



REALIDADE VIRTUAL NA ARQUITETURA

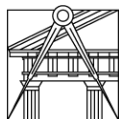
Desenvolvimento e avaliação de soluções imersivas e colaborativas
no ensino da história da arquitetura e urbanismo

Ramo de Doutorado: Arquitetura
Especialidade: Desenho e Computação

Emerson Bruno de Oliveira Gomes

Orientadores: Professor Doutor Francisco dos Santos Rebelo

Professor Doutor Naylor Barbosa Vilas Boas



FACULDADE DE ARQUITETURA
LISBON SCHOOL OF ARCHITECTURE
UNIVERSIDADE DE LISBOA

PRO
URB PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO
EM URBANISMO

Tese especialmente elaborada para a obtenção do grau de doutor

2023



LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA



UFRJ

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO

REALIDADE VIRTUAL NA ARQUITETURA

Desenvolvimento e avaliação de soluções imersivas e colaborativas
no ensino da história da arquitetura e urbanismo

Ramo de Doutorado: Arquitetura
Especialidade: Desenho e Computação

Emerson Bruno de Oliveira Gomes

Orientadores:

Professor Doutor Francisco dos Santos Rebelo
Professor Doutor Naylor Barbosa Vilas Boas

Presidente:

Doutor Paulo Jorge Garcia Pereira,
Professor Associado com Agregação
Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa.

Vogais:

Doutor Francisco dos Santos Rebelo,
Professor Associado com Agregação
Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa, orientador;

Doutor Rodrigo Cury Paraizo,
Professor Associado
Universidade Federal do Rio de Janeiro;

Doutor Naylor Barbosa Vilas Boas,
Professor Associado
Universidade Federal do Rio de Janeiro, orientador;

Doutor Victor Manuel Mota Ferreira,
Professor Associado
Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa;

Doutora Joy Helena Worms Till,
Professora Adjunta
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio);

Doutor Pedro Filipe Coutinho Cabral d'Oliveira Quaresma,
Professor Auxiliar
Universidade Lusófona de Lisboa

Tese especialmente elaborada para a obtenção do grau de doutor

2023



FACULDADE DE ARQUITETURA
LIBSON SCHOOL OF ARCHITECTURE
UNIVERSIDADE DE LISBOA

PRO
URB
PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO
EM URBANISMO

Agradecimentos

Primeiramente, dedico minha mais sincera gratidão à minha esposa e à minha filha, que foram meu alicerce durante toda a trajetória desta tese. Elas sentiram profundamente a minha ausência, mas jamais deixaram de me apoiar, incondicionalmente. À Cris, que sacrificou inúmeras vezes seu próprio bem-estar para me ver alcançar esta etapa. Junto comigo, ela virou noites em claro, ajudando-me a concluir trabalhos ou cuidando da Ana para que eu pudesse me dedicar à pesquisa. À Ana, minha maior incentivadora, que mesmo com seus quase cinco anos, nunca duvidou de mim e celebrou emocionada a conclusão desta pesquisa.

À minha mãe, Jacilena, minha primeira e maior incentivadora, que, além de exercer os papéis de pai, mãe, amiga e protetora, acreditou incondicionalmente em mim e no meu potencial. Vigilante em tempo integral, trabalhou incansavelmente enquanto cuidava de duas crianças em meio a um ambiente repleto de desafios e perigos, assegurando, com todo o amor que uma mãe pode dar, que nada de essencial me faltasse, mesmo nos momentos mais difíceis. Ao Raul, que, ao lado dela, cumpriu seu papel de pai, fazendo o possível para que eu tivesse o melhor, apoiando-me e orientando-me a seguir os melhores e mais corretos caminhos.

Um agradecimento especial ao meu cunhado Rodrigo, cujo apoio como amigo e auxílio contínuo na programação foi vital para o sucesso deste projeto. Também sou grato aos amigos Karen e Gabriel, que não apenas me apoiaram em momentos críticos, mas sempre me incentivaram a prosseguir, ajudando diversas vezes a solucionar questões difíceis do trabalho. À Bia, Cibelle e ao Andrey, que se interessaram pela investigação e dedicaram seu tempo para participar de diversos experimentos iniciais. Também aos meus ex-alunos, que me permitiram ver, na docência, um caminho apaixonante.

No âmbito acadêmico, agradeço imensamente ao professor Francisco Rebelo, que orientou essa pesquisa desde o início, com o mais alto grau de maestria, estando sempre disponível para me ajudar e me incentivar. Sua influência e ajuda foram cruciais para definir os caminhos da investigação e para o alcance do sucesso deste trabalho. Agradeço igualmente ao Professor Naylor Vilas Boas por sua confiança, orientação e incansável apoio, motivando e inspirando, de modo fundamental, o desenvolvimento da pesquisa. Ambos foram, claramente, a melhor escolha de orientação que eu poderia ter feito.

Sou profundamente grato ao professor Francisco Agostinho, cuja ajuda e contribuições foram fundamentais no início desta jornada. Minha gratidão se estende também aos professores Fernando Moreira, Hugo Farias, Jorge Boeri e demais docentes de destaque que enriqueceram minha trajetória no doutorado. Agradeço igualmente ao professor Rodrigo Paraizó, que esteve presente nas primeiras experiências imersivas e colaborativas, contribuiu de forma significativa e, desde o início, acreditou neste trabalho. Por fim, deixo meu reconhecimento à professora Joy Till, que igualmente confiou nesta pesquisa e ofereceu contribuições de enorme relevância.

Agradeço aos professores e colegas do laboratório ErgoUX (Portugal) e do LAURD (Brasil), que, além de discutirem comigo diversas facetas deste projeto, ofereceram a oportunidade de aplicar o conhecimento adquirido. Meu reconhecimento estende-se também a Talita Araújo, que forneceu material digital essencial e colaborou na modelagem dos cenários. Sua trajetória, de ex-aluna de graduação ao grau de mestre, é motivo de imenso orgulho.

Não posso deixar de mencionar Abner e Derik, alunos exemplares e amigos leais, cuja ajuda em diferentes desafios tecnológicos foi inestimável. Juntamente com Talita, formam um trio de alunos entre os melhores com quem já trabalhei.

Agradeço também aos colegas do curso de doutoramento na Ulisboa, cuja presença e colaboração foram de importância ímpar ao longo desta jornada. Lídia, Luís Gustavo, Gisele, Malu, Tatiana, Walfredo, Raissa, Laura, Humberto, Cadu, Bruna, Bianca, Fábio e demais companheiros de classe: cada um de vocês deixou uma marca indelével em minha trajetória.

Um agradecimento especial vai para José Bassalo, um amigo de longa data que desempenhou um papel fundamental em minha formação profissional e pessoal, assim como aos meus colegas do Ministério Público do Estado do Pará, sempre dispostos a ajudar quando necessário. Em especial, agradeço a Ana Daumec, Ana Paranhos, Cristina Maia, Domingos Sávio, Fábio Sousa, Jamir Freire, José de Jesus, Letícia Vicente, Marcelo Martins, Márcia Maria Moraes, Myriam Unger, Priscila Corrêa, Robinho, Sue Ann, Sylvia Lassance, Thayse Pantoja, Verena Freire e tantos outros que, de maneira direta ou indireta, incentivaram esta pesquisa.

Dentre esses, destaco com imensa gratidão Cristina Maia, Marcelo Martins e Márcia Maria Moraes, que, além de grandes amigos, foram incentivadores constantes e fundamentais ao longo desta trajetória.

Reconheço, ainda, o apoio das professoras Anna-Beatriz Aflalo, Davina e Márcia Nunes, pela amizade e pela disponibilidade em responder a questionamentos relacionados à tese. Em

especial, agradeço à professora Ana Cristina, que, além de contribuir com discussões sobre o tema, viabilizou a realização dos experimentos na faculdade.

Por fim, a todos que, de alguma maneira, contribuíram para esta caminhada, minha mais sincera gratidão.

Dedico este trabalho à minha família, em especial à minha esposa e à minha filha, fontes constantes de inspiração, coragem e amor, sem as quais este percurso jamais teria sido possível. São vocês que me fazem acreditar que todo esforço vale a pena. Amo vocês.

*“Todas as obras de arquitetura, para serem
compreendidas, requerem o tempo da
nossa caminhada.”*

(Bruno Zevi)

Resumo

O ensino de História da Arquitetura e do Urbanismo é fundamental na formação de arquitetos e urbanistas. Tradicionalmente, a ampla gama de conteúdo dessa disciplina apoia-se em recursos como fotografias, plantas e maquetes físicas. Embora indispensáveis, tais meios nem sempre conseguem transmitir a escala e a complexidade tridimensional dos espaços, limitando a compreensão dos estudantes. Ademais, a literatura recente destaca a necessidade de ampliar o engajamento discente, sugerindo abordagens que favoreçam análises mais profundas e abrangentes.

As visitas de campo são uma opção nesse sentido, mas enfrentam restrições significativas, incluindo custos elevados, limitações sanitárias e dificuldades de acessibilidade. Além disso, são inviáveis para a análise de ambientes históricos que já não existem. Nesse contexto, a Realidade Virtual (VR) tem sido apontada como uma solução potencial, embora a literatura ainda careça de métodos eficazes para sua integração rotineira no ensino da disciplina.

Esta tese propõe o desenvolvimento de uma plataforma imersiva e colaborativa, voltada à criação de aplicações de VR para o ensino de História da Arquitetura e do Urbanismo. Três questões de investigação orientaram a pesquisa: (1) Quais as contribuições das tecnologias imersivas para a área da arquitetura? (2) De que forma a VR pode contribuir para o ensino da História da Arquitetura e do Urbanismo? (3) Como integrar efetivamente a VR no cotidiano pedagógico dessa disciplina?

A metodologia envolveu revisão bibliográfica, definição de requisitos para a plataforma, modelagem de cenários, elaboração de um roteiro para uma aula piloto e programação das funcionalidades. A avaliação da plataforma incluiu um experimento com 20 estudantes, analisando a) absorção cognitiva, b) usabilidade, c) presença e d) incidência da “doença do simulador”. O Largo de Nazaré, em Belém (Brasil), foi selecionado como estudo de caso pela relevância histórica e pelas transformações urbanas e arquitetônicas ocorridas ao longo do tempo.

A avaliação do estudo piloto indicou uma média geral equivalente a 80% do valor máximo possível. A usabilidade foi considerada excelente e a absorção cognitiva apresentou métricas semelhantes. Conceitos como “presença social” e “doença do simulador” obtiveram valores menores, porém aceitáveis, acima de 74%. Recursos específicos, como “viagem no tempo” e “fusão temporal”, foram especialmente destacados pelos estudantes por favorecerem as

análises comparativas de diferentes períodos históricos, facilitando a compreensão das transformações espaciais ao longo das décadas.

Entre as principais contribuições desta pesquisa, destaca-se o desenvolvimento de uma plataforma imersiva e colaborativa, capaz de viabilizar visitas virtuais em grupo, em escala real, com avatares para comunicação e interação, com recursos voltados ao ensino da disciplina em tela. Além disso, foi proposta uma metodologia otimizada de modelagem 3D, baseada em fotografias planejadas, que permite reduzir drasticamente o número de polígonos sem comprometer o realismo do cenário. Esse procedimento ajuda a tornar a experiência viável em dispositivos autônomos com menor poder de processamento. Outro ponto foi a ferramenta “fusão temporal”, que se mostrou particularmente relevante, ao permitir sobrepor diferentes períodos em um único espaço virtual, ampliando a compreensão do processo evolutivo urbano e arquitetônico. Por fim, a possibilidade de revisitar diversas vezes os ambientes estudados, inclusive de maneira colaborativa, representa uma vantagem significativa em comparação às visitas de campo tradicionais.

Conclui-se que a implementação da plataforma em contextos acadêmicos apresenta potencial para aprimorar métodos de ensino na disciplina de História da Arquitetura e do Urbanismo, proporcionando um aprendizado mais engajado e eficiente.

Palavras-chave: Realidade Virtual, Ensino, História da Arquitetura, História do Urbanismo, Colaboração, Engajamento.

Abstract

The teaching of the History of Architecture and Urbanism is fundamental in the education of architects and urban planners. Traditionally, this broad field of study relies on resources such as photographs, blueprints, and physical models. Although indispensable, these tools do not always convey the three-dimensional scale and complexity of spaces, which can limit students' understanding. Furthermore, recent literature highlights the need to enhance student engagement, suggesting approaches that foster more in-depth and comprehensive analyses.

Field trips are one possible solution, yet they face significant constraints, including high costs, sanitary restrictions, and accessibility issues. Moreover, they are not feasible for analyzing historical environments that no longer exist. In this context, Virtual Reality (VR) has been identified as a potential solution, even though the literature still lacks effective methods for its routine integration into the teaching of this subject.

This thesis proposes the development of an immersive and collaborative platform designed to create VR applications for teaching the History of Architecture and Urbanism. Three research questions guided this study: (1) What are the contributions of immersive technologies to the field of architecture? (2) How can VR contribute to the teaching of the History of Architecture and Urbanism? (3) How can VR be effectively integrated into the pedagogical routine of this discipline?

