USO DE REALIDADE VIRTUAL PARA APOIO AO ENSINO DE PLANEJAMENTO DE CANTEIRO DE OBRAS

Use of virtual reality to support the teaching of construction site layout planning

Hugo Sefrian Peinado
Universidade Federal da Bahia | Salvador, Bahia | hugospeinado@gmail.com

Luara Lopes de Araujo Fernandes
Universidade Federal da Paraíba | João Pessoa, Paraíba | luara.fernandes@gmail.com

RESUMO

O planejamento do canteiro de obras é fundamental para garantir a logística, segurança e eficiência dos processos na construção. Tecnologias digitais como a realidade virtual (RV) podem dar suporte ao ensino desse planejamento. No entanto, há um número restrito de estudos direcionados a essa temática, especialmente com foco na RV não imersiva. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo analisar o nível de contribuição do uso da RV não imersiva para a contextualização de estudantes de engenharia civil no tema de planejamento do canteiro de obras, em comparação ao uso de projetos bidimensionais (2D). Para isso, conduziu-se um estudo exploratório com 15 estudantes de engenharia civil da Universidade Federal da Bahia, envolvendo atividades com análise de projetos 2D e percursos em dois modelos BIM utilizando RV não imersiva. Os resultados indicam que, embora os projetos 2D tenham sido considerados relevantes, a RV foi percebida como a ferramenta de maior contribuição para a percepção do *layout*, compreensão espacial e análise crítica da logística do canteiro. Como contribuições, o estudo corroborou com a compreensão sobre os potenciais benefícios pedagógicos da RV, fornecendo evidências sobre sua aplicabilidade como recurso complementar no ensino da disciplina que trata do planejamento de canteiro de obras.

Palavras-chave: Construção 4.0; Indústria 4.0; Tecnologias digitais; Ensino de engenharia; Realidade virtual não imersiva baseada em BIM.

ABSTRACT

The planning of construction sites is essential to ensure logistics, safety, and process efficiency in construction projects. Digital technologies such as virtual reality (VR) can support the teaching of site planning. However, there is a limited number of studies addressing this topic, particularly those focusing on non-immersive VR. In this context, this study aims to analyze the extent to which non-immersive VR contributes to the contextualization of civil engineering students regarding construction site planning, compared to the use of two-dimensional (2D) drawings. To this end, an exploratory study was conducted with 15 civil engineering students from the Federal University of Bahia, involving activities based on 2D project analysis and guided walkthroughs in two BIM models using non-immersive VR. The results indicate that, although 2D drawings were considered relevant, VR was perceived as the tool that most contributed to understanding layout, spatial perception, and critical analysis of site logistics. As a contribution, the study reinforced the understanding of the pedagogical benefits of VR, providing evidence of its applicability as a complementary resource in teaching the construction site planning discipline.

Keywords: Construction 4.0; Industry 4.0; Digital technologies; Engineering education; BIM-based *non-immersive VR*.

1 INTRODUÇÃO

O processo de planejamento do canteiro de obras tem como objetivo otimizar o uso do espaço físico disponível, promovendo condições seguras e eficientes de trabalho por meio da redução da movimentação de materiais, equipamentos e pessoas (Saurin; Formoso, 2006). Esse planejamento constitui uma das etapas fundamentais para o sucesso de um empreendimento, pois exerce influência direta sobre custo, prazo, produtividade, segurança e qualidade da construção (Hansen, 2024). Em função dessa relevância, o tema é comumente abordado em disciplinas dos cursos de engenharia civil e áreas correlatas.

No ensino de planejamento de canteiro de obras, é comum a utilização de representações bidimensionais (2D), como plantas e cortes, para apresentar a organização espacial e os fluxos logísticos, com o objetivo de familiarizar os alunos com os elementos e a dinâmica do canteiro. No entanto, a dificuldade dos alunos em interpretar representações gráficas bidimensionais, aliada à falta de experiência prática em canteiros de obras, compromete parcialmente a aprendizagem (Ronghui, 2024). Nesse sentido, a literatura aponta para o potencial uso de tecnologias digitais, de modo a dar suporte ao processo de ensino-aprendizagem de disciplinas profissionalizantes (Gheisari; Becerik-Gerber; Dossick, 2023; Wang; Hsu, 2024), como aquela voltada ao planejamento de canteiro.

Apesar do crescente interesse por tecnologias digitais emergentes associadas à Construção 4.0, sua adoção eficaz demanda a formação, requalificação e aperfeiçoamento de estudantes de engenharia, trabalhadores e profissionais, de modo a desenvolver os conhecimentos e habilidades necessários para atuar com eficiência em ambientes tecnológicos (Gheisari; Becerik-Gerber; Dossick, 2023; Peinado *et al.*, 2025). Nesse contexto, destaca-se a importância de incorporar essas tecnologias já na etapa de formação acadêmica dos futuros profissionais (Brozovsky; Labonnote; Vigren, 2024). Essa perspectiva converge com a premissa de Bolpagni *et al.* (2022), que atribui papel central às universidades na preparação de profissionais capazes de liderar a transformação digital do setor rumo à Construção 4.0.

