XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8624

O Uso da Realidade Virtual em Estudos de Geometria Solar e Iluminação Natural: Aplicabilidade do Software Twinmotion

The Use of Virtual Reality in Solar Geometry and Daylighting Studies: The Applicability of Twinmotion

João Victor de Souza Lima
Universidade Estadual de Londrina | Londrina | Brasil | joao.victorlima@uel.br
Allan Jhonathan Mesiano
Universidade Estadual de Londrina | Londrina | Brasil | allan.jmesiano@uel.br
Cesar Imai
Universidade Estadual de Londrina | Londrina | Brasil | cimai@uel.br

Resumo

Este artigo apresenta um recorte de uma pesquisa voltada ao desenvolvimento de um workflow imersivo para estudos de geometria solar e iluminação natural no ensino de projeto arquitetônico. O problema abordado refere-se à dificuldade de integrar esses conteúdos ao processo projetual por meio de abordagens práticas, interativas e articuladas à espacialidade do ambiente. O objetivo é avaliar a aplicabilidade do software Twinmotion, em ambiente de Realidade Virtual (RV), como ferramenta de apoio ao estudo desses fenômenos. A pesquisa corresponde à etapa exploratória de um quase-experimento aplicado a 63 estudantes de um curso de Arquitetura e Urbanismo, envolvendo exercícios guiados em RV, observação direta, registros das atividades, relatos dos participantes e questionário de satisfação. Os resultados indicam avaliação geral positiva da ferramenta, com destaque para a compreensão do percurso solar, da relação sol-forma e da espacialidade do ambiente, especialmente na visualização imersiva. No entanto, foram identificadas dificuldades operacionais, desconforto físico em parte dos usuários e limitações na representação de aspectos lumínicos, sobretudo quanto ao ofuscamento e à iluminação difusa. Conclui-se que o Twinmotion apresenta potencial como recurso didático e apoio à tomada de decisão em etapas iniciais do projeto, embora seu uso mais amplo dependa de aprimoramentos técnicos, operacionais e de maior articulação com critérios objetivos de análise ambiental.

Palavras-chave: Realidade Virtual. Geometria Solar. Iluminação Natural. Ensino. Processo Projetual.

Abstract

This article presents an excerpt from a research project aimed at developing an immersive workflow for solar geometry and daylighting studies in architectural design education. The problem addressed concerns the difficulty of integrating these contents into the design process through practical, interactive approaches articulated with the spatiality of the environment. The objective is to evaluate the applicability of Twinmotion, in a Virtual Reality (VR) environment, as a tool for studying these phenomena. The research corresponds to the exploratory stage of a quasi-experiment with 63 students, involving guided VR exercises, direct observation, activity records, participants' reports, and a satisfaction questionnaire. The results indicate an overall positive assessment of the tool, especially regarding the understanding of the sun path, the sun–form relationship, and the spatiality of the environment, particularly in

Como citar:
LIMA, J.V.S.; MESIANO, A.J.; IMAI, C. O Uso da Realidade Virtual em Estudos de Geometria Solar e Iluminação Natural: Aplicabilidade do Software *Twinmotion*. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

immersive visualization. However, operational difficulties, physical discomfort among some users, and limitations in the representation of daylighting phenomena, especially regarding glare and diffuse lighting, were also identified. The study concludes that Twinmotion has potential as a didactic resource and as support for decision-making during the early stages of the design process, although its broader use depends on technical and operational improvements and on greater articulation with objective criteria for environmental analysis.

Keywords: Virtual Reality. Solar Geometry. Natural Lighting. Education. Design Process.

INTRODUÇÃO

No ensino de projeto em Arquitetura e Urbanismo, a literatura tem apontado limitações metodológicas que dificultam a integração dos estudos de geometria solar e iluminação natural ao processo projetual, especialmente no que diz respeito à falta de ferramentas e abordagens mais práticas e interativas [1][2].

Nesse contexto, a Realidade Virtual (RV) apresenta potencial como recurso pedagógico em disciplinas de projeto, por favorecer experiências imersivas, compreensão espacial, percepção de escala e aprendizagem de conteúdos complexos em arquitetura e design, como alternativa ao espaço real [3][4][5].

Em uma revisão de escopo anterior que investigou a aplicabilidade da RV para os estudos de geometria solar e iluminação natural [6], observou-se o reconhecimento dessa tecnologia como instrumento adequado para estudos de percepção e avaliação subjetiva desses parâmetros [7][8]. A revisão também indicou que os *softwares* mais utilizados para esse fim são aqueles baseados em renderização em tempo real, com destaque para os motores de jogos, por ampliarem as possibilidades de uso da RV ao permitir interações com o ambiente, comparação entre cenários e atualização dinâmica de parâmetros relevantes à análise espacial e luminosa. Dentre os motores de jogos mais utilizados, destacou-se o *Unreal Engine,* apresentado como meio de visualização dinâmica e interativa da geometria solar e iluminação natural, com possibilidade de ajuste de variáveis do ambiente e feedback dinâmico ao usuário [9] [10], assim como programação gráfica da interface para facilitar os ajustes de horário e permitir registro das impressões dos participantes [11].