The methodology involved a literature review, definition of platform requirements, scenario modeling, the creation of a pilot lesson plan, and the programming of platform features. The evaluation of the platform included an experiment with 20 students, analyzing (a) cognitive absorption, (b) usability, (c) presence, and (d) incidence of "simulator sickness." Largo de Nazaré in Belém (Brazil) was chosen as the case study due to its historical significance and the urban and architectural transformations it has undergone over time.

The pilot study evaluation indicated an overall average equivalent to 80% of the maximum possible score. Usability was considered excellent, and cognitive absorption showed similar metrics. Concepts such as "social presence" and "cyber sickness" received slightly lower, yet acceptable, values, above 74%. Specific features like "time travel" and "temporal fusion" were

particularly highlighted by students for facilitating comparative analyses of different historical periods and improving the understanding of spatial transformations over the decades.

Among the main contributions of this research is the development of an immersive and collaborative platform capable of enabling group virtual visits at real scale, with avatars for communication and interaction, specifically tailored to teaching this subject. In addition, an optimized 3D modeling methodology was proposed, using rectified photographs that drastically reduce the number of polygons without compromising the realism of the scenario. This approach helps make the experience viable on *standalone* devices with lower processing power. Another significant contribution is the “temporal fusion” tool, which proved especially valuable by allowing the overlay of different periods in a single virtual space, thus expanding the understanding of urban and architectural evolutionary processes. Finally, the ability to revisit the studied environments multiple times, including collaboratively, offers a significant advantage compared to traditional field trips.

It can be concluded that implementing the platform in academic contexts has the potential to improve teaching methods in the History of Architecture and Urbanism, resulting in a more engaging and efficient learning experience.

Keywords: Virtual Reality, Teaching, History of Architecture, History of Urbanism, Collaboration, Engagement.

Lista de Figuras

Figura 1 - Experiência das medidas. Ao fundo a linha vermelha questiona o aluno acerca das da dimensão da prateleira. Imagem capturada durante uma das experiências.	24
Figura 2 - Demonstração da interação com os objetos da cena.	24
Figura 3 - Alunos participando da experiência da capela.....	25
Figura 4 - imagem interna da capela, capturada durante um dos experimentos.	25
Figura 5– Equipamento de estereoscopia proposto por Charles Wheatstone na primeira metade do séc. XIX.	54
Figura 6 – Desenho do “Holmes Stereoscope”, publicado na segunda metade do Séc. XIX.....	54
Figura 7 – “Metaquest”, um HDM de Realidade Virtual lançado em maio de 2019.....	54
Figura 8 -Frequência de uso dos recursos imersivos, em acordo com as publicações e com as aplicações profissionais investigadas.	99
Figura 9 - Matriz comparativa entre HMDs disponíveis no mercado e critérios vantajosos para uso em sala de aula.	105
Figura 10 - Igreja dos Jesuítas, situada no Morro do Castelo, Rio de Janeiro.	114
Figura 11 - Sequência de imagens demonstrando o processo proposto, onde a textura é primeiramente aplicada e em seguida, sobre ela, inicia-se a modelagem.	114
Figura 12 – Basílica de Nazaré, sequência de imagens obtidas através do modelo fornecido por Araújo.	115
Figura 13 - Basílica de Nazaré, com cerca de 380 mil faces. Detalhe da sacada, produzido por Araújo.	116
Figura 14 - Basílica de Nazaré, remodelada, com cerca de 18 mil faces. Detalhe da sacada. Retopologia realizada pelo autor.....	116
Figura 15 - Exemplo de textura planificada, extraída de uma fotografia.	117
Figura 16 - Basílica de Nazaré, com cerca de 380 mil faces. Vista superior, produzido por Araújo.	117
Figura 17 - Basílica de Nazaré, remodelada, com cerca de 18 mil faces. Vista superior. Retopologia realizada pelo autor.	117
Figura 18 – Basílica de Nazaré, versão com retopologia – 18 mil faces.	118
Figura 19 – Basílica de Nazaré, fotografia real.	118
Figura 20 - Modelagem original de uma edificação do Largo de Nazaré.	118
Figura 21 - Modelagem da mesma edificação, com retopologia.	118
Figura 22 – Textura da fachada, renderizada a partir da modelagem original.....	118

Figura 23 – Edificação remodelada, inserida no cenário de 1950. Retopologia realizada a partir da renderização da fachada da maquete original.	119
Figura 24 - Cenário de 1910, após a retopologia.	119
Figura 25 - Cenário de 1950, após a retopologia.	119
Figura 26 - Cenário de 2020, após a retopologia.	119
Figura 27 -Sala de treinamento - Vista geral. À direita os quadros para auxílio às explicações sobre o tema da aula e ao fundo a única porta da sala.	122
Figura 28 - Quadros flutuantes destinados a simular os slides frequentemente utilizados nas aulas.	122
Figura 29 - Teclado virtual para inserção do nome ou apelido.	122
Figura 30 - Dispositivo de reflexo para observação do avatar, acompanhado de um quadro adjacente para seleção da cor representativa.	122
Figura 31 - Quadro 01, exibido na primeira parte da aula, com o intuito de situar o aluno acerca da relevância cultural e religiosa do Largo de Nazaré.	123
Figura 32 - Quadro 04 - Demonstração de que, além do atual Centro Histórico (hoje Bairro da Campina), apenas a Avenida Nazaré e o Largo de Nazaré resistiram ao crescimento urbano da cidade, ocorrido nos últimos séculos.	124
Figura 33 - Mapa de 1881, adaptado pelo autor, exibindo a localização da primeira e segunda igreja.	125
Figura 34 – Quadro 6, no qual as imagens ilustram as três igrejas construídas em diferentes épocas no Largo de Nazaré, refletindo o momento econômico, político e religioso da cidade em diferentes momentos.	125
Figura 35 – Quadro 7, exibindo o Pavilhão Vesta, no Largo de Nazaré, construído no final do Séc. XIX, e o Templo à Deus Vesta, que existiu no Foro de Roma até o Séc. IV d.C. Especula-se que o pavilhão Vesta tenha sido inspirado no Templo à Deusa Vesta em razão no nome e das semelhanças arquitetônicas entre ambos.	126
Figura 36 - Porta da sala de treinamento, entreaberta, exibindo ao fundo o Largo de Nazaré de 1910.	127
Figura 37 - Vista da praça, obtida por quem está passando pela porta de saída da sala de treinamento.	128
Figura 38 - Terceiro ponto de encontro, dedicado a observar a relação do Pavilhão Vesta com o entorno.	128
Figura 39 - Mapa dos pontos de encontro da visita referente à década de 1910.	128
Figura 40 - Mapa dos pontos de encontro da visita referente à década de 1950.	129

Figura 41 – Vista obtida a partir do quinto ponto de encontro. Imagem capturada antes da realização da viagem no tempo - cenário de 1910.	130
Figura 42 - Vista obtida a partir do quinto ponto de encontro. Imagem capturada depois da realização da viagem no tempo – cenário de 1950.....	130
Figura 43 – Super Clipper de Nazaré, projeto desenvolvido em 1949 e executado posteriormente.	130
Figura 44 - Ônibus-zepelim, abastecendo, próximo à feira do Ver-o-Peso, em 1957.	130
Figura 45 - Vista aérea do Clipper de Nazaré.	130
Figura 46 - Vista interna do Clipper de Nazaré.....	130
Figura 47 - Vista interna do Pavilhão Vesta.	131
Figura 48 - Vista externa do Pavilhão Vesta.	131
Figura 49 - Pavilhão Vesta, detalhe do capitel.....	131
Figura 50 -Imagem do Pavilhão Vesta, ocupado por diversas pessoas, por ocasião da comemoração do juramento à bandeira pela primeira turma de escoteiros do Instituto Lauro Sodré, em 1924.	132
Figura 51 - Largo de Nazaré (anteriormente denominada praça Justo Chermont).....	132
Figura 52 - Imagem do cenário virtualizado, do mesmo ponto de captura da Figura 51.	132
Figura 53 - Igreja de Nossa Senhora de Nazaré do Desterro, 1910.....	133
Figura 54 - Basílica de Nazaré, 1950.....	133
Figura 55 - Escadaria e pátio de entrada da Basílica de Nazaré.	133
Figura 56 - Detalhe do pátio de entrada e da porta principal, discutida na aula como o limiar entre o mundo profano e o mundo sagrado.....	133
Figura 57 - Mapa dos pontos de encontro referentes à visita na década de 2020. Fonte: o autor, 2023.....	134
Figura 58 -Pavilhão Vesta, maquete relativa à década de 1950.	135
Figura 59 - Santuário de Nazaré, maquete relativa aos dias atuais.	135
Figura 60 – Santuário de Nazaré, dias atuais.	136
Figura 61 - Clipper, maquete relativa à década de 1950.	136
Figura 62 - Local do antigo Clipper, da imagem ao lado. Atual ponto de ônibus do Largo de Nazaré.	136
Figura 63 - Décimo quinto ponto de encontro, comparativo entre as épocas.....	137
Figura 64 - Vista da maquete em escala reduzida.....	138
Figura 65 - Diagrama de camadas relativas à produção dos recursos imersivos.	139
Figura 66 - Acionamento do direcional, com o modo teletransporte habilitado.....	141

Figura 67 - Acionamento do direcional, com o modo voo habilitado.	141
Figura 68 – Fusão cronológica, os anos 1950 e os dias atuais.	142
Figura 69 - Imagem da câmera, posicionada sobre a mão do usuário, representada pelo controle branco.....	144
Figura 70 - Demonstração do uso da ferramenta “interação por garra”, onde o usuário segura uma taça.....	144
Figura 71 - Mostra o usuário, na escala 1:300, realizando o teletransporte para dentro da praça, já na escala 1:1.	145
Figura 72 - Mostra o usuário após o teletransporte, já na escala 1:1.	145
Figura 73 - Demonstração do uso da caneta 3D para fazer anotações sobre um mapa histórico.	146
Figura 74 - Demonstração da caneta 3D para fazer um rascunho tridimensional, no espaço..	146
Figura 75 - Exemplo de dois usuários interagindo, em tempo real, sobre a maquete do cenário, na escala 1:300.....	147
Figura 76 – Imagem original do Avatar utilizado na experiência, produzido por MIX AND JAM e disponibilizado gratuitamente.	147
Figura 77 - Esquema gráfico demonstrando a integração entre os itens avaliativos do questionário.	158
Figura 78 - Alunos e professor realizando a experiência em sala de aula.....	163
Figura 79 - Alunos imersos no ambiente virtual, assistindo à aula.	164
Figura 80 - Alunos em frente ao dispositivo de reflexo (espelho), na sala de controle.	164
Figura 81- Média dos resultados para cada pergunta sobre o estado de absorção cognitiva. .	165
Figura 82 - Média dos resultados para cada pergunta sobre a usabilidade.....	166
Figura 83 - Média dos resultados para cada pergunta sobre a presença.....	167
Figura 84 - Média dos resultados para cada pergunta sobre o conceito doença do simulador.	168
Figura 85 – Média dos resultados de cada conceito, em termos percentuais.	171
Figura 86 - Média dos resultados de cada conceito, em formato de gráfico de radar.	171
Figura 87 - Ilustração das médias obtidas para cada conceito investigado, em acordo com os 5 grupos.....	172
Figura 88 - Ilustração das médias obtidas para cada um dos 5 grupos de alunos, em acordo com os conceitos investigados.	172
Figura 89 - Painel do professor, contendo ferramentas exclusivas, como ‘viagem no tempo’, agrupar e ‘seção’.....	184
Figura 90 - Avatar de corpo inteiro em frente ao espelho da sala de controle.....	184

Figura 91 - Avatar sendo preparado para integrar o leque de escolha por parte dos alunos... 184

Lista de Tabelas

<i>Tabela 1 - Classificação dos artigos selecionados</i>	76
Tabela 2 - Matriz de interrelações - frequência de recursos imersivos em trabalhos científicos de história da arquitetura e urbanismo e em aplicações profissionais de realidade virtual, com versões educacionais.....	98
Tabela 3 - Lista de requisitos desejáveis.....	100
Tabela 4 - Critérios para escolha para o tipo de equipamento de imersão virtual.	105
Tabela 5 - Instrumento utilizado para avaliar os recursos propostos. Estas questões, juntamente com as perguntas subjetivas foram aplicadas aos alunos através do Google Forms.	158

Lista de Siglas

- VR - *Virtual Reality* - Realidade Virtual, em tradução direta
- 3DoF - *3 Degree of Freedom* – 3 Graus de Liberdade, em tradução direta
- 6DoF - *6 Degree of Freedom* – 6 Graus de Liberdade, em tradução direta
- HMD - *Head Mounted Display* – Óculos de realidade virtual, em tradução interpretativa
- HCI - *Human Computer Interaction* - Interação Humano-Computador, em tradução direta
- UX - *User Xperience* – Experiência do usuário, em tradução direta
- IVEs - *Immersive Virtual Environments* - Ambientes Virtuais Imersivos, em tradução direta
- CAD - *Computer-Aided Design* – Desenho Assistido por Computador, em tradução direta
- VE - *Virtual environment* – Ambiente Virtual, em tradução direta
- SUS - *System Usability Scale* – Escala de Usabilidade do Sistema, em tradução direta
- C# - *C Sharp* – Nome de uma linguagem de computador