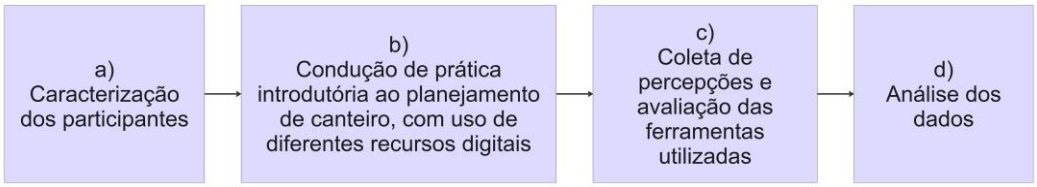
Uma das formas de familiarização com essas tecnologias consiste em seu uso em atividades educacionais. A realidade virtual (RV), uma das tecnologias digitais associadas à Construção 4.0, tem se destacado por seu potencial de aplicação tanto no ensino quanto na prática profissional. Na construção, a RV tem sido utilizada em pesquisas voltados a capacitações em segurança no trabalho (Cheng; Gheisari; Jeelani, 2023), na capacitação para o gerenciamento de perdas não-físicas (que considera as atividades e processos da produção) (Lucena, 2024), entre outras aplicações. Embora haja estudos sobre o uso de RV para o planejamento do canteiro (Getuli *et al.*, 2020), geralmente associado ao BIM (modelagem da informação da construção), são ainda escassos os trabalhos que investigam o uso da RV como ferramenta de apoio ao ensino do planejamento de canteiro (Chen *et al.*, 2023; Wang; Hsu, 2024), principalmente RV não imersiva, em que o usuário interage com o ambiente virtual por meio de dispositivos convencionais, sem estar completamente imerso. Os benefícios do uso de RV não imersiva na construção estão associados ao aperfeiçoamento da percepção espacial e compreensão de projetos envolvendo equipamentos de baixo custo, além do aperfeiçoamento da comunicação e colaboração entre a equipe de projeto (Kapoor, 2020; Retamal; Loyola, 2023).

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo analisar o nível de contribuição do uso da RV não imersiva para a contextualização de estudantes de engenharia civil no tema de planejamento do canteiro de obras, em comparação com o uso de projetos 2D. Como contribuição, o estudo busca corroborar a compreensão sobre os potenciais benefícios pedagógicos da RV, fornecendo evidências sobre sua aplicabilidade como recurso complementar no ensino de disciplinas profissionalizantes, além de apoiar estratégias curriculares voltadas à formação de profissionais alinhados às demandas da Construção 4.0.

2 MÉTODO

A estratégia metodológica adotada foi o estudo de caso exploratório (Fellows; Liu, 2015), por se tratar de uma investigação desenvolvida em contexto real, com o objetivo de aprofundar a compreensão sobre o potencial do uso da realidade virtual não imersiva no ensino de planejamento de canteiro de obras. O estudo envolveu as etapas apresentadas na Figura 1.

Figura 1: Etapas da pesquisa



Participaram do estudo quinze estudantes do 6º ou 7º semestre do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Bahia, todos matriculados na disciplina Construção Civil I, que aborda a temática de planejamento de canteiro. A turma era composta por 17 alunos, sendo que 15 participaram integralmente das atividades e responderam ao questionário, constituindo, assim, a amostra do estudo. A seleção baseou-se na condição de que os participantes ainda não haviam cursado a disciplina obrigatória que envolve a temática de planejamento de canteiro, o que foi considerado relevante para avaliar as ferramentas com base em percepções não influenciadas por conhecimentos prévios formais. Ressalta-se, no entanto, que alguns participantes possuíam experiências práticas decorrentes de estágios, conforme detalhado no Quadro 1. Essa atividade integra o Projeto Célula BIM na UFBA, iniciativa que visa promover a incorporação de práticas e recursos baseados em BIM nas disciplinas dos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura da UFBA.

Quadro 1: Caracterização dos participantes

Código	Desenvolveu estágio em canteiro de obras?	Atuou no planejamento e/ou implementação do canteiro de obras no estágio?	Contato prévio com RV no contexto profissional	Experiência prévia com modelagem em BIM
A1	Não	Não	Não	Sim / A MEP
A2	Sim	Não	Não	Sim / A
A3	Não*	Não	Não	Não
A4	Não	Não	Não	Não
A5	Não	Não	Não	Sim / A
A6	Sim	Não	Não	Sim / A MEP
A7	Sim	Não	Não	Sim / A
A8	Sim	Não	Não	Não
A9	Não*	Não	Não	Sim / A
A10	Não*	Não	Não	Sim / MEP
A11	Sim	Elaborou o projeto do canteiro e fez a implementação	Não	Não
A12	Sim	Elaborou o projeto do canteiro, mas não fez a implementação	Não	Sim / MEP
A13	Sim	Implementou o canteiro, mas não atuou no projeto	Não	Não
A14	Sim	Implementou o canteiro, mas não atuou no projeto	Não	Sim / A
A15	Sim	Apenas sugeriu melhorias na logística do canteiro de obras	Não	Sim / A

Nota: A3, A9 e A10 não tinham estagiado até o momento do estudo. Legenda: A – Experiência com modelagem em arquitetura; MEP – Experiência com modelagem de mecânica, elétrica e hidráulica.