Em paralelo, algumas pesquisas investigaram o uso de *softwares* de renderização em tempo real mais simples, como o *Twinmotion* [12][13], concebido como uma interface simplificada para visualização renderizada em tempo real, funcionando como uma porta de entrada para o ecossistema do *Unreal Engine*, ao mesmo tempo em que mantém um fluxo de trabalho mais direto e acessível para arquitetos, sem a necessidade de se lidar com a complexidade inerente ao desenvolvimento em motores de jogos [14]. Adicionalmente, a menor exigência de hardware e a proximidade com práticas convencionais de representação digital ampliam o potencial de continuidade de uso da ferramenta pelos estudantes para além do contexto experimental.

As pesquisas de Maksoud *et al.* e de Kemkomnerd e Tirapas constataram que a conexão direta do *Twinmotion* com *softwares Building Information Modeling* (BIM), por meio do *Direct Link* da extensão *Datasmith*, permite que a atualização mais recente do modelo seja sincronizada sem a necessidade extra de conversão de

arquivos, o que favorece a realização de múltiplas análises ambientais e iterações ao longo do processo de projeto, assim como ajustes imediatos com base no feedback dos usuários durante a experiência imersiva [12][13]. Em conjunto, esses estudos indicam que o *Twinmotion* não se restringe à representação final do projeto, mas atua como um ambiente interativo de apoio à tomada de decisão, com potencial para qualificar processos de análise, compreensão e desenvolvimento projetual.

A partir desse quadro, este artigo apresenta um recorte de um quase-experimento que visa ao desenvolvimento de um *workflow* tecnológico imersivo (com o uso da RV), integrado a disciplinas de projeto do edifício em curso de Arquitetura, que busca ampliar a inteligência espacial de estudantes no que diz respeito à relação entre espacialidade do ambiente, geometria solar e iluminação natural. Neste recorte exploratório inicial, investiga-se a aplicabilidade do *software Twinmotion* no *workflow* proposto.

Assim, o objetivo deste artigo é avaliar a aplicabilidade do *software Twinmotion*, em ambiente de Realidade Virtual, como ferramenta de apoio aos estudos de geometria solar e iluminação natural com estudantes de Arquitetura e Urbanismo.

Esta pesquisa encontra-se aprovada na Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP) e no Comitê de Ética em Pesquisa sob o Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) número 79227624.0.0000.5231 e parecer número 8.387.132.

MÉTODO

A investigação está estruturada em duas etapas principais: (i) fase exploratória inicial, voltada à instrumentalização dos estudantes no uso do *software* e investigação de sua aplicabilidade no protocolo proposto; e (ii) fase de aplicação, na qual os estudantes utilizarão a ferramenta no desenvolvimento de seus próprios projetos, permitindo a análise de possíveis impactos na tomada de decisão projetual. Este artigo reporta resultados preliminares referentes à primeira etapa do quase-experimento, entendida como necessária para validação da etapa subsequente.

A pesquisa foi conduzida em uma disciplina de Metodologia do Projeto Arquitetônico, ofertada a estudantes de Arquitetura e Urbanismo no 5º semestre da Universidade Estadual de Londrina em paralelo à disciplina de Ateliê (projeto arquitetônico). Participaram da primeira etapa todos os 63 estudantes regularmente matriculados na disciplina, já familiarizados com noções básicas de conforto ambiental e representação gráfica.

A primeira etapa foi estruturada com base nas seguintes atividades orientadas:

- Revisão conceitual sobre geometria solar e iluminação natural e apresentação de exemplos em referências projetuais com foco na espacialidade dos ambientes;
- Exercícios guiados de exploração do *software Twinmotion*.

Nos exercícios guiados, conduzidos no decorrer das disciplinas de forma integrada, cada equipe de quatro integrantes foi dividida em duas duplas. As duplas foram direcionadas para dois *setups* de RV, cada um dotado de um *notebook* e um *headset Meta Quest 2*. Durante os exercícios, um integrante da dupla realizava a análise em RV de uma das quatro faces principais de um modelo arquitetônico genérico (norte, sul, leste ou oeste), enquanto sua dupla acompanhava a visualização em *desktop* e orientava as análises com o apoio de um roteiro impresso. Ao término da análise, a dupla invertia os papéis, até que todos tivessem passado pela experiência em RV. Inicialmente, os estudantes utilizaram os *headsets* em pé, porém, com a necessidade de conexão via cabo para carregamento após algumas horas de uso, optou-se por posicioná-los sentados em cadeiras fixas por questões operacionais e de conforto, as quais foram posteriormente substituídas por cadeiras giratórias para facilitar a rotação dos estudantes, mesmo com os *headsets* conectados por cabos (Figura 1).