Sumário

Cap. 1. INTRODUÇÃO	22
1.1. Contexto	22
1.2. Motivação e histórico da pesquisa.....	23
1.3. Justificação.....	27
1.4. Questões de investigação	30
1.5. Objetivos.....	31
1.5.1. Geral:	31
1.5.2. Específicos	31
1.6. Estrutura do documento	31
1.7. Referências	32
Cap. 2. REFERENCIAL TEÓRICO	35
2.1. Contexto	35
2.2. Seção 1: Realidade Virtual – Histórico e conceitos básicos	36
2.2.1. Resumo	36
2.2.2. Introdução	36
2.2.3. Considerações iniciais sobre realidade virtual e presença	38
2.2.4. O conceito de telepresença e sua relação com presença	39
2.2.5. O conceito de Presença	40
2.2.1. Os níveis de Presença	41
2.2.2. A Imersão:.....	44
2.2.3. O Envolvimento	46
2.2.4. Considerações	46
2.2.5. Referências Bibliográficas.....	47
2.3. Seção 2: Arquitetura, Realidade Virtual e Experiência do Usuário.....	51
2.3.1. Resumo	51
2.3.2. Introdução	51
2.3.3. Métodos	52
2.3.4. Realidade Virtual - um breve histórico	53
2.3.5. Conceitos básicos de realidade virtual	53
2.3.6. VR no Ensino de Arquitetura	58
2.3.7. O processo criativo dentro da RV	60
2.3.8. VR e Patrimônio Histórico Arquitetônico	63

2.3.9.	Considerações	65
2.3.10.	Referências	66
2.4.	Seção 3: Realidade virtual no ensino de história da arquitetura e urbanismo: uma revisão de literatura.....	71
2.4.1.	Resumo	71
2.4.2.	Introdução	71
2.4.3.	Problema de pesquisa:.....	73
2.4.4.	Objetivos.....	74
2.4.5.	Método	74
2.4.6.	Resultados:	75
2.4.7.	Trabalhos experimentais.....	78
2.4.8.	Trabalhos de revisão literária.....	80
2.4.9.	Fluxos de trabalho.....	81
2.4.10.	Protótipos	83
2.4.11.	Limitações	84
2.4.12.	Considerações.....	85
2.4.13.	Referências	85
Cap. 3.	UMA PLATAFORMA IMERSIVA E COLABORATIVA DESTINADA AO ENSINO DE HISTÓRIA DA ARQUITETURA E URBANISMO	89
3.1.	Introdução	89
3.1.1.	Acerca do uso do termo Plataforma Imersiva.....	90
3.1.2.	Breve histórico de aplicações em realidade virtual na arquitetura	91
3.1.3.	Sobre pesquisas recentes que propuseram aplicações imersivas no campo do ensino de história da arquitetura.....	92
3.1.4.	Aplicações disponíveis no mercado profissional.....	93
3.2.	Métodos	94
3.3.	Resultados e discussões:	96
3.3.1.	Etapa 01 – Definição dos recursos desejáveis	96
3.3.2.	Etapa 02 - Escolha do hardware e software	104
3.3.3.	Etapa 03 - Escolha do ambiente histórico	108
3.3.4.	Etapa 04 - Modelagem do cenário	109
3.3.5.	Etapa 05 - Roteiro da aula para o teste piloto.....	120
3.3.6.	Etapa 06 – Desenvolvimento da plataforma	139
3.4.	Considerações	148
3.5.	Referências	148
Cap. 4.	AVALIAÇÃO DE UMA AULA QUE UTILIZA OS RECURSOS IMERSIVOS PROPOSTOS	153
4.1.	Introdução	153
4.1.1.	Absorção cognitiva, engajamento e estado de fluxo	154

4.1.2.	Escala de usabilidade.....	155
4.1.3.	Escala de presença	156
4.1.4.	Escala para doença do simulador	157
4.2.	Métodos:	157
4.2.1.	Etapa 1: Instrumento de avaliação.....	157
4.2.2.	Etapa 2: Seleção dos Participantes.....	161
4.2.3.	Etapa 3: Preparação dos Materiais.....	161
4.2.4.	Etapa 4: Procedimentos Iniciais.....	162
4.2.5.	Etapa 5: Execução do Experimento	163
4.3.	Resultados e discussões	164
4.3.1.	Avaliação da absorção cognitiva	164
4.3.2.	Avaliação da usabilidade	165
4.3.3.	Avaliação da presença	167
4.3.4.	Avaliação da doença do simulador.....	168
4.3.5.	Avaliações subjetivas e comentários dos alunos.....	169
4.3.6.	Análise cruzada dos resultados	171
4.4.	Considerações	172
4.5.	Referências	173
Cap. 5.	CONCLUSÕES.....	176
5.1.	Conclusões e implicações	176
5.2.	Limitações da pesquisa.....	182
5.3.	Direções para estudos futuros	183
5.4.	Referências	185

Cap. 1. INTRODUÇÃO

Este capítulo inicial apresenta o tema e os principais aspectos que nortearam a presente pesquisa. Aqui se discute a contextualização e a motivação para o estudo, esclarecendo a conexão do autor com o assunto e as origens do trabalho. Em seguida, a justificativa é abordada enfatizando os desafios centrais que deram forma à pesquisa. Mais adiante, elucidam-se as questões de investigação e os objetivos do estudo. O capítulo encerra com uma descrição da estrutura da tese, que está organizada em cinco capítulos.

1.1.Contexto

Manter um elevado nível de engajamento dos alunos durante uma aula é uma preocupação relevante no âmbito da docência. Alguns autores, como Machado (2017) e Grossi (2014), têm enfatizado a importância dos professores se aproximarem da realidade tecnológica das novas gerações de alunos, cujo contato com ferramentas digitais é cada vez mais constante e frequente.

Dentro desse contexto, as visitas de campo são consideradas de grande valor para a aprendizagem (CHENG; TSAI, 2019). No âmbito do ensino de arquitetura e urbanismo, elas são normalmente vistas como mais inspiradoras do que aulas ministradas apenas por meio de slides na sala de aula (HEIN; VAN DOOREN, 2020). No entanto, diversos fatores limitam significativamente esse método de ensino, incluindo aspectos econômicos, de segurança, sanitários, de sustentabilidade, entre outros.

Isso é especialmente verdadeiro no caso de disciplinas de grande abrangência geográfica, como a história da arquitetura e urbanismo, que engloba obras erguidas em diversas partes do mundo, o que demandaria viagens não apenas para outras cidades, mas para outros países. Neste sentido, as instituições de ensino geralmente realizam um número bastante restrito de visitas técnicas com as turmas.

A história da arquitetura e urbanismo é considerada uma das disciplinas fundamentais no curso de arquitetura e é obrigatória na maior parte das instituições onde a profissão é ensinada (HEIN; VAN DOOREN, 2020). Ela visa, entre outros objetivos, estudar e interpretar as formas, finalidades e evoluções dos espaços construídos, levando em conta o contexto social, econômico, tecnológico e cultural de cada época e local. Seu conteúdo abrange uma vasta gama de assuntos teóricos, desde a antiguidade até os dias atuais, e engloba diferentes partes do planeta. Entretanto, essa grande quantidade de material didático pode ser desafiadora e potencialmente cansativa para a

aprendizagem (BAHADURE; WAHURWAGH; BAHADURE, 2013; GE, 2020; GHIDA, 2020), exigindo dos professores um esforço considerável para manter os alunos atentos e envolvidos no assunto ministrado.

Nestas aulas, é comum que os professores utilizem uma variedade de recursos visuais, como fotos, mapas, desenhos e até mesmo maquetes físicas para transmitir aos alunos o conteúdo tridimensional do local estudado (CHAN; MAVES; CRUZ-NEIRA, 1999; WENDELL; ALTIN, 2017), mas tais ferramentas, normalmente utilizadas no formato de aula expositiva, tem sido debatidas no meio acadêmico, especialmente quanto à necessidade de buscar novos meios de auxílio ao ensino, por exemplo Arimateia e Costa (2005), Maria and Azevedo (2005), Bahadure et al. (2013), Ghida (2020), entre outros.

Diante deste cenário, professores têm explorado o uso da Realidade Virtual (VR) como uma ferramenta pedagógica para repassar o conhecimento, aproveitando recursos tecnológicos que despertem o interesse dos alunos e os aproximem, ao máximo possível, de uma visita presencial ao local. Dessa forma, a VR tem o potencial de melhorar as possibilidades de aprendizado sobre os espaços estudados, enriquecendo a experiência educacional e contribuindo para um ensino mais engajador e com novas opções didáticas.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta um protótipo de uma plataforma virtual imersiva que combina um conjunto de ferramentas e procedimentos que visa facilitar o uso da realidade virtual nas aulas de história da arquitetura e urbanismo, buscando explorar as potencialidades da imersão para tal disciplina.

1.2. Motivação e histórico da pesquisa

Em 2016, o autor da presente pesquisa orientou um trabalho de conclusão de curso que, à época, era considerado pouco comum nas faculdades de arquitetura e urbanismo: um jogo de videogame, que no caso, estava pautado na reconstrução virtual de parte da cidade de Belém do Pará, 100 anos atrás. Nos três anos seguintes, na mesma instituição de ensino, o interesse nessa linha de pesquisa cresceu, formando-se um grupo informal composto por ex-alunos, estudantes concluintes e professores do curso. Esse grupo resultou em 7 reconstruções virtuais antigas, artigos publicados, palestras e entrevistas sobre realidade virtual, sobre reconstrução virtual de patrimônio histórico e sobre história da arquitetura e urbanismo. Em todos os casos, o engajamento dos participantes foi algo notável, mesmo entre aqueles alunos que, nos momentos anteriores do curso, não mostravam muito empenho.

Durante esse triênio, observou-se que as ferramentas imersivas despertavam um grande interesse nos discentes e que o campo da história da arquitetura, assim como outras disciplinas poderia se beneficiar significativamente dessa tecnologia, mas dado que este entendimento não era massificado, e que muitos professores não apenas não sabiam como utilizar, mas também se questionavam acerca da real eficiência, restou a este pesquisador a seguinte questão: como as tecnologias imersivas podem efetivamente contribuir no ensino de arquitetura e urbanismo?

Ao iniciar o doutorado, este autor propôs um protótipo de aplicativo de realidade virtual para investigar se os estudantes percebiam as dimensões métricas dos ambientes imersivos de maneira diferente daquelas apresentadas em uma tela de computador. Um teste preliminar com 12 alunos os dividiu em dois grupos: A e B. O primeiro (A) estimava medidas a partir da imersão total (usando óculos de realidade virtual), enquanto o segundo (B) realizava avaliações semelhantes em um computador convencional. O cenário escolhido foi um apartamento em um edifício residencial de múltiplos andares. Após alguns minutos de navegação e interação com o ambiente, o sistema questionava os alunos sobre medidas específicas, como a largura do quarto ou a altura do pé-direito. Embora os resultados preliminares indicassem maior precisão no grupo A (imersão), as respostas frequentemente pareciam estimativas aleatórias. Além disso, na época, outros trabalhos relacionados ao tema surgiram com abordagens semelhantes, a exemplo da pesquisa de Paes et al. (2017), levantando dúvidas sobre o caráter inovador da presente pesquisa. A Figura 1 e Figura 2 ilustram imagens do aplicativo desenvolvido para a experiência.

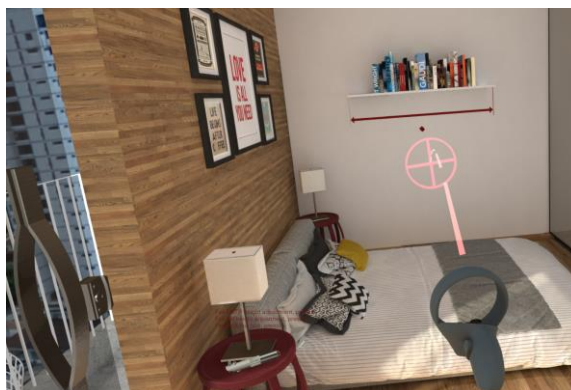


Figura 1 - Experiência das medidas. Ao fundo a linha vermelha questiona o aluno acerca das da dimensão da prateleira. Imagem capturada durante uma das experiências.

Fonte: o autor, 2018.



Figura 2 - Demonstração da interação com os objetos da cena.

Fonte: o autor, 2018.

Com isso, após vários diálogos e reflexões com a equipe de orientação acerca de como a realidade virtual poderia colaborar de forma eficaz no ensino de arquitetura e urbanismo e como o presente trabalho poderia possuir um componente inovador relacionado ao tema, optou-se por investigar as

vantagens e desvantagens de uma aula imersiva. Nesta aula, os estudantes visitariam virtualmente uma determinada edificação, e essa experiência seria então comparada com uma visita física dos alunos ao mesmo local. Ambas as abordagens teriam o objetivo comum de instruir os estudantes acerca de conceitos e características arquitetônicas específicas da edificação em questão.

Na época desta proposta, o autor lecionava a disciplina Projeto de Arquitetura, e o tema do semestre era arquitetura religiosa. Assim, foi escolhido um lugar pouco conhecido na cidade, mas com características relevantes para o ensino de conceitos arquitetônicos em espaços sagrados. Esse local foi integralmente modelado em 3D, possibilitando o desenvolvimento de um protótipo de aplicativo imersivo e coletivo (baseado em Windows). No ambiente virtual criado, os usuários, munidos de óculos de realidade virtual, podiam navegar e interagir por meio de avatares. Dessa forma, buscou-se, por parte do autor, aproximar ao máximo a dinâmica de uma aula no mundo físico, em formato de visita de campo.