Foram utilizados como recursos didáticos dois projetos 2D e dois modelos tridimensionais (3D) de um canteiro de obras real de edificação vertical. Os projetos 2D apresentavam variações na disposição das áreas de trabalho e dos equipamentos de transporte vertical, com o objetivo de estimular a análise crítica dos participantes quanto à eficiência do *layout* e da logística (Figuras 2 e 3).

Figura 2: Projeto 1 do canteiro

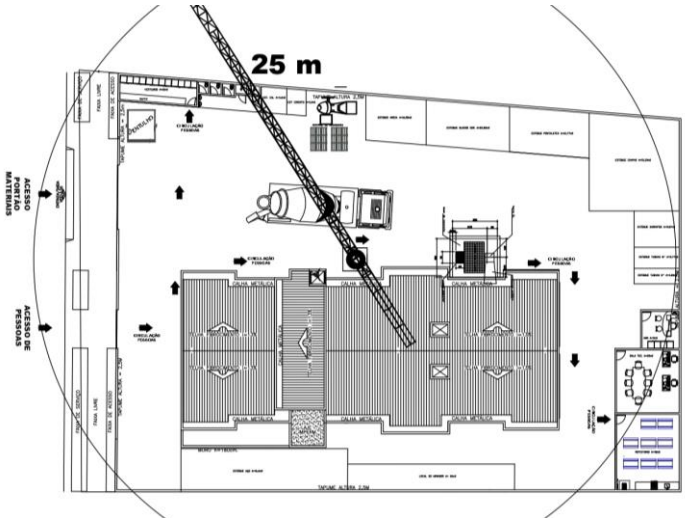
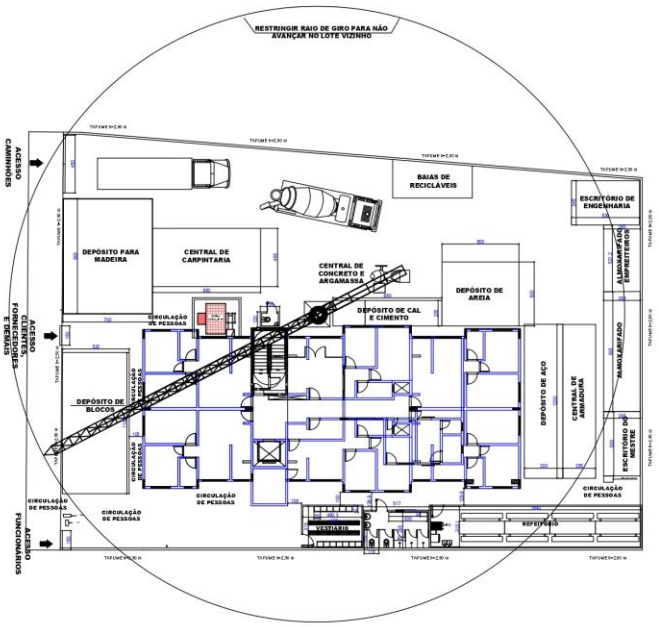