Figura 1: Uso dos *headsets* pelos estudantes em pé (à esquerda), sentados em cadeira fixa (ao centro) e sentados em cadeira giratória (à direita)



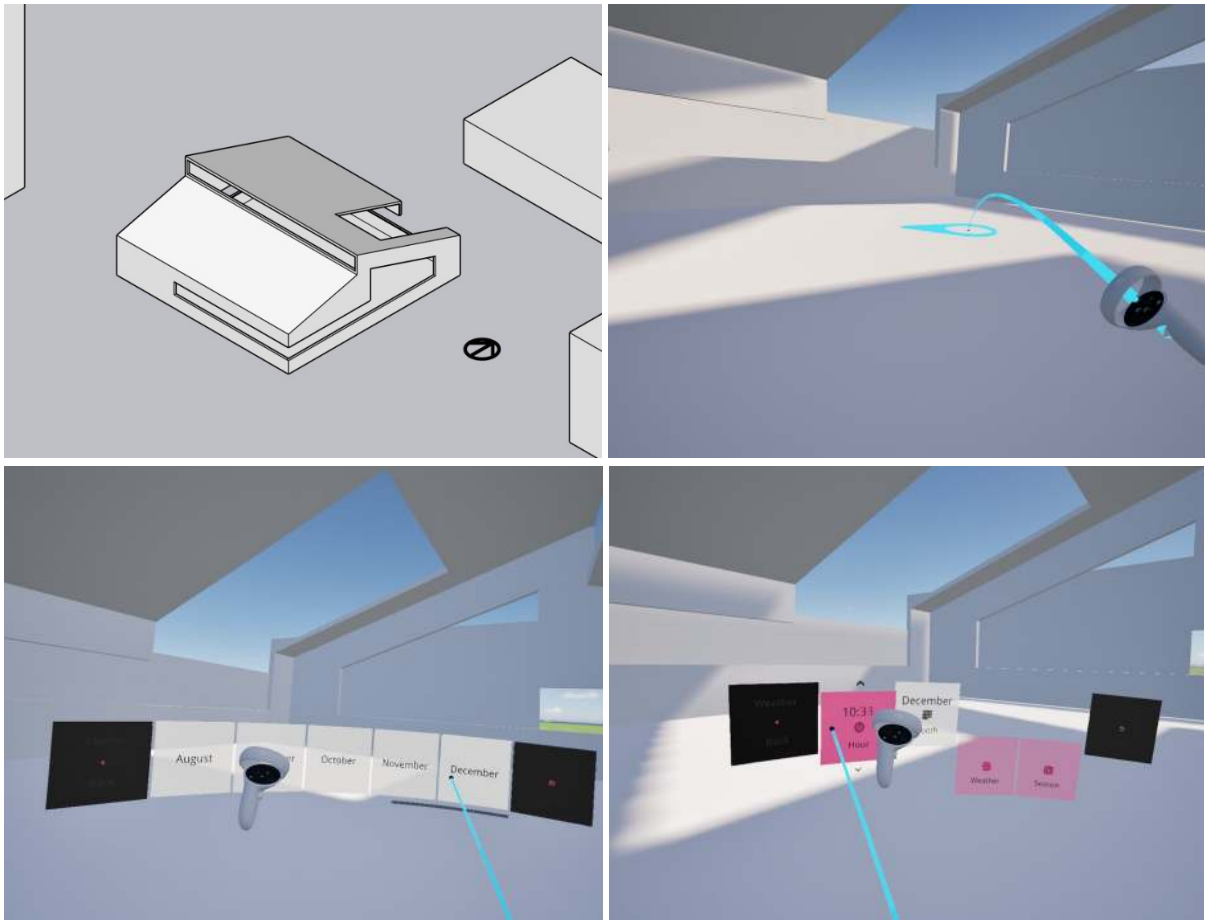
Fonte: os autores.

O modelo arquitetônico genérico consistia em uma volumetria simples, desenvolvida para fins didáticos, composta por um ambiente interno simplificado e aberturas distribuídas em diferentes orientações, de modo a permitir a observação da incidência solar e das variações de iluminação natural ao longo do dia e do ano. O modelo foi elaborado previamente em *SketchUp* e posteriormente importado para o *Twinmotion*, onde foram ajustados o norte geográfico e a localização geográfica correspondente à cidade de Londrina, Paraná, contexto local de realização da atividade. No ambiente de RV, foram manipuladas as variáveis de mês, horário, orientação e posição dentro da cena (Figura 2), acompanhadas de análise de desempenho ambiental que considerava a incidência solar de manhã, ao meio dia e à tarde, no verão, equinócios e inverno, os riscos térmicos e lumínicos identificados, o potencial para aberturas, o potencial para vistas externas, a influência do sombreamento do entorno e a necessidade de proteções solares.

Optou-se por manter o modelo sem aplicação de materiais, cores ou texturas, com superfícies predominantemente brancas, para concentrar a análise dos estudantes na relação entre orientação, geometria edificada, incidência solar e percepção da iluminação natural, reduzindo a interferência de variáveis visuais não controladas nesta etapa exploratória. Além disso, optou-se por utilizar o modo de renderização

mais simples (*Standard*), evitando que a simulação ficasse mais lenta ou com menor desempenho, considerando as limitações de *hardware* dos *notebooks* disponíveis.