Durante a experiência, o professor conduzia os alunos pelos diferentes ambientes, estabelecendo um diálogo contínuo e estimulando reflexões sobre as características arquitetônicas relevantes. Dessa forma, buscava-se aproximar a vivência virtual daquilo que seria uma visita presencial no mundo físico. A Figura 3 e Figura 4 apresentam registros da experiência.



*Figura 3 - Alunos participando da experiência da capela.
Fonte: o autor, 2019.*



*Figura 4 - imagem interna da capela, capturada durante um dos experimentos.
Fonte: o autor, 2019.*

Assim, o aplicativo e os instrumentos de medição foram concluídos. Testes preliminares foram conduzidos com oito alunos, sendo que quatro deles visitaram o local físico e os outros quatro o

virtual. No entanto, a pandemia interrompeu a possibilidade de realizar experimentos com um maior número de participantes, impedindo visitas ao ambiente físico por cerca de dois anos e, conseqüentemente, a realização das comparações pretendidas.

Além disso, ao analisar visitas de campo em ambientes físicos e virtuais, emergem questionamentos sobre a pertinência de uma comparação direta entre essas experiências. No mundo físico, caracterizado pela presença de pessoas, múltiplos detalhes sensoriais e interações espontâneas, o ensino se baseia em percepções concretas daquilo que se vê, sente e, por vezes, é possível até tocar ou manipular fisicamente. Já no ambiente virtual, embora haja limitações na riqueza sensorial, existem recursos únicos do meio digital, como sobrevoar edificações para analisar partes elevadas ou utilizar o teletransporte para uma locomoção mais ágil.

Essas diferenças, intrínsecas a cada tipo de ambiente (físico e virtual), modificam substancialmente o fluxo das aulas e, por consequência, colocam em dúvida a comparabilidade entre os dois formatos de visitas técnicas. Os resultados preliminares revelaram pontos fortes e fracos em ambos os casos, porém evidenciaram que cada formato apresenta características próprias, dificultando uma equivalência direta.

Diante da impossibilidade de conduzir visitas no mundo físico devido à pandemia e às dúvidas sobre a pertinência da comparação entre meios tão distintos, o pesquisador buscou um novo aprimoramento para a tese. Naquele momento, o fim do lockdown ainda era incerto, com oscilações entre a abertura e o fechamento de espaços públicos. Embora as aulas presenciais nas faculdades já fossem possíveis algum tempo após o pico da pandemia, visitas de grupo em ambientes fechados fora da instituição de ensino permaneciam inviáveis. Por esta razão, optou-se por desenvolver uma terceira vertente na pesquisa, que igualmente pudesse auxiliar na resposta à questão original: como as tecnologias imersivas podem efetivamente contribuir no ensino de arquitetura e urbanismo?

Considerando os avanços já realizados, os resultados preliminares e o material produzido até então, retomou-se a ideia de que a disciplina de história da arquitetura e urbanismo poderia ser uma das que mais se beneficiaria com as possibilidades oferecidas pela ferramenta imersiva, especialmente no contexto das visitas técnicas. Neste sentido, optou-se por investigar o quanto uma visita virtual, no contexto de uma aula da matéria em questão, poderia ser benéfica, e como uma ferramenta deveria se configurar para explorar as potencialidades de tal imersão com fins didáticos.

1.3. Justificação

Este tópico apresenta os cinco problemas que nortearam o desenvolvimento da pesquisa. Cada um, encadeado no seguinte, relaciona-se às dificuldades identificadas acerca do ensino da disciplina, bem como do uso das ferramentas imersivas no contexto em pauta.

Problema 01: Aulas baseadas principalmente em fotografias e imagens podem resultar em uma leitura espacial incompleta por parte dos alunos.

Nas aulas de história da arquitetura e urbanismo, a utilização de fotografias, vídeos e esquemas gráficos tem sido uma prática comum há décadas (CHAN; MAVES; CRUZ-NEIRA, 1999; CARDOSO et al., 2010; WENDELL; ALTIN, 2017; GE, 2020). Embora essas ferramentas sejam de grande auxílio no processo de aprendizagem, ocasionalmente deixam lacunas, dificultando a compreensão por parte dos alunos. Isso ocorre porque, de modo geral, os estudantes visualizam esses espaços apenas através dos ângulos escolhidos por quem os capturou ou representou, deixando o resto do lugar, ou seja, a área não visível, dependente do exercício de abstração individual (CHAN; MAVES; CRUZ-NEIRA, 1999; WENDELL; ALTIN, 2017).

Diante dessa limitação, surge o primeiro problema desta pesquisa: a possibilidade de incompletude na leitura do espaço. Embora uma aula expositiva possa ser rica e envolvente, as ferramentas utilizadas para apresentar as imagens dos locais, como fotografias e plantas, são restritas aos ângulos e trechos selecionados pelo educador (CHAN; MAVES; CRUZ-NEIRA, 1999; GHIDA, 2020). Assim, por mais que o exercício de abstração seja positivo e desejável para os estudantes (TAVSAN; SONMEZ, 2012), a incompreensão desses espaços pode resultar em mensagens inadequadas, especialmente para os alunos iniciantes.

Um exemplo prático disso é mencionado no trabalho de Ghida (2020), no qual o professor relata as dificuldades para explicar aos alunos a configuração espacial da cúpula do Panteão. Apesar dos slides explicativos, seria necessária uma variedade de imagens de diferentes ângulos para mostrar a composição do volume, o que poderia tornar a aula cansativa.

Essa problemática já foi discutida por Bruno Zevi há mais de meio século. Ele argumentava que aprender arquitetura por meio de fotografias reduz a complexidade e a riqueza do ambiente construído, já que imagens bidimensionais não conseguem capturar a essência tridimensional e a experiência espacial dos projetos arquitetônicos. Para Zevi, analisar edifícios por meio de imagens planas ou fotografias é um exercício superficial que dificulta a percepção da arquitetura. Ele defendia que, para apreciar e compreender um projeto arquitetônico, é preciso visitá-lo, caminhar

por seus ambientes internos, decidir para onde olhar e quais caminhos seguir, perceber o espaço a cada passo dado e observar aspectos fundamentais, como a escala e a incidência da luz nas superfícies (ZEVI, 1996).

Portanto, trata-se de uma questão que foi levantada há várias décadas, mas é possível que, com as tecnologias mais recentes, tal problema seja mitigado.

Problema 02: As limitações para realização das visitas de campo.

Muitas instituições de ensino em arquitetura incluem visitas de campo em seus currículos com o objetivo de proporcionar um aprendizado mais abrangente, interativo e, conseqüentemente, mais eficaz. No entanto, essa abordagem enfrenta barreiras significativas, como custos elevados, restrições de acesso e medidas sanitárias (CHAN; MAVES; CRUZ-NEIRA, 1999; FARIAS, 2013). Apesar de tais visitas serem valorizadas e desejadas por muitos alunos e professores, suas limitações frequentemente restringem o escopo geográfico das experiências, tornando raras as oportunidades para visitar outras cidades e, ainda mais escassamente, outros países.

Além disso, ao contrário do que acontece com as obras de arte (que podem ser transportadas de uma cidade para outra), as edificações são imóveis, o que resulta em uma grande limitação na prática do ensino (ZEVI, 1996). Ou seja, considerando que a história da arquitetura e urbanismo possui larga abrangência geográfica, levar os alunos a visitar os diversos locais de interesse didático ao redor do mundo seria certamente benéfico para o aprendizado, mas é inviável na prática devido aos diversos fatores já mencionados, a exemplo das questões financeiras, limitações de tempo e outros (CHENG; TSAI, 2019).

A questão exposta acima destaca a necessidade de se explorar alternativas pedagógicas que possam mitigar os obstáculos descritos e proporcionar experiências de aprendizado eficazes, envolventes e viáveis.

Problema 03: A necessidade de melhorar o engajamento dos alunos de arquitetura em aulas de extenso conteúdo teórico.

Alunos das áreas de design, como arquitetura e urbanismo, tendem a se engajar mais efetivamente com conteúdo visual em detrimento de textos escritos, conforme Hein e Dooren (2020). Para o ensino de história da arquitetura, eles sugerem diversificar os métodos pedagógicos, acrescentando, entre outros, as visitas de campo, como uma maneira de melhorar o engajamento dos alunos.

Lemos (1996), professor de história da arquitetura brasileira, mencionou a elevada dificuldade em fazer com que seus alunos tenham uma boa compreensão dos assuntos ministrados sobre história da arquitetura. Mais recentemente, Bottura (2018) relatou que as aulas expositivas e focadas principalmente em conteúdo teórico podem não ser adequadas para essa nova geração de estudantes, sublinhando algumas características como o fato de os alunos frequentemente estarem conectados a algum dispositivo digital.

Pesquisas como as de Ghida (2020), Arimateia e Costa (2005) e Gawad (2014) corroboram essa afirmação, evidenciando que os professores da matéria em pauta muitas vezes precisam fazer um esforço adicional para tornar suas aulas interessantes, especialmente diante do extenso conteúdo teórico envolvido na disciplina.

Portanto, o problema em questão trata da necessidade de explorar estratégias que possam potencializar o engajamento dos alunos. Além disso, a familiaridade dos estudantes das gerações atuais com as tecnologias digitais pode ser um facilitador na inserção de novas ferramentas didáticas com potencial para melhorar o engajamento em aulas.

Problema 04: O ensino sobre lugares antigos, cujos registros são escassos e fragmentados.

Este quarto problema de pesquisa aborda os desafios de ensinar sobre lugares que passaram por mudanças drásticas ao longo do tempo, deixando poucos ou fragmentados registros históricos, como algumas fotografias, gravuras e/ou mapas (VILAS BOAS, 2018; GOMES et al., 2020, 2021). Nessas situações, as visitas de campo se mostram pouco ou nada relevantes, pois as alterações ao longo do tempo, em muitos casos, já modificaram consideravelmente ou até mesmo apagaram elementos cruciais para a compreensão de períodos anteriores.

Neste sentido, esse problema refere-se à importância de se buscar formas alternativas ou complementares de ensino sobre esses locais históricos, a fim de obter uma visão mais precisa, abrangente e menos fragmentada.

Problema 05: A falta de ferramentas especializadas destinadas a explorar o potencial da imersão e da colaboração no contexto do ensino da história da arquitetura e urbanismo.

Embora tecnologias imersivas, como a realidade virtual, tenham se popularizado e mostrem potencial significativo no ensino da história da arquitetura, sua aplicação na sala de aula não é consolidada e muitos professores da disciplina não estão adequadamente familiarizados com essas ferramentas (OZACAR; ORTAKCI; KUCUKKARA, 2023). Neste sentido, tanto a literatura quanto o setor comercial, ainda não dispõem de ferramentas desenvolvidas especificamente a este fim. Essa

carência contribui para a incerteza por parte dos professores sobre as vantagens reais, as dificuldades de uso e os passos metodológicos para a incorporação eficaz dessas tecnologias ao dia a dia da sala de aula.

Dessa forma, o quinto e último problema de pesquisa refere-se à falta de ferramentas ou procedimentos que explorem as potencialidades da imersão no dia a dia da sala de aula, no contexto do ensino de história da arquitetura e urbanismo.

Dado este cenário, pesquisas recentes envolvendo experimentações e protótipos têm apontado a realidade virtual como uma ferramenta de elevado potencial para mitigar os problemas mencionados (KLERK et al., 2019; IBRAHIM; AL-RABABAH; BANI BAKER, 2021; PUGGIONI et al., 2021; GOMES et al., 2022a; OZACAR; ORTAKCI; KUCUKKARA, 2023).

Diante do exposto, a realidade virtual mostra-se uma ferramenta capaz de oferecer aos estudantes e professores a possibilidade de imergir em ambientes virtuais interativos, onde movimentos e reações humanas podem ser replicados de forma instantânea por meio de avatares. Mais do que simular experiências do mundo físico, como visitas de campo, a VR tem se mostrado, na literatura, como uma ferramenta que permite expandir o leque de possibilidades exploratórias, através de funcionalidades próprias do mundo virtual, como a habilidade de voar, de se teletransportar, de viajar no tempo, entre outros (SILCOCK et al., 2018; VILAS BOAS, 2018; SOUZA, 2020).

1.4. Questões de investigação

Com base na problemática descrita acima, três questões de investigação nortearam o desenvolvimento desta pesquisa, a primeira é destinada a investigar, de forma abrangente, as contribuições já realizadas com as tecnologias imersivas no campo da arquitetura. A segunda aprofunda o conteúdo, questionando especificamente acerca das experiências já realizadas relacionadas ao ensino de história da arquitetura e urbanismo. A terceira e última refere-se a forma de utilizar as tecnologias imersivas de modo eficaz no ensino em pauta.

- a) Como a realidade virtual tem contribuído para a arquitetura?
- b) Como a realidade virtual tem contribuído para o ensino de história da arquitetura e urbanismo?
- c) Como a realidade virtual pode ser usada de forma eficaz nas aulas da disciplina de história da arquitetura e urbanismo, contribuindo para o engajamento dos alunos?

