May, 2020. https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00076.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, p. 207–222, 2003. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375.

VIGNALI, V. et al. Building information Modelling (BIM) application for an existing road infrastructure. **Automation in Construction**, v. 128, n. August 2020, p. 103752, 2021. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103752.

VILUTIENĖ, T. et al. Bim application in infrastructure projects. **Baltic Journal of Road and Bridge Engineering**, v. 15, n. 3 Special Issue, p. 74–92, 2020. https://doi.org/10.7250/bjrbe.2020-15.485.

YANG, J. BIN; CHOU, H. Y. Subjective benefit evaluation model for immature BIM-enabled stakeholders. **Automation in Construction**, v. 106, n. 300, p. 102908, 2019. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102908.

ZHAO, L.; LIU, Z.; MBACHU, J. Highway alignment optimization: An integrated BIM and GIS approach. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 4, 2019. https://doi.org/10.3390/ijgi8040172.