Figura 2: Isométrico em *SketchUp* do modelo genérico utilizado para os exercícios exploratórios (à esquerda acima); interface do *Twinmotion* em RV – teleporte no espaço (à direita acima), alteração do mês (à esquerda abaixo) e alteração do horário (à direita abaixo).



Fonte: os autores.

Durante essa etapa, foram coletados dados qualitativos e exploratórios por meio de observação direta das atividades em sala de aula, anotações sobre as interações dos estudantes com o *software*, registros fotográficos e relatos dos participantes sobre a experiência com a ferramenta. Por fim, foi aplicado um questionário de satisfação, via *Google Forms*, investigando a opinião dos estudantes sobre:

- Experiência em RV: aspectos gerais da experiência em RV; contribuição do uso da cadeira giratória; tempo de uso do *headset* e possíveis sintomas decorrentes da imersão.
- Aspectos técnicos e operacionais: nível de dificuldade quanto a diversos aspectos dentro da RV com o uso do *Twinmotion*; qualidade do *software* quanto à representação de aspectos lumínicos; adequação dos *headsets* e do *software* às pessoas com limitações visuais.
- Contribuição no processo projetual: contribuição da experiência com o *software* em RV para a compreensão dos fenômenos solares e espaciais;

compreensão sobre o percurso solar e sua relação com a geometria edificada antes e após o uso do *software*; comparação entre as contribuições do uso do *software* em RV e em modo *desktop*.

- Avaliação geral da ferramenta, intenção de uso em projetos futuros e sugestões de melhorias para o *software*.

Os dados coletados foram analisados com ênfase na identificação de padrões de uso, dificuldades operacionais e indícios de compreensão (ou não) dos conceitos de geometria solar associados à geometria edificada. Por se tratar de uma etapa preliminar, com o uso de modelos genéricos e não desenvolvidos pelos próprios estudantes, os resultados apresentados não permitem inferências sobre o impacto no desempenho projetual.

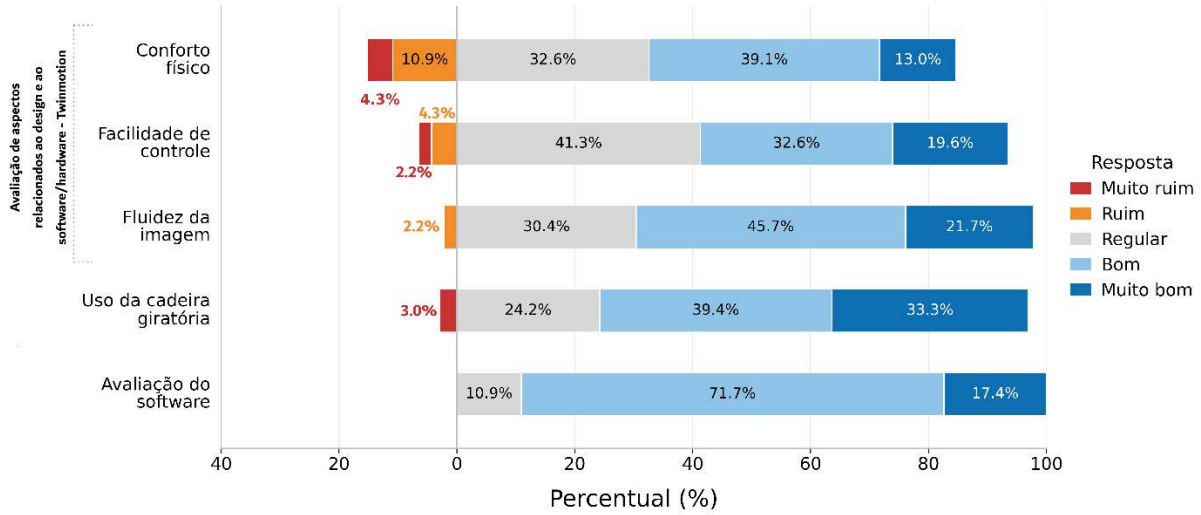
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 63 estudantes participantes desta etapa, apenas 46 responderam ao questionário dentro do prazo estipulado. Os resultados seguem descritos nos tópicos a seguir.

AVALIAÇÃO GERAL DA EXPERIÊNCIA

O gráfico da Figura 3 apresenta a avaliação geral do *Twinmotion*, majoritariamente positiva. As respostas abertas destacam sua contribuição para a compreensão da geometria solar, da iluminação natural e da espacialidade do modelo, especialmente por meio da visualização imersiva em escala real. Os estudantes ressaltam que a ferramenta facilita a análise do percurso solar e do sombreamento, com grande potencial de suporte para a definição de aberturas e proteções solares.