1.5. Objetivos

1.5.1. Geral:

O objetivo geral deste trabalho é investigar e desenvolver uma plataforma imersiva e colaborativa para a criação de aplicações de realidade virtual direcionadas ao ensino de história da arquitetura.

1.5.2. Específicos

- Investigar o uso de tecnologias imersivas no campo arquitetônico, verificando sua aplicação na área do ensino, pesquisa e no mercado;
- Pesquisar o emprego de tecnologias imersivas no ensino da história da arquitetura e urbanismo, destacando as contribuições das experiências na disciplina em questão;
- Propor uma lista de recursos didáticos e imersivos voltados a potencializar o uso da realidade virtual no ensino da história da arquitetura e urbanismo;
- Desenvolver e implementar uma plataforma imersiva e colaborativa, com recursos adaptáveis e replicáveis, destinados à criação de aplicações de realidade virtual para aulas de história da arquitetura e do urbanismo;
- Avaliar, no contexto de uma aula, uma aplicação imersiva baseada nos recursos desenvolvidos, a fim de coletar as reações dos alunos sobre a eficácia e a utilidade desses recursos.
- Examinar a absorção cognitiva dos alunos ao utilizarem a aplicação de realidade virtual, a fim de avaliar o impacto desta tecnologia no engajamento dos estudantes.

1.6. Estrutura do documento

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. O capítulo inicial, presente, dedica-se à introdução e esclarecimentos sobre os elementos norteadores da pesquisa. O segundo capítulo envolve a revisão literária, iniciando-se com a história e os conceitos ligados ao tema da Realidade Virtual (VR). Posteriormente, aborda-se a associação da VR com a arquitetura e urbanismo e, finalmente, examinam-se as pesquisas sobre imersão virtual na disciplina de história da arquitetura.

O terceiro capítulo concentra-se no desenvolvimento da plataforma imersiva e colaborativa, detalhando os seus requisitos, a escolha do local para a aula piloto, a modelagem do cenário, o roteiro do experimento e a programação dos recursos da plataforma.

O quarto capítulo é voltado à avaliação da aula piloto, que empregou os recursos imersivos desenvolvidos. Para esta fase, elaborou-se um instrumento de análise que engloba questões já validadas em pesquisas anteriores, avaliando a absorção cognitiva, a usabilidade, a presença e a doença do simulador, além de aspectos demográficos e opiniões subjetivas dos alunos.

Por último, o quinto capítulo compila os dados da pesquisa, sintetizando os resultados, refletindo sobre os objetivos alcançados e as limitações observadas. Também são indicadas possíveis direções para futuras pesquisas.

1.7.Referências

ARIMATEIA, E. W. C.; COSTA, G. S. Comentários acerca da aula expositiva no departamento de arquitetura. *Projetar 2005: II Seminário sobre Ensino e Projeto de Arquitetura e Urbanismo.*, n. 1, p. 1–7, 2005.

BAHADURE, S.; WAHURWAGH, A.; BAHADURE, P. Role of interpretative treatment method in teaching-learning history of architecture. *Proceedings - 2013 IEEE 5th International Conference on Technology for Education, T4E 2013*, n. December, p. 170–173, 2013.

BOTTURA, R. de A. Aprendizagem por equipe (TBL): estratégia em aulas de história da arquitetura. *Projetar*, v. 3, n. 3, p. 34–46, 2018.

CARDOSO, D. R. et al. Imagens espaço-imagens objeto: o recurso da imersão nos processos de ensino-aprendizagem em arquitetura. p. 85–87, 2010.

CHAN, C.-S.; MAVES, J.; CRUZ-NEIRA, C. An Electronic Library for Teaching Architectural History. *Proceedings of the 4th Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)*, p. 335–344, 1999. Disponível em: <<http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/69f5>>.

CHENG, K. H.; TSAI, C. C. A case study of immersive virtual field trips in an elementary classroom: Students' learning experience and teacher-student interaction behaviors. *Computers and Education*, v. 140, n. December 2018, p. 103600, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103600>>.

FARIAS, T. C. De. As viagens de estudo como prática educativa no curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo. 2013.

GAWAD, I. O. A. History of architecture education: potentials and limitations for a better design problem solving. In: 6th International Conference on Education and New Learning Technologies, Barcelona, Spain. *Anais... Barcelona, Spain: IATED*, 2014. Disponível em: <<https://library.iated.org/view/GAWAD2014HIS>>.

GE, Y. Teaching Research on “Experience” Architecture History with VR Technology. *Frontier of Higher Education*, v. 1, n. 1, p. 5–9, 2020.

GHIDA, D. Ben. Augmented Reality and Virtual Reality: A 360° Immersion into Western History of Architecture. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, v. 8, n. 9, p. 6051–6055, 2020.

GOMES, E. B. de O. et al. Digital reconstruction of historical heritage - a quantitative methodology for measuring the reliability of Largo de Nazaré iconographic data between the years 1900 and 1910. In: *Blucher Design Proceedings*, São Paulo. *Anais... São Paulo: Editora Blucher*, dez. 2020. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/35356>>.

GOMES, E. B. de O. et al. Mapa de confiabilidade: um método quantitativo para análise do grau de

confiança nas reconstruções digitais de patrimônios históricos demolidos ou fortemente modificados. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 17, n. 1, p. 219–237, 12 nov. 2021. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/183924>>.

GOMES, E. B. de O. et al. A workflow for multi-user VR application within the physical classrooms of architecture and urbanism courses. *Ergonomics In Design*, v. 47, n. January, 2022.

GROSSI, M. G. R. et al. A utilização das tecnologias digitais de informação e comunicação nas redes sociais pelos universitários brasileiros. *Texto Digital*, v. 10, n. 1, p. 4, 7 jul. 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/textodigital/article/view/1807-9288.2014v10n1p4>>.

HEIN, C.; VAN DOOREN, E. Teaching history for design at TU Delft: exploring types of student learning and perceived relevance of history for the architecture profession. *International Journal of Technology and Design Education*, v. 30, n. 5, p. 849–865, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10798-019-09533-5>>.

IBRAHIM, A.; AL-RABABAH, A. I.; BANI BAKER, Q. Integrating virtual reality technology into architecture education: the case of architectural history courses. *Open House International*, v. 46, n. 4, p. 498–509, 22 nov. 2021. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/OHI-12-2020-0190/full/html>>.

KLERK, R. De et al. Usability studies on building early stage architectural models in virtual reality. *Automation in Construction*, v. 3, n. March, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.009>>.

LEMOS, C. A. C. O estudo da história na formação do arquiteto. *PosFAUUSP*, p. 50–58, 1996.

MACHADO, S. C. Análise Sobre o Uso das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (Tdics) no Processo Educacional da Geração Internet. *Renote*, v. 14, n. 2, 2017. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/70645/40070>>.

MARIA, M.; AZEVEDO, M. Maquetes no ensino de história da arquitetura: experiências de estágio de ensino na FAUUSP. 2005.

OZACAR, K.; ORTAKCI, Y.; KUCUKKARA, Y. VRArcheducation: Redesigning Building Survey Process in Architectural Education Using Collaborative Virtual Reality. *SSRN Electronic Journal*, v. 113, p. 1–9, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cag.2023.04.008>>.

PAES, D.; ARANTES, E.; IRIZARRY, J. Immersive environment for improving the understanding of architectural 3D models: Comparing user spatial perception between immersive and traditional virtual reality systems. *Automation in Construction*, v. 84, n. August 2016, p. 292–303, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.016>>.

PUGGIONI, M. et al. ScoolAR: An Educational Platform to Improve Students' Learning through Virtual Reality. *IEEE Access*, v. 9, p. 21059–21070, 2021. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9321386>>.

SILCOCK, D. et al. Tangible and Intangible Digital Heritage Creating Virtual Environments to Engage Public Interpretation. In: *Computing for a Better Tomorrow*, 36th Annual Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe2018), Champion 2008, Anais 2018. Disponível em: <www.semanticscholar.org/paper/Tangible-and-Intangible-Digital-Heritage-Creating-Silcock-Rushton/0f1129b3d39859b352b548f84a42111de799e370%0Awww.immersivelegacies.org/publications%0Ahttp://www.ecaade2018.p.lodz.pl/>.

SOUZA, T. L. de. A 360° history of the city: the digital reconstruction of the Rio de Janeiro Panorama by Victor Meirelles and Henri Langerock from the end of the 19th century. p. 563–568, 2020.

TAVSAN, F.; SONMEZ, E. Search for a New Teaching Model in Interior Architecture Education; Abstraction through Body Language and Drawings in Furniture History Course. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 46, p. 2669–2674, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.05.544>>.

VILAS BOAS, N. Máquina do tempo digital. *Ciência Hoje*, v. 347, 2018. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/artigo/maquina-do-tempo-digital/>>.

WENDELL, A.; ALTIN, E. Learning Space - Incorporating spatial simulations in design history coursework. In: *eCAADe 35, Anais 2017*. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2017_183>.

ZEVI, B. *Saber ver arquitetura*. 5a Ed ed. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

Cap. 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo desenvolve-se a revisão de literatura. Inicialmente, discute-se a história e os conceitos atrelados à Realidade Virtual (VR). Posteriormente, a discussão se expande para a interseção da VR com a arquitetura e o urbanismo. Por fim, analisam-se os estudos que exploraram a imersão virtual aplicada à disciplina de história da arquitetura. Procura-se traçar um panorama sobre o tema, elucidando sua história, conceitos fundamentais e contribuições já apresentadas no contexto desta pesquisa.

2.1.Contexto

O capítulo está dividido em três partes apresentadas no formato de artigos científicos, que, encadeados, configuram o referencial teórico. Dois destes artigos foram publicados em meios científicos, cujos originais constam nos Anexos I e II da presente pesquisa.

A primeira seção visa ambientar o leitor acerca da história e de alguns conceitos básicos relacionados ao campo da realidade virtual. Realizou-se uma pesquisa bibliográfica focada na origem e evolução dos termos. A história da tecnologia, o surgimento da expressão “realidade virtual”, e os termos presença, telepresença, imersão e envolvimento são discutidos considerando sua pertinência para experiências voltadas ao campo arquitetônico.

Na segunda seção se buscou responder à primeira pergunta de investigação, que visa entender como a realidade virtual tem impactado o campo da arquitetura nos últimos anos. Para examinar esse aspecto, realizou-se uma pesquisa bibliográfica com vistas a identificar as vantagens do uso de ambientes virtuais imersivos na rotina de arquitetos e estudantes, discutindo conceitos que podem aprimorar a usabilidade, exibindo distintas formas de aplicação. Este artigo é crucial para compreender as contribuições já feitas na área da arquitetura e estabelecer um contexto sólido para os próximos passos da investigação.

Esta parte do trabalho resultou em um artigo produzido originalmente em inglês, intitulado *Architecture, Virtual Reality and User Experience*, publicado em 2022 no livro *The Wiley Handbook of Human Computer Interaction set* (GOMES et al., 2022b).

A terceira seção deste tópico relaciona-se com a segunda pergunta de investigação, direcionando a atenção para o ensino de história da arquitetura e urbanismo, examinando como a realidade virtual tem impactado esse contexto específico. Para tratar dessa questão, realizou-se um levantamento

dos artigos científicos publicados nos últimos 25 anos relacionados ao emprego da realidade virtual nesse domínio. Essa revisão bibliográfica permitiu entender o estado atual das tecnologias imersivas no ensino de história da arquitetura e identificar as principais contribuições e metodologias adotadas. A análise desses artigos foi fundamental para embasar o desenvolvimento dos capítulos seguintes, referentes a elaboração de um método eficiente de uso da VR no ensino de história da arquitetura, conforme proposto pelos objetivos da presente pesquisa.

Esta parte do trabalho resultou em um artigo intitulado *Virtual Reality in the teaching of history of architecture and urbanism: a literature review*, produzido originalmente em inglês, que foi aceito para publicação na conferência *HCI International 2023*, a ser realizada entre 23 e 28 de julho, em Copenhague, na Dinamarca.

Nas seções 2 e 3, os conceitos de presença e imersão são novamente explicados, mas de forma resumida, apenas para contextualizar o leitor acerca do assunto tratado na publicação. Ambas incluem ainda outros conceitos sobre o tema, dedicados ao conteúdo de cada publicação. Um mapa dos conceitos abordados consta abaixo.

2.2. Seção 1: Realidade Virtual – Histórico e conceitos básicos

2.2.1. Resumo

Este tópico investiga a história e alguns dos principais conceitos associados à realidade virtual (VR), com ênfase em suas aplicações no campo arquitetônico. O objetivo é fornecer uma compreensão geral dos termos fundamentais relacionados à VR, facilitando a familiarização do leitor com o tema. Foi realizada uma revisão bibliográfica focada na evolução e interconexão dos conceitos-chave. O estudo aborda a origem da tecnologia VR, a criação do termo "realidade virtual" e as discussões sobre os conceitos de presença, telepresença, imersão e envolvimento. Reflexões sobre a importância da compreensão desses assuntos para o desenvolvimento de aplicações imersivas na arquitetura são apresentadas neste trabalho.