Figura 3: Projeto 2 do canteiro



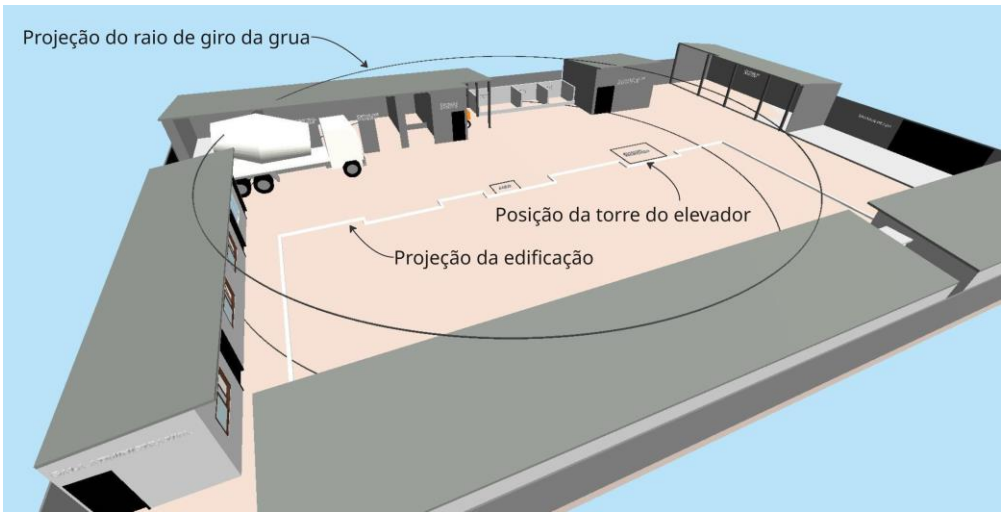
Os modelos 3D foram elaborados no software Revit®: o modelo 1, sem representação dos equipamentos de transporte vertical; e o modelo 2, com a inserção do raio de ação da grua e da posição do elevador, mantendo a mesma configuração geral do modelo 1 nas demais características. A modelagem inicial no software Revit® permitiu a criação de representações tridimensionais com precisão dimensional e posicionamento espacial dos principais elementos do canteiro, como áreas de trabalho, grua e elevador. Ambos os modelos foram exportados em formato .ifc, preservando as informações geométricas, e visualizados por meio da plataforma Augin Hub®, que integra recursos de realidade virtual e aumentada. Essa plataforma possibilitou que os participantes realizassem percursos virtuais utilizando avatares (Figura 4), que favorece experiências intuitivas e corporificadas (Beaufils; Berland, 2022). Diferentemente dos *walkthroughs* convencionais em softwares de modelagem 3D, que frequentemente seguem trajetos pré-configurados ou controlados por câmera, a navegação no Augin Hub® ocorre com liberdade de deslocamento por meio de um avatar em escala humana. Isso possibilita que os participantes caminhem por corredores estreitos, áreas de circulação e zonas críticas do canteiro de forma mais natural, percebendo dimensões, distâncias e conflitos espaciais de maneira mais próxima à realidade vivenciada no canteiro de obras.

Figura 4: Percurso virtual no modelo 1 do canteiro de obras



Devido às limitações da versão gratuita da plataforma Augin Hub®, foram adotadas simplificações na modelagem dos elementos, de modo a manter os arquivos com tamanho inferior a 15 MB. Alguns exemplos de simplificações são apresentados na Figura 5.

Figura 5: Indicação de representações simplificadas no modelo 2



A prática pedagógica teve início com uma exposição de 20 minutos sobre conceitos de canteiro de obras, planejamento de canteiro e princípios da Construção Enxuta relacionados ao planejamento de canteiro, ilustrados com exemplos. Em seguida, foram conduzidas duas etapas, com duração total de uma hora, envolvendo o uso dos projetos 2D e dos modelos 3D com RV não imersiva.

Na primeira atividade, os projetos 2D foram disponibilizados para análise, com a proposta de identificar falhas relacionadas à logística de pessoas e materiais. Durante essa etapa, os participantes receberam explicações sobre as principais áreas do canteiro.

Na segunda etapa, foram disponibilizados os modelos 1 (sem transporte vertical) e 2 (com transporte vertical) para que os alunos caminhassem virtualmente por esses modelos utilizando RV não imersiva e identificassem falhas nos planejamentos. Nessa etapa, os participantes foram instruídos em relação ao uso do Augin Hub® e, inicialmente, se familiarizaram com a ferramenta, fazendo percursos virtuais no modelo 1. Após esse momento, realizaram trajetos pré-definidos nos dois modelos, os quais foram especificados verbalmente durante a prática. Esses trajetos consistem em percursos comuns realizados em canteiro de obras, envolvendo deslocamento dos trabalhadores e equipamentos. Alguns exemplos de trajetos foram: 1) deslocar-se do portão de pedestres ao vestiário, passando pelo ponto eletrônico e almoxarifado, até alcançar o transporte vertical; 2) Para a descarga de aço, entre pelo portão de materiais, identifique uma posição adequada para a descarga do caminhão com auxílio da grua. A partir dos trajetos, os participantes foram incentivados a observar pontos de melhoria que envolvessem, por exemplo, excesso de deslocamento pelo posicionamento ineficiente das áreas e equipamentos do canteiro e áreas de estoque fora do raio de ação da grua.

Ao final da prática, os participantes responderam a um questionário com as seguintes questões:

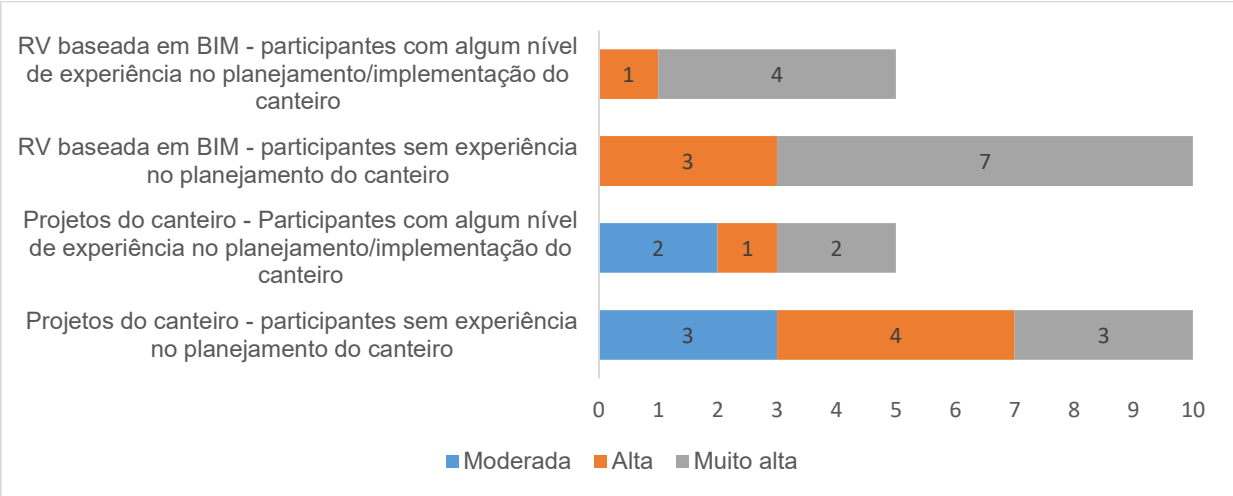
- Em que medida as ferramentas utilizadas contribuíram para ampliar sua percepção e análise crítica quanto ao *layout*, à compreensão espacial e à organização do canteiro de obras (escala de 1 a 5, sendo: 1 – Não contribuiu; 2 – Contribuição baixa; 3 – Contribuição moderada; 4 – Contribuição alta; 5 – Contribuição muito alta);
- Se consideram que a RV não imersiva possa ser utilizada para dar suporte ao planejamento do canteiro (durante a respectiva disciplina e na sua atuação profissional);
- Se os recursos tecnológicos contribuíram para o aumento do seu interesse e percepção sobre a relevância do planejamento do canteiro de obras;
- Se a realização de trajetos pré-definidos em RV não imersiva contribuiu para identificação de possível melhorias no planejamento e na logística do canteiro de obras.

Também foram colocadas questões abertas para que os estudantes justificassem as respostas nas questões supracitadas. Por fim, os resultados foram sistematizados e analisados quantitativa e qualitativamente, visando compreender as percepções dos participantes quanto ao potencial dos recursos empregados.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

A Figura 6 apresenta a percepção dos participantes sobre o nível de contribuição dos projetos do canteiro e dos percursos em modelos 3D com RV não imersiva para aperfeiçoar sua análise crítica quanto ao *layout*, à organização e à compreensão espacial do canteiro de obras. Os resultados foram organizados segundo dois grupos: participantes sem experiência prévia em planejamento ou implementação do canteiro (A1 a A10) e aqueles com algum nível de experiência (A11 a A15).

Figura 6: Nível de contribuição dos recursos utilizados em relação à experiência de planejamento/implementação do canteiro



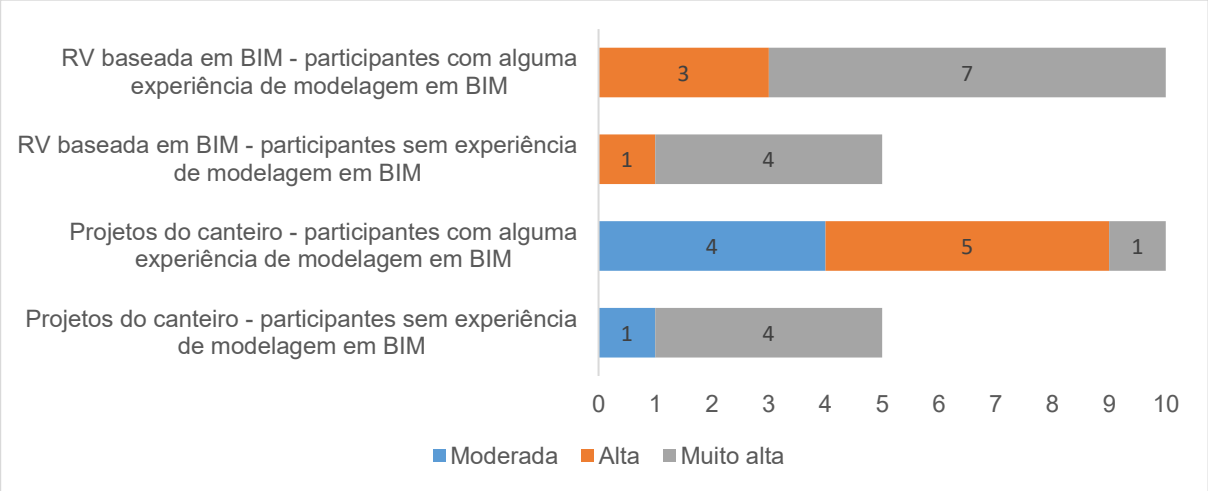
Entre os dez participantes sem experiência no planejamento do canteiro, as respostas sobre os projetos 2D foram distribuídas de forma relativamente equilibrada entre os níveis “moderado”, “alto” e “muito alto”. Já em relação à RV, predominou a avaliação “muito alta”. A5 pontuou que “a imersão com realidade virtual trouxe a melhor compreensão espacial em relação ao canteiro”. A7 complementou, afirmando que “projetos em 2D contribuem bastante com o entendimento do canteiro, porém são bem melhor representados em uma imersão com realidade virtual, onde podemos ter uma melhor percepção dos processos e fluxo no canteiro”.