Figura 3: Avaliação da experiência geral de uso do *Twinmotion* em realidade virtual



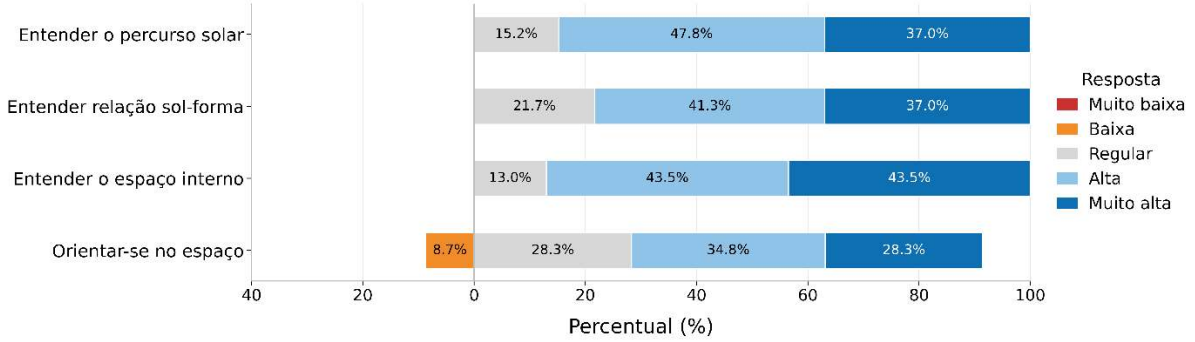
Fonte: os autores.

O tempo de uso do *headset* de RV (em média 20 minutos por estudante) foi considerado suficiente pela maioria dos respondentes (95,7%). No entanto, o ponto de pior avaliação foi o conforto físico. Mesmo com a maioria dos estudantes (67,4%)

apontando não sentir sintomas durante ou após a utilização dos *headsets*, 15,2% relatou sintomas durante o uso e 17,4% imediatamente ou algum tempo após sua utilização, destacando-se os sintomas de vertigem, tontura, náusea, dor de cabeça e dor nos olhos. O uso da cadeira giratória foi apontado como positivo pela maioria dos usuários (72,7% de respostas positivas), por minimizar a sensação de vertigem e facilitar os movimentos de rotação horizontal dos usuários sem permitir as saídas involuntárias do raio imersivo.

Houve um aumento expressivo da compreensão autodeclarada sobre o percurso solar e sua relação com a geometria edificada, antes e após os exercícios em RV (aumento de 58% para os maiores níveis de compreensão). Além disso, 67,4% consideraram a contribuição da RV maior ou muito maior do que a contribuição da visualização em tela (desktop). Dentre os aspectos de maior contribuição do *software* (Figura 4), destacam-se a compreensão do espaço interno (87% de respostas positivas), do percurso solar (84,8% de respostas positivas) e da relação sol-forma (78,3% de respostas positivas). O aspecto de pior avaliação foi a compreensão da orientação no espaço (63,1% de respostas positivas), considerando a dificuldade relatada para locomoção no ambiente.

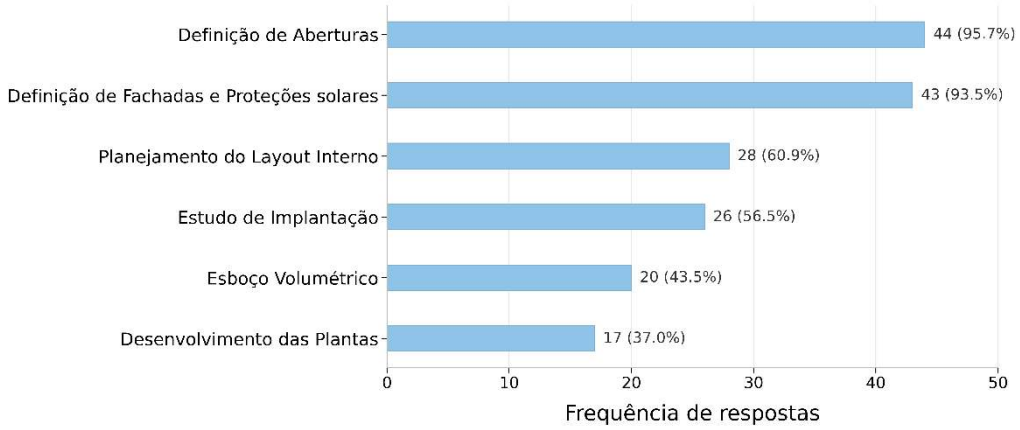
Figura 4: Contribuição do *Twinmotion* para a compreensão da geometria solar e da iluminação natural



Fonte: os autores.

A maioria dos respondentes (69,6%) considerou utilizar a ferramenta em projetos futuros, especialmente em etapas iniciais ou para análises específicas, reconhecendo seu potencial como apoio à tomada de decisão projetual. Ao serem perguntados sobre as etapas projetuais em que a ferramenta poderia ser mais útil (Figura 5), a grande maioria dos estudantes apontou sua utilidade para a definição de aberturas, fachadas e proteções solares. A definição do esboço volumétrico e o desenvolvimento das plantas apareceram em menos da metade das respostas, devido à dificuldade de modelagem dentro do próprio *software*, mesmo com a possibilidade de conexão direta com a modelagem em *SketchUp*. Além disso, os estudantes relatam que o tempo necessário para sua utilização em RV pode não ser compatível com suas rotinas de projeto, tornando-a mais útil em pontos chave da tomada de decisão.