2.2.2. Introdução

O conhecimento acerca dos conceitos que compõem a chamada *Virtual Reality* – VR (Realidade Virtual) pode ajudar a direcionar os trabalhos na área de pesquisa, auxiliando na potenciação do uso da tecnologia em cada caso específico. Até hoje estudos científicos diversos foram realizados buscando testar e aprofundar alguns dos principais fatores que fazem parte do universo da VR. Presença, Imersão, Envolvimento, entre outros, cada um apresenta capacidades maiores ou

menores para contribuir em experiências, a depender do uso que se pretende dar aos ambientes virtuais. Por exemplo, enquanto em alguns casos, o elemento Presença, pode ajudar consideravelmente a aumentar o desempenho e a confiança dos resultados em estudos de comportamento humano (SLATER et al., 1996), noutros, a sua extrema intensidade pode não ser desejável, a exemplo de ambientes hostis ou situações de emergência (ZELTZER, 1992). O que se propõe neste tópico é a realização de um panorama acerca de alguns dos principais conceitos que integram a VR, com foco na identificação das potencialidades de cada um para o campo arquitetônico.

A fascinação humana com a possibilidade de vivenciar realidades sintéticas está impressa na literatura contemporânea, a exemplo de diversas obras de ficção científica sobre mundos digitais (ELLIS, 1991), como o romance *Neuromancer* (GIBSON, 1984) ou ainda o mais recente *Ready Player One* (CLINE, 2012), transformado em filme na década passada (SPIELBERG, 2018).

Desde que Ivan Sutherland publicou pela primeira vez sobre a matéria em 1965, inúmeros investigadores têm desenvolvido trabalhos aprofundando conceitos e tecnologias acerca dos ambientes virtuais (BLANCHARD et al., 1990). À época, Sutherland (1965) propôs o “*The ultimate display*”, descrevendo: “[...] uma sala dentro da qual o computador pode controlar a existência de matéria” (Tradução do autor). Posteriormente Ivan propõe um equipamento denominado *Head Mounted Three Dimensional Display* (SUTHERLAND, 1968), tecnologia que evoluiu consideravelmente, chegando aos dias atuais, denominada por HMD – *Head Mounted Display*, ou popularmente Óculos de Realidade Virtual.

Nos anos seguintes novos conceitos surgiram, como Cyberspaço (GIBSON, 1984), Realidade Artificial (KRUEGER; GIONFRIDDO; HINRICHSEN, 1985), e Realidade Virtual, expressão essa que foi cunhada nos anos 80 e é creditada a Jaron Lanier (STEUER, 1993; MACHOVER; TICE, 1994) que à época necessitava diferenciar as simulações tradicionais dos mundos virtuais por si investigados (MACHADO, 1995). Em 1988, quando o conceito ainda era uma novidade, Jaron descreveu a VR como uma tecnologia que utilizava roupas informatizadas para sintetizar a realidade (LANIER; HEILBRUN, 1988). Noutro momento ele esclarece que a sensação do mundo virtual se dá por meio de roupas que geram uma estimulação através dos órgãos sensoriais, como olhos, ouvidos e pele (CONN; LANIER; MINSKY, 1989). Ou seja, no seu entender a Realidade Virtual necessitava de um tipo especial de “roupa computadorizada”, que ele resumiu em uns óculos e num par de luvas, os quais associados a um computador de última geração proporcionavam a estimulação da visão e do tato, fazendo com que o usuário tivesse a sensação de estar em outra realidade.

Desde então, inúmeras vantagens são listadas acerca de melhorias que podem ser obtidas através da VR, a exemplo da possibilidade de identificação de problemas que não poderiam ser verificados com os meios convencionais (GREENWALD et al., 2017), como visitar um local antes de sua construção, ou depois de sua demolição; ou então realizar estudos de comportamento humano em situações críticas, como a escolha das rotas de fuga em casos de incêndio simulado (DUARTE et al., 2013), ou ainda em assuntos relacionado com a educação (LEE; WONG, 2014), entre outros.

Apesar das evoluções do conceito de VR, que serão discutidas no tópico mais abaixo, há ainda nos dias de hoje uma busca crescente por trazer para o mercado popular equipamentos ou trajés humanos sensoriais, similares aos descritos por Lanier na década de 80, com vista a aumentar a sensação psicológica de estar em outra realidade, a exemplo de um recente protótipo de casaco para simular abraços e outras formas de contato através da pele (SHABAN, 2018).

No contexto contemporâneo, a VR é geralmente descrita como um ambiente gerado por computador, oferecendo ao espectador uma ilusão convincente e uma sensação de estar dentro de um mundo artificial, podendo nele movimentar-se e interagir naturalmente, de tal modo que o usuário possa esquecer-se temporariamente, ou parcialmente, do mundo físico (PAES; ARANTES; IRIZARRY, 2017). Para Paes, o que diferencia a VR de outros meios tradicionais é a capacidade de inserir o usuário no cenário, permitindo a realização de interações naturais e adequadas à escala humana.

No tópico seguinte tratar-se-á do conceito de VR. Entre os periódicos visitados, destaca-se a revista científica *Presence*, considerada a mais antiga sobre o tema, ainda em circulação (SHERIDAN, 2016). A sua primeira edição, em 1992, tornou-se uma das principais referências sobre o assunto, e integra, até hoje, a base de muitos dos conceitos relacionados com os ambientes virtuais.

2.2.3. Considerações iniciais sobre realidade virtual e presença

O termo Realidade Virtual é estudado e discutido por autores distintos, com resultados que se atualizaram com o passar do tempo, por exemplo Lanier (1988) e Rebelo (2012). Para Ellis (1991), a expressão era descrita como um meio de comunicação, uma mídia.

Jonathan Steuer (1993) propõe o conceito de VR de modo mais abrangente, desvinculado do uso de um *hardware*. Na sua visão, apesar das máquinas como computadores e óculos serem relativamente recentes, a definição de VR no sentido de “estar presente” pode ser aplicada a tecnologias do passado, presente e futuro. Nesta linha de pensamento, o referido autor entende que os meios físicos são importantes apenas como um canal, como uma forma de conectar o

emissor e o receptor. No seu artigo, à época, há alguns exemplos que classificou como um tipo de VR (um sentimento de estar presente):

- “- Ler uma carta de um amigo;
 - Pessoas que dialogam por telefone;
 - Ouvir a gravação de uma música;
 - Operadores de instalações nucleares quando observam e controlam o interior do reator por meio de uma câmera e ‘ponteiros’ mecanicamente controlados”.
- (STEUER, 1993). (Tradução do autor).

Em resumo, o trabalho de Steuer define a VR como um tipo particular de experiência, e não uma coleção de equipamentos. Ele sugere que a chave para definir a realidade virtual é o conceito de Presença, que resume como: “a sensação de estar num ambiente”. (tradução do autor).

Mel Slater e Usoh parecem concordar com Steuer no que diz respeito ao sentimento de presença (SLATER; USOH, 1993a). Slater cita o exemplo de uma pessoa num ponto de transporte urbano, lembrando-se de uma recente viagem para o Campo (mentalizando sons e sentimentos). Se tal pessoa fosse questionada sobre onde ela está, certamente responderia: no ponto do trajeto urbano, mas na visão do investigador citado, ela estaria psicologicamente “Presente” no Campo.

O conceito de Presença, cabe elucidar que na década de 80 e início dos anos 90, aparecia frequentemente associado ao termo Telepresença, que era usado em estudos sobre teleoperações, ou, operações remotas. O tópico seguinte aborda com maior profundidade este assunto.

2.2.4. O conceito de telepresença e sua relação com presença

No início da década de 1980, NASA¹ e MIT² estabeleceram um contrato para um projeto denominado ARAMIS³, que tinha entre seus objetivos estudar a realização de reparos em naves espaciais de forma remota. Nesse documento havia o conceito de telepresença, que envolvia a existência de um telerrobô no local de trabalho, capaz de desempenhar várias funções humanas, controlado remotamente por um operador. Um dos propósitos era que esse operador recebesse feedback sensorial e tátil, proporcionando uma experiência de presença física durante a operação

¹ NASA - National Aeronautics and Space Administration.

² MIT - Massachusetts Institute of Technology.

³ Em 10 de junho de 1982, o Marshall Space Flight Center (MSFC) da NASA concedeu um contrato de doze meses (NASR-34381) aos Sistemas Espaciais e Laboratórios de Inteligência Artificial do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, para um estudo intitulado “Aplicações Espaciais de Automação, Robótica e Sistemas de Inteligência de Máquinas (ARAMIS), Fase II, Telepresença” (NASA, 1983).

(NASA, 1983). Minsk⁴, que integrava a equipe contratada, foi o responsável por cunhar o termo telepresença (STEUER, 1993). Em uma de suas entrevistas, registou:

Você veste um casaco confortável com sensores e motores semelhantes a músculos. Cada movimento do seu braço, mão e dedos é reproduzido noutra local por mãos mecânicas e móveis. [...]. Usando este instrumento, você pode "trabalhar" noutra sala, noutra cidade, noutra país ou noutra planeta. [...] Um trabalho perigoso torna-se seguro e agradável. (MINSKY, 1980). (Tradução do autor).

Nesta época, muitas das questões e descrições envolvendo a telepresença e a presença eram semelhantes e estavam relacionadas, por vezes até se confundiam (SLATER; USOH, 1993a). Neste sentido, Sheridan (1992) optou por segregá-las, utilizando o termo telepresença para as atividades de operação remota, seja com veículos, telerrobôs ou outros sistemas, e a expressão presença para experiências com ambientes gerados por computador. Para minimizar possíveis confusões entre os termos, Slater (1994) sugeriu utilizar apenas presença para designar qualquer das duas situações.

2.2.5. O conceito de Presença

Um consenso entre muitos autores é de que Presença é um elemento de grande importância para os estudos de Realidade Virtual, tratando-se de uma experiência subjetiva e de difícil mensuração. Um dos motivos de destaque para seu estudo é que quanto mais profunda for, maiores as chances dos participantes agirem num ambiente virtual da mesma forma que agiriam se estivessem numa situação similar no mundo físico (SLATER; USOH, 1996).

Desde as primeiras publicações sobre o tema, sugeriram diversas discussões e variados conceitos acerca da presença no campo da realidade virtual (SAMUR, 2016), sem que, no entanto, haja um consenso (LOMBARD et al., 2000; GIBBS; GILLIES; PAN, 2022). Entre elas, menciona-se a de Slater e Usuh (1996), que consideraram a presença como um estado de consciência, um sentido psicológico de estar em um ambiente virtual. Witmer e Singer (1998), por sua vez, afirmam que a Presença envolve "experimentar o ambiente gerado por computador em vez do local físico real". (Tradução nossa). Para Bystrom et al (1999), a presença pode ser considerada com o grau em que os participantes sentem que estão em algum lugar, que não o real, mas o produzido por computador.

⁴ Anteriormente à participação no mencionado contrato com a NASA, no papel de Professor Membro da equipe de estudo do MIT, Marvin contribuiu na tese de doutoramento de Ivan Sutherland em 1963, sobre o SketchPad, um programa de computador que deu origem aos atuais *softwares* CAD (Sutherland, 1963).

Recentemente, surgiram abordagens que enriquecem as discussões em torno do conceito em questão. Por exemplo, Slater (2009) propõe que a presença seja entendida como a "forte ilusão de estar em um lugar, mesmo tendo a certeza de que você não está lá" (tradução do autor). Essa definição engloba a ideia de que o usuário está ciente de que não está no mundo virtual, mas reage como se estivesse devido à ilusão criada. Além da realidade virtual, esse conceito pode ser aplicado a outras realidades sintéticas, como a realidade mista e a aumentada, onde a certeza de não "estar lá" é normalmente absoluta, mesmo que os elementos virtuais, a física simulada, e outros, pareçam reais. (SLATER et al., 2009).

A natureza variável e subjetiva da presença é um aspecto importante a ser considerado (STEUER, 1993), uma vez que ela se manifesta de formas distintas dependendo de diversos fatores, tais como o indivíduo participante, a experiência vivenciada, os equipamentos utilizados, entre outros. Desse modo, os níveis de presença percebidos por um usuário durante uma experiência virtual podem variar. Alguns dos componentes que podem interferir neste aspecto estão abordados no próximo tópico.

2.2.1. Os níveis de Presença

Como mencionado anteriormente, a presença possui natureza variável, podendo ser intensificada, entre outras coisas, com o uso de sistemas que estimulem, além da visão, os demais sentidos humanos, como o auditivo, principalmente se afetar a audição binaural⁵ do participante ao movimentar a cabeça (SLATER; USOH; STEED, 1994; WITMER; SINGER, 1998). Da mesma forma, uma VR que permita modos naturais de interação com o cenário tende a resultar em mais presença (WITMER; SINGER, 1998). Estes autores sugerem também que a intensidade da presença pode ser sentida de forma diferente por cada usuário. Ou seja, um mesmo equipamento e ambientes virtuais, incluindo uma mesma programação de interações, podem resultar em diferentes sensações cuja variação poderá depender do contexto físico e psicológico de cada pessoa. Desta maneira, um participante que esteja com grandes preocupações exteriores à experiência, terá menor sensação de presença do que uma pessoa sem tais preocupações.