Resultados semelhantes foram observados entre os cinco participantes com alguma experiência em planejamento ou implementação de canteiro. Esses participantes também atribuíram maior relevância aos percursos em RV para a melhoria do processo de planejamento. A14 pontuou que “a diferença entre o canteiro com realidade virtual [e o projeto 2D] é notável, muito mais fácil para enxergar os recursos e principalmente ao caminhar é possível observar pontos de melhoria e onde há problemas”. Como destacou A15, “através da realidade virtual temos uma noção prática do que será realizado na obra, com isso é possível observar de perto os erros e os acertos do projeto”, ressaltando o potencial da RV para apoiar decisões mais embasadas no planejamento físico e logístico do canteiro.

Os resultados também foram organizados em relação à experiência em modelagem em BIM: participantes sem experiência prévia em modelagem em BIM (A3, A4, A8, A11 e A13) e aqueles com algum nível de

experiência em modelagem (A1, A2, A5-A7, A9, A10, A12, A14 e A15). Esses resultados são apresentados na Figura 7.

Figura 7: Nível de contribuição dos recursos utilizados em relação à experiência em modelagem em BIM



Entre os dez participantes com algum nível de experiência em modelagem (arquitetônica ou de sistemas prediais – MEP), ainda que não voltada especificamente à modelagem de canteiro de obras, observou-se que 70% atribuiu à RV o nível de contribuição “muito alta” e 30%, “alta”. Em relação aos projetos 2D, esses mesmos participantes atribuíram, predominantemente, níveis de contribuição “alta” (50%) ou “moderada” (40%). Já entre os cinco participantes sem experiência prévia em modelagem, quatro atribuíram nível de contribuição “muito alta” tanto para a RV quanto para os projetos 2D.

De modo geral, enquanto 11 participantes atribuíram à RV a avaliação “muito alta”, apenas cinco participantes atribuíram essa mesma avaliação aos projetos bidimensionais. Tanto os grupos com quanto sem experiência em planejamento de canteiro ou em modelagem BIM atribuíram elevada contribuição à RV. No entanto, observa-se que participantes com experiência prévia em BIM e/ou planejamento de canteiro tenderam a avaliar os projetos 2D com menor contribuição para os objetivos propostos, aspecto evidenciado pelas respostas que indicaram contribuição “moderada” nas Figuras 6 e 7.

Todos os participantes indicaram considerar a RV uma ferramenta com potencial para apoiar o planejamento do canteiro de obras. Destacaram, sobretudo, a contribuição da RV para o entendimento prévio e espacial do canteiro, favorecendo a antecipação de decisões relevantes antes do início da execução. Como relatado por A4, esses recursos permitem que o gestor esteja "ciente, antes de iniciar a obra, de como poderá ser a melhor logística para a execução", explicitando o potencial da ferramenta para suporte à tomada de decisão. A11 complementou que a tecnologia “nos dá uma ideia bem clara da realidade”, apontando a representação mais próxima da realidade do canteiro de obras se comparadas a representações 2D.

No entanto, conforme mencionado por A6 e A10, a adoção da RV depende da modelagem do canteiro em softwares BIM. Isso porque, caso o projeto seja elaborado apenas em 2D, por exemplo, em softwares como AutoCAD®, sua utilização em ambientes de RV fica limitada, exigindo esforços adicionais de modelagem para exportação às plataformas ou aplicativos de RV.

Todos os participantes também indicaram que tanto o uso didático de projetos 2D quanto os percursos em RV contribuíram para aumentar seu interesse e percepção sobre a importância do planejamento do canteiro. A5 e A11 destacaram o caráter complementar das duas ferramentas. Ressaltaram que o domínio da leitura de projetos 2D é essencial para a atuação prática, dado que essa é a forma predominante de representação em obras. Já a RV, por sua vez, favorece uma visão integrada do canteiro, permitindo a identificação de falhas não evidentes nas representações bidimensionais.

A realização dos trajetos pré-definidos foi considerada relevante por 14 participantes. Essa atividade permitiu identificar oportunidades de melhoria na logística do canteiro, principalmente ao visualizar fluxos e deslocamentos típicos no ambiente de obra. Os participantes relataram que os trajetos pré-definidos permitiram compreender “quais os melhores locais para disponibilizar os equipamentos e gerar mais segurança para os colaboradores” (A6), bem como identificar “trajetos melhores” (A2) e “aspectos que poderiam otimizar o tempo e a logística no dia-a-dia da obra” (A4).