Figura 5: Etapas do processo de projeto em que o uso do *Twinmotion* em realidade virtual é percebido como útil para a compreensão do desempenho solar e lumínico

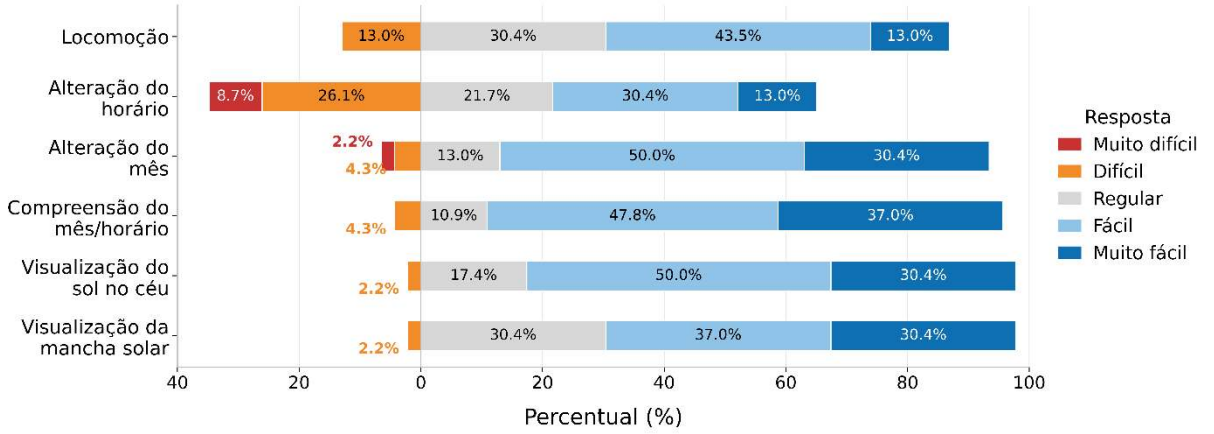


Fonte: os autores.

LIMITAÇÕES TÉCNICAS E OPERACIONAIS

O gráfico da Figura 6 apresenta as dificuldades operacionais atribuídas ao uso do *software* em RV, destacando-se, como ponto mais crítico, o mecanismo de alteração do horário (34,8% de respostas negativas). As respostas abertas apontam a necessidade de uma interface mais intuitiva e de maior precisão que permita que o usuário se concentre em onde olhar e se mover, não na alteração desse parâmetro. Também se destaca como crítica a dificuldade de locomoção no modelo (13% das respostas negativas). As respostas abertas apontam a necessidade de controles mais fluidos, especialmente para a locomoção, com a possibilidade de caminhar pelo modelo ao invés de apenas teleportar entre pontos específicos.

Figura 6: Dificuldades operacionais atribuídas ao uso do *Twinmotion* em realidade virtual



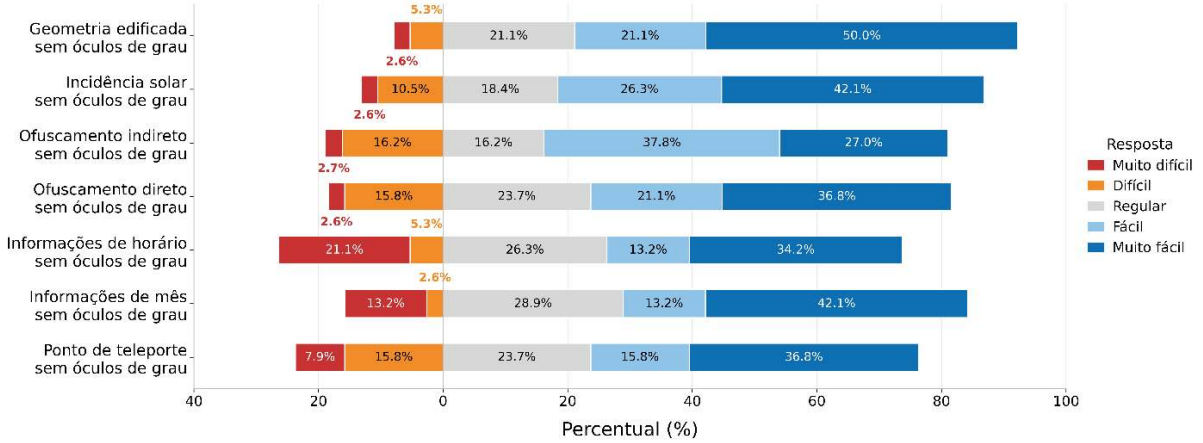
Fonte: os autores.