⁵ Sons binaurais referem-se a um sistema de áudio que requer a ação combinada de ambas as orelhas. Assim duas frequências são apresentadas, uma para cada ouvido, e no cérebro isso é processado como um som tridimensional natural. Para compreender a diferença entre um sistema de som convencional e um binaural, no estúdio, se deixarmos apenas uma das orelhas sem o fone de ouvido, a outra com o fone ainda permitirá compreender a informação sonora, já no sistema binaural, é necessário manter os fones em ambos os lados para processar a combinação das ondas sonoras (OSTER, 1973; RIOS; GLANZMANN, 2016).

Provocar uma profunda sensação de presença nos participantes tem sido um dos principais objetivos dos designers de mundos virtuais (BYSTROM; BARFIELD; HENDRIX, 1999), mas para que a presença seja sentida em altos níveis, é relevante que o indivíduo consiga concentrar-se apenas nos estímulos da imersão, de modo a esquecer o ambiente físico (PAES; ARANTES; IRIZARRY, 2017). Como explicado acima, esta sensação não ocorre necessariamente de forma linear, frequentemente ela oscila e pode aumentar ou diminuir em função de variados fatores, como o tipo de experiência, o interesse do participante etc.

Neste sentido, Slater e Usoh (1993a) listaram alguns fatores que podem contribuir para aumentar ou diminuir a presença. Entre eles estão: a) a leveza do dispositivo montado na cabeça, de modo que o usuário esteja livre de sinais que indiquem a existência dos óculos; b) a existência de interações baseadas nos órgãos sensoriais, como áudio binaural ou tato; c) a percepção do movimento das mãos no mundo virtual, tal como são movidas no mundo físico; d) a capacidade de modificar o ambiente físico.

Bystrom (1999) postula que uma tarefa considerada particularmente interessante pelo usuário pode levá-lo a ficar mais atento aos elementos do mundo virtual, o que pode resultar em maior sensação de presença. Um exemplo pode ser a apresentação imersiva de um projeto de arquitetura. Se os participantes forem os proprietários e estiverem explorando o ambiente virtual pela primeira vez, sabendo que ali irão residir por muitos anos, provavelmente essa interação terá um maior significado para eles do que para outras pessoas que experimentem o mesmo ambiente, mas não possuam qualquer relação com o lugar. Desta forma, é provável que a sensação de Presença seja bem maior para os proprietários.

Fontaine (1992) propõe que a presença possui relação com o foco, Witmer e Singer (1998) parecem concordar, e relatam que quando pessoas experimentam um ambiente virtual novo, ficam normalmente excitadas e focadas. Esta reação humana ao espaço ou à experiência contribui para o aumento da presença. Witmer e Singer (1998), em seu artigo, referem-se a dois conceitos derivados: foco amplo e foco restrito. O amplo refere-se à busca do indivíduo pela exploração de todo o ambiente novo, neste caso, a novidade e a singularidade da experiência exigem atenção em diversos aspectos relacionados com a necessidade/curiosidade em conhecer o lugar. Já o foco restrito exige que a maioria dos recursos da atenção estejam direcionados para aspectos pontuais do ambiente. Tanto Fontaine quanto Witmer e Singer reforçam que o foco é necessário para um alto nível de presença. Por outras palavras:

[...] o quanto atentamente os usuários concentram sua atenção no Ambiente Virtual, isso determinará até que

ponto eles se envolverão nesse ambiente e quanta presença eles reportarão. (WITMER; SINGER, 1998). (Tradução do autor).

Um exemplo disso pôde ser percebido em um estudo observacional realizado por este pesquisador em 2018, quando buscava examinar os potenciais da realidade virtual imersiva na arquitetura. Nele, os participantes, através da VR (óculos VIVE⁶), visitavam um apartamento minuciosamente detalhado, que imitava a realidade de maneira convincente - portas podiam ser abertas, janelas deslizadas, gavetas puxadas, itens agarrados e colocados sobre superfícies, além de um elevado realismo gráfico. Os objetos da cena aderiam a uma simulação física realista, resultando em interações autênticas, como a necessidade de se inclinar para recuperar um item caído.

Inicialmente, os participantes exploravam livremente esse ambiente, e dedicavam-se a observar principalmente a riqueza de detalhes visuais. Neste primeiro momento, ao movimentarem-se, expressavam palavras de admiração e/ou surpresa, indicando que estavam envolvidos e com bons níveis de presença. Este resultado, na visão deste pesquisador, aproxima-se do conceito de foco amplo, proposto por Witmer e Singer.

Após alguns minutos de adaptação e familiarização com as interações manuais, como pegar objetos e operar aberturas, os participantes receberam instruções para dar um leve toque com as mãos em uma bola que estava posicionada sobre a mesa da sala. Neste momento, sem o conhecimento dos participantes, o pesquisador desativou a simulação de gravidade. Ao tocarem na bola, ela começou a se deslocar suavemente pelo espaço, seguindo um percurso em linha reta, flutuando lentamente diante dos participantes. O olhar dos usuários (percebido pelo pesquisador através da tela do notebook) acompanhava o movimento retilíneo da esfera, incluindo o giro da cabeça e do corpo dos utilizadores. Esse evento capturou totalmente a atenção dos participantes, levando a exclamações como "Uau!". Nesse momento, é provável que os níveis de presença tenham sido elevados. Essa segunda parte da atividade se assemelha à ideia de foco restrito, conforme proposto por Witmer e Singer.

Dada a noção acerca do fenômeno da Presença, e sua importância para o conceito de Realidade Virtual, convém identificar outros dois componentes da VR que frequentemente se confundem, tratando-se da Imersão e do Envolvimento.

⁶ Vive é um modelo de equipamento de realidade virtual lançado em 2016, fabricado pela empresa HTC.

2.2.2. A Imersão:

Existem vários conceitos sobre esse tema, mas um consenso entre os autores é que a imersão deve ser distinta da presença (Murphy and Skarbez 2020; Witmer and Singer 1998; Bystrom, Barfield, and Hendrix 1999). Para Mel Slater, presença e imersão são logicamente separáveis, mas claramente existe uma relação entre elas. Entre outras coisas, ele afirma que a presença é uma resposta a um sistema com um certo nível de imersão (SLATER et al., 2009). Ele conceitua o termo como uma “descrição quantificável de uma tecnologia” (Tradução do autor), ou seja, algo determinado pelo *hardware* e passível de uma métrica objetiva (SLATER et al., 1996).

No contexto em questão, o termo está relacionado à ilusão de se perceber inserido no espaço digital, ou seja, sentir-se dentro dele. Esta é uma variável em que o usuário também pode ter níveis mais ou menos profundos, dependendo principalmente do tipo de *hardware* utilizado (Slater et al. 1996). Por exemplo, uma pessoa que, sentada em sua cadeira, joga um videogame através de uma tela comum, pode até se sentir psicologicamente muito envolvida com os acontecimentos, mas dificilmente se perceberá dentro do ambiente do jogo. Uma tela de computador convencional tende a oferecer baixos níveis de imersão, mesmo que a experiência ofereça altos níveis de envolvimento e interação. Por outro lado, se o jogo acontecer em um display relativamente grande, do tipo *wide* (*ultrawide*) e curvo (atingindo um ângulo de visão próximo a 180 graus), certamente haverá maiores sensações de imersão do que no caso da tela convencional simples.

Nesse sentido, quanto mais avançado for o *hardware*, como alta resolução da tela, amplo ângulo de visão, resposta em tempo real aos movimentos humanos, bom *feedback* auditivo e tátil, entre outros, maior será a percepção do usuário de estar imerso. Por esse motivo, a realidade virtual costuma ser associada a altos níveis de imersão (Slater 2018).

A imersão representa, portanto, a percepção de estar inserido em um outro lugar que não o espaço físico real. Esta sensação não equivale necessariamente a alcançar um sentimento de presença, pois é possível que ocorra a imersão sem que isso implique Presença (pelo menos não em altos níveis). Um exemplo pode ser o uso de um HMD⁷ para realizar uma simples exploração de um mundo virtual vazio, ou quase vazio, pobre de gráficos e interação; neste caso o usuário provavelmente se sentiria

⁷ HMD – *Head Mounted Display*, ou também chamados de óculos de realidade virtual, refere-se a um dos equipamentos mais frequentemente usados para exibições de ambientes virtuais. Estes aparelhos possuem, entre as suas características, o isolamento visual de quase a totalidade do mundo físico, permitindo que seja visualizado tão somente as imagens do mundo produzido por computador.

imerso, mas dificilmente teria alguma sensação de presença, ou seja, sua consciência permaneceria focada no mundo físico.

A imersão é o fator que permite ao usuário sentir-se inserido no espaço virtual, como se fizesse parte dele; por este motivo ela não é comum em outras mídias (WITMER; SINGER, 1998). Desta maneira, equipamentos VR com diferentes características de *hardware* (resolução, brilho, amplitude da visão, entre outros) oferecem distintos níveis de imersão. Como consequência, equipamentos que oferecem maior profundidade imersiva podem contribuir mais para altos graus de Presença (SLATER; USOH; STEED, 1994).

Makransky (2017) e Lee e Wong (2014) descrevem dois tipos de Realidade Virtual, a de baixa imersão e a de total imersão. A baixa inclui, por exemplo, os monitores convencionais, onde o indivíduo está fora do ambiente virtual, observando o cenário através de uma tela posicionada à sua frente, como no caso de um desktop. Já na imersão total (por exemplo, óculos VR), o usuário percebe-se totalmente inserido num ambiente virtual, muitas vezes podendo caminhar, abaixar-se, interagir etc. Consequentemente, dispositivos que aumentem o isolamento do usuário com o mundo físico, oferecem maiores níveis de imersão, e portanto, podem contribuir para uma maior sensação de presença (WITMER; SINGER, 1998).

Nesta mesma linha, Paes (2017) esclarece que o fator que distingue uma Realidade Virtual Imersiva de uma não imersiva é o nível de presença que a ferramenta proporciona, ou seja, quanto mais interfaces de imersão são oferecidas pelo *hardware*, mais provável será a oferta de altos níveis de presença. Paes parece concordar com Slater e Castronovo quando considera que recursos quantificáveis de tecnologia como a estereoscopia, o campo de visão largo e a interatividade, são fundamentais para se obter altos níveis de presença (SLATER; USOH, 1993b; CASTRONOVO et al., 2013; PAES; ARANTES; IRIZARRY, 2017).

É relevante citar ainda alguns trabalhos que verificaram ações que podem diminuir a imersão, e como consequência, reduzir também a presença. Barfield e Hendrix (1995) mostraram que a taxa de atualização de quadros nos HMDs afetava a presença. Slater et al (1996), na sua experiência com participantes numa cozinha virtual, relata que evitou dar-lhes orientações verbais durante a imersão pois tal ato faria com que os usuários se lembrassem de que existe um mundo físico, podendo reduzir a quantidade de presença.

Ainda Witmer e Singer (1998) descrevem alguns fatores que podem interferir na imersão: a) o isolamento do ambiente físico, b) a percepção de auto inclusão (o indivíduo perceber-se visualmente inserido), c) modos naturais de interação e d) percepção de movimento próprio.

Por fim, observa-se que a imersão é um fator da realidade virtual que difere da presença, mas que é de grande importância para obter altos níveis desta última. Com base nas informações acima é possível concluir que num ambiente virtual, a presença é diretamente proporcional à imersão.

2.2.3. O Envolvimento

Em um ambiente de Realidade Virtual, tanto a Imersão quanto o Envolvimento são necessários para experimentar a Presença (WITMER; SINGER, 1998). Talvez uma das maiores diferenças entre a VR e outras mídias seja a capacidade de realizar experiências de forma profundamente envolvente, fornecendo uma visualização projetada para a escala humana (CASTRONOVO et al., 2013).

Diferentemente da imersão, o envolvimento é mais comum fora da VR, podendo ocorrer com qualquer ambiente ou situação. Por exemplo, um jogo de videogame pode ter características imersivas ruins, mas ser muito envolvente, um livro ou um filme também são exemplos (WITMER; SINGER, 1998).

A quantidade de envolvimento está vinculada à quantidade de atenção sobre determinada coisa ou evento. Quanto mais prender a atenção, mais envolvido o usuário estará (WITMER; SINGER, 1998). Witmer define o Envolvimento como “um estado psicológico, vivido em consequência da concentração de energia num conjunto de estímulos” (Tradução do autor). No caso da Realidade Virtual, este aumento de atenção certamente recairá em maiores quantidades de Presença.

Assim é possível compreender o termo em questão como uma variável que depende de fatores pessoais do usuário, quanto maior o significado da experiência para a pessoa, maior tende a ser o envolvimento, e como consequência, maior tende a ser a presença.

A noção de envolvimento também pode incluir uma ampla reprodução sensorial, aumentando mais ainda os estímulos e o interesse do participante no evento (SLATER; USOH, 1996). Bystrom (1999) postula que uma tarefa particularmente envolvente pode levar o usuário a alocar mais recursos da atenção às suas ações no ambiente virtual.

2.2.4. Considerações

Aqui abordaram-se os principais elementos relacionados à Realidade Virtual (VR), incluiu-se conceitos como presença, telepresença, imersão e envolvimento. Além disso, exploraram-se estratégias para potencializar o uso desses elementos de acordo com as necessidades específicas de aplicações imersivas, buscando otimizar os resultados obtidos em experimentos com VR, com ênfase especial no campo da arquitetura, que é o foco deste trabalho.