4 DISCUSSÕES

A partir das análises, observou-se que a utilização de RV não imersiva para realização de percursos nos modelos 3D foi percebida pelos participantes como mais eficaz para o aperfeiçoamento da percepção espacial do canteiro de obras, em comparação aos projetos 2D. Além disso, participantes com experiência prévia em modelagem BIM e/ou planejamento de canteiro tenderam a atribuir menor nível de contribuição aos projetos 2D, em comparação à avaliação de participantes sem essa experiência. Esses resultados dialogam com os achados de Kraus *et al.* (2022), que constataram que participantes com pouca experiência prévia obtiveram desempenho significativamente superior ao aprender detalhes construtivos por meio de RV, em comparação com métodos tradicionais baseados em representações bidimensionais.

A RV também foi apontada como uma ferramenta com potencial de apoio à etapa de planejamento do canteiro, permitindo a identificação de pontos de melhoria antes de sua implementação. Essa percepção é respaldada por Johansson e Roupé (2024), que demonstraram que a revisão de projetos utilizando RV possibilitou a detecção de erros antes do início da execução, reforçando sua aplicabilidade prática no apoio à tomada de decisões.

A definição de percursos a serem realizados nos modelos 3D também foi considerada uma estratégia pedagógica relevante pelos participantes. Essa abordagem pode ser incorporada à rotina de análise do planejamento do canteiro com suporte da RV, considerando que diversos trajetos são previamente conhecidos pelos planejadores (como acessos de caminhões, deslocamento de trabalhadores, e rotas até os equipamentos de transporte vertical), o que pode facilitar sua avaliação crítica no ambiente virtual.

A necessidade de modelagem do canteiro em softwares BIM para posterior exportação para plataformas ou aplicativos de RV é outro aspecto a ser considerado. Mesmo quando o planejamento é inicialmente realizado em 2D, será necessário desenvolver a modelagem tridimensional para viabilizar o uso da RV. Alinhado a essa prerrogativa, Chen *et al.* (2023) destacam que o conhecimento prévio em BIM influenciou significativamente o aprendizado com RV no ensino da construção, evidenciando a interdependência entre essas tecnologias e a importância de sua integração já no processo formativo.

Do ponto de vista didático, o uso de RV foi percebida como relevante nesse contexto em que havia alunos com e sem vivência prática, principalmente por facilitar a visualização espacial do canteiro. Além disso, observou-se um alto nível de engajamento dos participantes durante a atividade com RV, o que contribuiu para uma participação mais ativa no processo de identificação de pontos de melhoria no planejamento. Resultados semelhantes foram relatados por Lucena (2024), que constatou que os participantes passaram a interagir mais ativamente no processo de ensino-aprendizagem a partir do uso de realidade estendida (realidade virtual e virtualidade aumentada) na identificação de perdas não-físicas em canteiros de obras. Ainda, apesar do uso de RV não imersiva, não foi observada dispersão da atenção dos participantes durante o estudo, que consiste em uma preocupação apontada por Tori, Kirner e Siscoutto (2006).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo contribuiu com o campo do conhecimento ao analisar a percepção de estudantes de engenharia civil quanto ao uso de diferentes recursos digitais (projetos 2D e RV não imersiva em modelos BIM) aplicados ao ensino introdutório do planejamento de canteiro de obras. A pesquisa respaldou o potencial da RV não imersiva como ferramenta de apoio à aprendizagem, sobretudo por ampliar a compreensão espacial do canteiro e promover maior engajamento dos alunos na identificação de oportunidades de melhoria no *layout* e na logística de canteiros. Destaca-se, ainda, que a estratégia adotada pode ser viabilizada com infraestrutura geralmente já disponível nas instituições de ensino, como computadores, sem necessidade de dispositivos imersivos específicos. Esses resultados apontam caminhos promissores para a adoção da RV não imersiva como recurso complementar ao ensino tradicional baseado em representações 2D, contribuindo para uma formação mais alinhada às demandas da Construção 4.0.

Apesar das contribuições observadas, a pesquisa apresentou limitações, como o número reduzido de participantes, o que limita a generalização dos resultados. Além disso, a análise baseou-se exclusivamente na percepção dos participantes quanto à contribuição dos recursos utilizados, sem a adoção de indicadores complementares, como tempo de execução das tarefas, grau de dificuldade percebido ou elementos específicos identificados em cada abordagem. Pesquisas futuras podem considerar outras fontes de evidências para triangulação desses dados, para embasamento mais consistente das análises.

Adicionalmente, destaca-se que a necessidade de exportação dos modelos em formato .ifc para uso no Augin Hub® implicou a quebra do fluxo informacional BIM, o que pode representar uma limitação em termos de interoperabilidade e atualização em tempo real dos modelos. Assim, sugere-se que estudos futuros explorem plataformas que preservem a integração entre modelagem e visualização, incorporando a navegação livre

por avatares, de forma a potencializar o uso de ambientes imersivos ou não imersivos no ensino do planejamento do canteiro de obras.

REFERÊNCIAS

BEAUFILS, Kevin; BERLAND, Alexis. Avatar embodiment: from cognitive self-representation to digital body ownership. **Hybrid**, [*s. l.*], no. 9, 29 Nov. 2022. https://doi.org/10.4000/hybrid.2664.