Apesar de a visualização do sol no céu, proporcionada pelo *software*, ser apontada como positiva pela maioria dos respondentes (80,1% de respostas positivas), nas respostas abertas foi apontada a dificuldade de encontrar o sol no céu, atrás da geometria edificada, o que sugere a necessidade de funcionalidades de aplicação interativa de transparência na volumetria.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8624

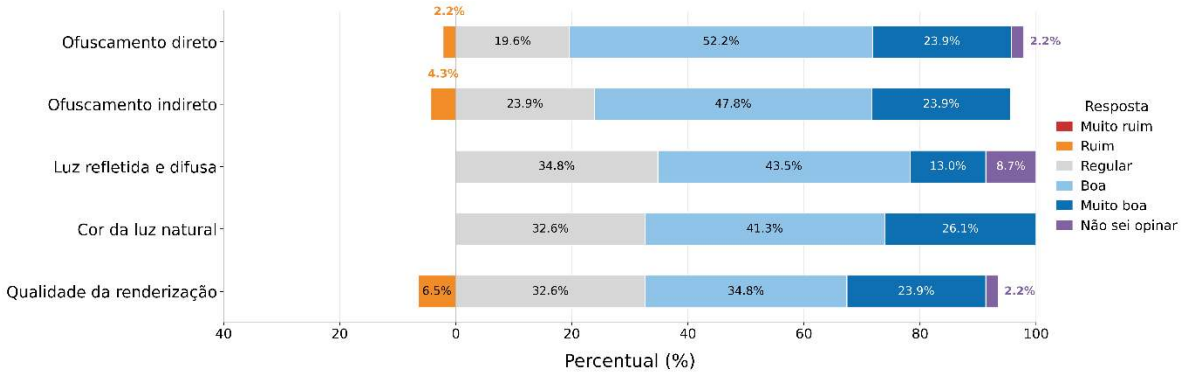
Metade dos respondentes relataram utilizar óculos de grau e destes apenas 8,3% conseguiram utilizá-lo em conjunto com o *headset* de RV. Os que utilizaram o *headset* sem seus óculos de grau apontaram como maiores dificuldades de visualização as informações de horário, mês e ponteiro de teleporte no modelo (Figura 7).

Figura 7: Dificuldades de visualização para o uso da RV no *Twinmotion* sem óculos de grau



Nota: As respostas apresentadas neste gráfico estão condicionadas ao uso de óculos de grau, portanto representam um subconjunto dos participantes. Fonte: os autores.

Figura 8: Avaliação da qualidade de representação dos aspectos lumínicos no *Twinmotion*



Fonte: os autores.

Quanto à qualidade de representação dos aspectos lumínicos (Figura 8), destacam-se, como mais apontados negativamente, a qualidade da renderização e a representação do ofuscamento indireto. Nas respostas abertas, os estudantes apontaram como principais problemas a baixa nitidez e a dificuldade de diferenciar o branco e suas nuances de iluminação refletida, assim como o erro de renderização que apresentava um feixe de luz incorreto nas arestas da geometria, confundindo a interpretação da iluminação natural. Além disso, destacaram sua baixa qualidade gráfica, falta de realismo e erros de renderização e travamentos, decorrentes do posicionamento da cadeira fora do raio da RV. Vale ressaltar que o exercício foi realizado no modo de renderização *Standard* e com o uso de um modelo genérico completamente branco, sem aplicação de cores e texturas, o que, segundo os estudantes, dificultou a compreensão global do espaço.

CONCLUSÕES

Os resultados da etapa exploratória indicam que o uso da RV associada ao *software Twinmotion* apresenta potencial como ferramenta de apoio ao ensino de projeto arquitetônico com foco em geometria solar e iluminação natural, especialmente por favorecer a compreensão espacial e a percepção dinâmica dos fenômenos analisados. O aumento da compreensão autodeclarada dos estudantes, associado à maior contribuição percebida da RV em comparação ao modo desktop, reforça o papel da imersão como mediadora da aprendizagem de conteúdos relacionados à geometria solar e à iluminação natural, assim como no favorecimento da leitura dinâmica dos fenômenos solares e lumínicos durante atividades de ensino de projeto arquitetônico.

Os resultados também indicam que a ferramenta pode apoiar análises relacionadas à orientação, às aberturas, às fachadas e às proteções solares, especialmente em etapas iniciais do processo projetual. No entanto, foram identificadas limitações que impactam a experiência de uso, incluindo dificuldades operacionais na manipulação de parâmetros temporais, restrições de locomoção no ambiente virtual, desconforto físico em parte dos usuários e limitações na representação de aspectos lumínicos, especialmente relativos ao ofuscamento e à iluminação difusa. Tais aspectos sugerem que, em seu estágio atual e no modo de renderização utilizado, a ferramenta é mais adequada para análises da relação entre orientação, forma arquitetônica e incidência solar, em etapas específicas do processo projetual.

A contribuição do estudo está na identificação de possibilidades e limites do uso do *Twinmotion* em RV num contexto didático real, envolvendo exercícios guiados, observação direta e avaliação por parte dos estudantes. Ressalta-se, no entanto, que a avaliação se concentrou nas percepções dos estudantes, nas dificuldades operacionais e nos indícios autodeclarados de compreensão dos fenômenos solares e espaciais. Nesta etapa, não foram incorporadas métricas objetivas de desempenho lumínico ou avaliação quantitativa dos projetos desenvolvidos, uma vez que os estudantes ainda não aplicaram a ferramenta em projetos autorais. Assim, os achados devem ser compreendidos como evidências iniciais sobre a aplicabilidade didática e operacional da ferramenta. Na continuidade do quase-experimento, poderão ser associados dados perceptivos e critérios objetivos de análise ambiental em um contexto real de projeto, permitindo uma avaliação mais consistente da contribuição da ferramenta à tomada de decisão projetual.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio concedido ao desenvolvimento desta pesquisa.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, o segundo autor utilizou o Chat GPT 5.5 para gerar os gráficos sobre os dados coletados no questionário de satisfação. A ferramenta

também foi usada para a tradução e revisão do texto. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] SCARAZZATO, Paulo Sergio; FONSECA MATOS, Jéssica Cristine da Silva; LIMONGI FRANÇA, Ana Judite Galbiatti; PAVANI, Taísa Dóccosse. Challenges in lighting education: a recommended practice. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s. l.], v. 1099, 2022, art. 012040. DOI: 10.1088/1755-1315/1099/1/012040.

[2] SANCHO-SALAS, Andrea; FLOR, Jan-Frederik; FISHEL, Daniel. Rethinking solar geometry and design education in the tropics: limitations and opportunities of current teaching methods. **Advances in Building Education / Innovación Educativa en Edificación**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 36-49, 2024. DOI: 10.20868/abe.2024.3.5410.

[3] HOU, Ning; NISHINA, Daisaku; SUGITA, So; JIANG, Rui; KINDAICHI, Sayaka; OISHI, Hiroshi; SHIMIZU, Akihiro. Virtual reality space in architectural design education: learning effect of scale feeling. **Building and Environment**, [s. l.], v. 248, 2024, art. 111060. DOI: 10.1016/j.buildenv.2023.111060.

[4] KWAK, Eugene. Impact of the digital design process in an architectural engineering technology program: integration of advanced digital tools (work in progress). In: **AMERICAN SOCIETY FOR ENGINEERING EDUCATION ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION**, 2023. Proceedings [...]. [s. l.]: ASEE, 2023. Paper ID #38104.

[5] ANDALIB, S. Y.; MONSUR, Muntazar. Co-Created Virtual Reality (VR) Modules in Landscape Architecture Education: A Mixed Methods Study Investigating the Pedagogical Effectiveness of VR. **Education Sciences**, [s. l.], v. 14, 2024, art. 553. DOI: 10.3390/educsci14060553.

[6] [6] LIMA, J. V. S.; MESIANO, A. J.; IMAI, C. Realidade virtual em estudos projetuais de geometria solar e iluminação natural: oportunidades e desafios para o ensino**. Revista Educação Gráfica**, v. 29, p. 97-118, 2026.

[7] CHAMILOTHORI, Kynthia; WIENOLD, Jan; ANDERSEN, Marilyne. Adequacy of Immersive Virtual Reality for the Perception of Daylit Spaces: Comparison of Real and Virtual Environments. **LEUKOS**, [s. l.], v. 15, n. 2-3, p. 203-226, 2019. DOI: 10.1080/15502724.2017.1404918.

[8] SCORPIO, Michelangelo; CARLEO, Davide; GARGIULO, Martina; CHÍAS NAVARRO, Pilar; SPANODIMITRIOU, Yorgos; SABET, Parinaz; MASULLO, Massimiliano; CIAMPI, Giovanni. A Review of Subjective Assessments in Virtual Reality for Lighting Research. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, 2023, art. 7491. DOI: 10.3390/su15097491.

[9] NATEPHRA, Waranon; YABUKI, Nobuyoshi; FUKUDA, Tomohiro; MICHIKAWA, Takayoshi; MOTAMEDI, Ali. Integrating building information modeling and virtual reality development engines for building indoor lighting design. **Visualization in Engineering**, [s. l.], v. 5, 2017, art. 19. DOI: 10.1186/s40327-017-0058-x.

[10] IZMIRLIOGLU, M.; SOZER, H. Enhancing virtual indoor environment and energy efficiency with real-time BIM and Unreal Engine integration in building lighting design. **Ain Shams Engineering Journal**, [s. l.], v. 16, 2025, art. 103249. DOI: 10.1016/j.asej.2024.103249.

[11] HEGAZY, Muhammad; YASUFUKU, Kensuke; ABE, Hirokazu. Evaluating and visualizing perceptual impressions of daylighting in immersive virtual environments. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, [s. l.], v. 20, n. 6, p. 768-784, 2021. DOI: 10.1080/13467581.2020.1800477.

[12] MAKSOUD, A.; HUSSIEN, A.; MUSHTAHA, E.; ALAWNEH, S. I. A. R. Computational design and virtual reality tools as an effective approach for designing optimization,

enhancement, and validation of Islamic parametric elevation. **Buildings**, v. 13, p. 1204, 2023. DOI: 10.3390/buildings13051204.

[13] KEMKOMNERD, W.; TIRAPAS, C. The digital twin immersive design process and its potential disruption to healthcare design through a user-centered approach. **Buildings**, v. 14, p. 2839, 2024. DOI: 10.3390/buildings14092839.

[14] EPIC GAMES. **Twinmotion to Unreal Engine importer: bridging architectural worlds.** 2023. Disponível em: https://www.unrealengine.com/en-US/blog/twinmotion-to-unreal-engine-importer-bridging-architectural-worlds. Acesso em: 5 abr. 2026.