BOLPAGNI, M.; GAVINA, R.; RIBEIRO, D.; ARNAL, I.P. Shaping the Future of Construction Professionals. *In*: BOLPAGNI, M.; GAVINA, R.; RIBEIRO, D. (eds.). **Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity**. Cham: Springer, 2022. vol. 20, p. 1–26.

BROZOVSKY, Johannes; LABONNOTE, Nathalie; VIGREN, Olli. Digital technologies in architecture, engineering, and construction. **Automation in Construction**, [*s. l.*], vol. 158, 1 Feb. 2024. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105212.

CHEN, Xingbin; LI, Sining; LI, Gengying; XUE, Bin; LIU, Bingsheng; FANG, Yuan; SEO, Joon Oh; KIM, Inhan; KIM, Jung In. 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**, [*s. l.*], vol. 10, no. 5, p. 2036–2048, 1 Oct. 2023. https://doi.org/10.1093/jcde/qwad091.

CHENG, Jiun-Yao; GHEISARI, Masoud; JEELANI, Idris. Using 360-Degree Virtual Reality Technology for Training Construction Workers about Safety Challenges of Drones. **Journal of Computing in Civil Engineering**, [*s. l.*], vol. 37, no. 4, Jul. 2023. https://doi.org/10.1061/jccee5.cpeng-5140.

FELLOWS, Richard; LIU, Anita. **Research Methods for Construction**. 4. Oxford: John Wiley & Sons, 2015.

GETULI, Vito; CAPONE, Pietro; BRUTTINI, Alessandro; ISAAC, Shabtai. BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach. **Automation in Construction**, [*s. l.*], vol. 114, 1 Jun. 2020. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103160.

GHEISARI, Masoud; BECERIK-GERBER, Burçin; DOSSICK, Carrie Sturts. Emerging learning technologies for future of work and education in engineering. **Advanced Engineering Informatics**, [*s. l.*], vol. 56, 1 Apr. 2023. https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101775.

HANSEN, Seng. Lessons Learned from Construction Site *Layout* Planning Practices. **Ingenieria e Investigacion**, [*s. l.*], vol. 44, no. 1, 22 Feb. 2024. https://doi.org/10.15446/ing.investig.107160.

JOHANSSON, Mikael; ROUPÉ, Mattias. Real-world applications of BIM and immersive VR in construction. **Automation in Construction**, [*s. l.*], vol. 158, 1 Feb. 2024. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105233.

KAPOOR, Laxmi. Virtual Reality in Construction. **Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry**, [s. l.], vol. 11, no. 1, p. 445–454, 2020. https://doi.org/10.52783/tojqi.v11i1.9979.

KRAUS, Michael; RUST, Romana; RIETSCHEL, Maximilian; HALL, Daniel. Improved Perception of AEC Construction Details via Immersive Teaching in Virtual Reality. **arxiv**, [*s. l.*], , p. 1–32, 21 Sep. 2022. Available at: http://arxiv.org/abs/2209.10617.

LUCENA, Arthur Felipe Echs. **Realidade estendida na construção civil: método para capacitação de estudantes de engenharia civil no gerenciamento de perdas não-físicas no canteiro de obras**. 2024. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024.

PEINADO, Hugo Sefrian; OLIVEIRA, Carolina Andrade de; MELO, Roseneia Rodrigues Santos de; OTTONI, André Luiz Carvalho; FRÓES, Saulo Mascarenhas; NOVO, Marcela Silva; COSTA, Dayana Bastos. Detecção de guarda-corpo e rodapés em canteiro de obras utilizando drones e visão computacional. **Ambiente Construído**, [s. l.], vol. 25, 2025. DOI 10.1590/s1678-86212025000100805.

RETAMAL, Martín; LOYOLA, Mauricio. Enhancing Spatial Skills and Blueprint Reading in Construction Workers with Low-Cost Virtual Reality Equipment. 2023. XXVII International Conference of the Ibero-American Society of Digital Graphics [...]. São Paulo: Blucher, 2023. p. 1–10.

RONGHUI, Song. Research on Teaching Reading Building Construction Drawings Based on BIM Technology. **Applied & Educational Psychology**, [*s. l.*], vol. 5, no. 4, 2024. https://doi.org/10.23977/appep.2024.050403.

SAURIN, Tarcisio Abreu; FORMOSO, Carlos Torres. **Planejamento de canteiros de obras e gestão de processos**. Porto Alegre: ANTAC, 2006.

TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOUTTO, Robson Augusto. **Fundamentos e tecnologia da realidade virtual e aumentada**. Porto Alegre: SBC, 2006.

WANG, Kun Chi; HSU, Liang Yu. Effectiveness of an Immersive VR System for Construction Site Planning Education. **KSCE Journal of Civil Engineering**, [*s. l.*], vol. 28, no. 5, p. 1622–1634, 1 May 2024. https://doi.org/10.1007/s12205-024-1402-z.