No que diz respeito à imersão e envolvimento, ambos podem ser considerados variáveis diretamente proporcionais à sensação de presença. Isso significa que, quanto maior a imersão e o envolvimento em experiências de VR, maior será a sensação de presença percebida pelos usuários. Embora as metodologias de medição da presença ainda sejam predominantemente subjetivas (WITMER; SINGER, 1998; SLATER, 1999), é possível inferir que é possível ajustar os níveis de presença em experiências de VR ao manipular os graus de envolvimento e imersão.

Acrescenta-se ainda que, para alguns autores, a exemplo de Brown e Cairns (2004) e Paes (2017), se o mundo virtual foi criado por meio de um computador, pode ser considerado um tipo de realidade virtual. Por isso, não é incomum encontrar a expressão Realidade Virtual Imersiva - RVI, utilizada quando pesquisadores querem garantir que o mundo digital a que se referem é, sem dúvida, aquele que oferece altos níveis de imersão.

Dessa forma, este estudo contribui para uma melhor compreensão dos fatores que influenciam a eficácia das aplicações de Realidade Virtual, inclusive no contexto arquitetônico

2.2.5. Referências Bibliográficas

BARFIELD, W.; HENDRIX, C. The effect of update rate on the sense of presence within virtual environments. *Virtual Reality*, v. 1, n. 1, p. 3–15, 1995.

BLANCHARD, C. et al. Reality built for two: a virtual reality tool. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, v. 24, p. 35–36, 1990.

BYSTROM, K.-E.; BARFIELD, W.; HENDRIX, C. A Conceptual Model of the Sense of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. Vol. 8, p. 241–245, 1999.

CASTRONOVO, F. et al. An evaluation of immersive virtual reality systems for design reviews. *Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, n. October, p. 30–31, 2013.

CLINE, E. *Ready Player One: A Novel*. [s.l.] Broadway Books, 2012.

CONN, C.; LANIER, J.; MINSKY, M. Virtual environments and interactivity: Windows to the future. *Acm Siggraph ...*, p. 7–18, 1989. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=77278>>.

DUARTE, E. et al. Behavioral compliance for dynamic versus static signs in an immersive virtual environment. *Applied Ergonomics*, v. 45, n. 5, p. 1367–1375, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2013.10.004>>.

ELLIS, S. R. Nature and origins of virtual environments: a bibliographical essay. *Computing Systems in Engineering*, v. 2, n. 4, p. 321–347, 1991.

FONTAINE, G. The Experience of a Sense of Presence in Intercultural and International Encounters. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 1, n. 4, p. 482–490, 1992. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/pres.1992.1.4.482>>.

GIBBS, J. K.; GILLIES, M.; PAN, X. A comparison of the effects of haptic and visual feedback on presence in virtual reality. *International Journal of Human Computer Studies*, v. 157, n. August 2021,

p. 102717, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2021.102717>>.

GIBSON, W. *Neuromancer*. Edição rei ed. [s.l.] Ace, 1984.

GREENWALD, S. W. et al. Repository of the International Society of Learning Sciences: Technology and Applications for Collaborative Learning in Virtual Reality. Disponível em: <<https://repository.isls.org/handle/1/210>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

KRUEGER, M. W.; GIONFRIDDO, T.; HINRICHSEN, K. VIDEOPLACE---an artificial reality. Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '85, n. April, p. 35–40, 1985. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=317456.317463>>.

LANIER, J.; HEILBRUN, A. A Portrait of the Young Visionary. Disponível em: <<http://www.jaronlanier.com/vrint.html>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

LEE, E. A. L.; WONG, K. W. Learning with desktop virtual reality: Low spatial ability learners are more positively affected. *Computers and Education*, v. 79, p. 49–58, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2014.07.010>>.

LOMBARD, M. et al. Measuring presence: A literature-based approach to the development of a standardized paper-and-pencil instrument. *Presence 2000: The Third International Workshop on Presence*, n. January, p. 13, 2000.

MACHADO, L. dos S. *Conceitos Básicos Da Realidade Virtual*. 1995. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995. Disponível em: <http://www.di.ufpb.br/liliane/publicacoes/1995_rt.pdf>.

MACHOVER, C.; TICE, S. E. Virtual Reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, v. 4, n. 3, 1994. Disponível em: <<https://www.computer.org/csdl/mags/cg/1994/01/mcg1994010015.pdf>>.

MAKRANSKY, G.; LILLEHOLT, L.; AABY, A. Development and validation of the Multimodal Presence Scale for virtual reality environments: A confirmatory factor analysis and item response theory approach. *Computers in Human Behavior*, v. 72, p. 276–285, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2017.02.066>>.

MINSKY, M. TELEPRESENCE. *Omni Magazine*, p. 76–98, 1980. Disponível em: <<https://web.media.mit.edu/~minsky/papers/Telepresence.html>>.

NASA. *Space Applications of Automation, Robotics and Machine Intelligence Systems (ARAMIS) - Phase II*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19840002515.pdf>>.

OSTER, G. Auditory beats in the brain. *Scientific American*, v. 229, n. 4, p. 94–102, 1973.

PAES, D.; ARANTES, E.; IRIZARRY, J. Immersive environment for improving the understanding of architectural 3D models: Comparing user spatial perception between immersive and traditional virtual reality systems. *Automation in Construction*, v. 84, n. August 2016, p. 292–303, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.016>>.

REBELO, F. et al. Using virtual reality to assess user experience. *Human Factors*, v. 54, n. 6, p. 964–982, 2012.

RIOS, L. M.; GLANZMANN, J. H. Aplicativo que manipula ondas cerebrais por meio de frequências binaurais. Disponível em: <<http://periodicos.jf.ifsudestemg.edu.br/revistabsi/article/view/31>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

SAMUR, S. X. Uma Comparação entre Presença Cênica e Presença na Realidade Virtual. *Revista Brasileira de Estudos da Presença*, v. 2, n. 6, p. 242–265, 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbep/a/ssb7XgfDXSkqQBZNh53twp/?format=pdf&lang=pt>>.

SHABAN, H. Disney unveils a prototype virtual-reality jacket to simulate hugs, punches and a snake slithering across your body - The Washington Post. Disponível em: <https://www.washingtonpost.com/news/the-switch/wp/2018/04/26/disney-unveils-a-prototype-virtual-reality-jacket-to-simulate-hugs-punches-and-a-snake-gas-powered-vibrations/?noredirect=on&utm_term=.2e9aac04a806>. Acesso em: 27 abr. 2018.

SHERIDAN, T. B. Musings on Telepresence and Virtual Presence. n. 1, p. 120–126, 1992. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/220090051_Musings_on_Telepresence_and_Virtual_Presence>.

SHERIDAN, T. B. Recollections on Presence Beginnings, and Some Challenges for Augmented and Virtual Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 25, p. 75–77, 2016. Disponível em: <http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/PRES_a_00152%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1162/PRES_a_00152>.

SLATER, M. et al. Immersion, presence, and performance in virtual environments: an experiment with tri-dimensional chess. *Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 1996)*, Hong Kong, China, n. JUNE, p. 163–172, 1996.

SLATER, M. Measuring Presence: A Response to the Witmer and Singer Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 8, n. 5, p. 560–565, 1999. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/105474699566477>>.

SLATER, M. Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 364, n. 1535, p. 3549–3557, 2009.

SLATER, M. et al. How we experience immersive virtual environments: The concept of presence and its measurement. *Anuario de Psicologia*, v. 40, n. 2, p. 193–210, 2009.

SLATER, M.; USOH, C. M. An Experimental Exploration of Presence in Virtual Environments. Department of Computer Science Technical Report No. 689, p. 1–35, 1993a. Disponível em: <[http://publicationslist.org/data/melslater/ref-269/first paper.pdf](http://publicationslist.org/data/melslater/ref-269/first%20paper.pdf)>.

SLATER, M.; USOH, C. M. Presence in immersive virtual environments. *Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium*, n. c, p. 90–96, 1993b. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/380793/>>.

SLATER, M.; USOH, M. Presence: Experiments in the Psychology of Virtual Environments. 135th AES Convention, 1996. Disponível em: <http://www8.cs.umu.se/kurser/TDBD12/VT06/articles/precense-paper-teap_full96.pdf>.

SLATER, M.; USOH, M.; STEED, A. Depth of Presence in Virtual Environments. p. 1–33, 1994.

SPIELBERG, S. Ready Player One Warner Bros, , 2018. .

STEUER, J. Defining virtual reality: dimensions determining telepresence. *Communication in the age of virtual reality*, p. 33–56, 1993. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=207925>>.

SUTHERLAND, I. E. The ultimate display. *Proceedings of the Congress of the International Federation of Information Processing (IFIP)*, p. 506–508, 1965. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.136.3720>>.

SUTHERLAND, I. E. A head-mounted three dimensional display. *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I on - AFIPS '68 (Fall, part I)*, p. 757, 1968. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1476589.1476686>>.

WITMER, B. G.; SINGER, M. J. Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence

Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 7, n. 3, p. 225–240, 1998. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/105474698565686>>.

ZELTZER, D. Autonomy, Interaction, and Presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 1, n. 1, p. 127–132, 1992. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/pres.1992.1.1.127>>.

2.3. Seção 2: Arquitetura, Realidade Virtual e Experiência do Usuário

2.3.1. Resumo

Este estudo explora as vantagens do uso de ambientes virtuais imersivos na prática de arquitetos e professores da área. Inicialmente, são apresentados conceitos que visam aprimorar a usabilidade no campo arquitetônico. A metodologia empregada compreendeu a análise de 67 artigos publicados entre 2017 e 2019, além de trabalhos anteriores a 2017 que discutem a história e os conceitos associados ao tema. Os resultados encontrados foram categorizados em três subáreas: a) o ensino de arquitetura, b) o processo criativo e c) o patrimônio histórico. Esses resultados evidenciaram uma diversidade de trabalhos que exploram as múltiplas possibilidades da imersão no contexto de arquitetura e urbanismo.

2.3.2. Introdução

A possibilidade de visitar um lugar antes de construí-lo, andar por ele como se estivesse no mundo físico, interagir com as mãos abrindo portas, ligar a TV, ou mesmo se esticar para pegar um objeto na prateleira de cima, soa como algo desejável para estudos em arquitetura, principalmente quando o foco do trabalho envolve a Experiência do Usuário (UX). Até recentemente, a experimentação de espaços arquitetônicos antes da construção física era rara, tanto para o cliente quanto para os profissionais da área, exigindo, entre outros, a execução de pelo menos parte da construção em escala natural (BAYRAMZADEH et al., 2018), o que dificulta consideravelmente vivenciar o local antecipadamente. Isso exige grandes esforços, tempo e custos significativos (KIEFERLE; WOESSNER, 2019; KLERK et al., 2019).

Em geral, a Realidade Virtual (RV) possibilita a criação de ilusões sensoriais, impactando especialmente a visão e a audição humanas. Apesar de algumas limitações, como a falta de materialidade, a utilização dessa tecnologia na arquitetura preenche uma lacuna ainda não solucionada pelos métodos tradicionais, proporcionando ao usuário a exploração interativa e em escala real de um projeto.

O contato visual e a interação com ambientes virtuais em escala 1:1 possibilitam a análise e a exploração de um projeto arquitetônico como se já estivesse edificado. Ademais, a execução de movimentos humanos naturais, como ficar de pé, caminhar e utilizar as mãos para interagir, resulta em uma percepção espacial sem precedentes em relação às ferramentas de pesquisa comumente empregadas por arquitetos. Dessa forma, os ambientes imersivos permitem aos usuários

familiarizar-se com o espaço e experimentar sensações e reações similares às vivenciadas no mundo físico (SLATER et al., 2009).

Os recentes avanços tecnológicos e a popularização da VR em diversos campos do conhecimento, especialmente na arquitetura, impulsionaram o uso e a disseminação dessa tecnologia no ensino e na prática profissional dos arquitetos. Tal inovação possibilita, por exemplo, que professor e estudante vivenciem o espaço desde as etapas iniciais de concepção até a apresentação do projeto, abrangendo tanto o processo criativo quanto a experiência do usuário.

A visualização em tamanho real, combinada aos movimentos naturais do corpo humano e à interação com o ambiente virtual, contribuem significativamente para uma aplicação eficaz da VR no âmbito do ensino do espaço construído, desde que a ferramenta seja adequadamente explorada. Assim, este estudo aborda os benefícios do uso de Ambientes Virtuais Imersivos (IVEs) no cotidiano arquitetônico, enfocando a experiência do usuário. A primeira seção apresenta conceitos fundamentais para aprimorar a usabilidade da VR na arquitetura. Em seguida, três subáreas distintas são examinadas para ilustrar algumas das aplicações mais comuns: a) educação em arquitetura, b) processo criativo e c) patrimônio histórico. A metodologia empregada envolve a análise de 67 artigos científicos publicados entre 2017 e 2019, bem como estudos anteriores a 2017 que investigam a história e os conceitos relacionados ao tema.

2.3.3. Métodos

Uma pesquisa bibliográfica foi realizada na base de dados Cumincad (*Cumulative Index of Computer Aided Architectural Design*), que reúne pesquisas científicas sobre arquitetura assistida por computador publicadas anualmente nos eventos ACADIA, ASCAAD, CAADFutures, CAADRIA, eCAADe e SiGRADi. As palavras-chave utilizadas foram: *virtual reality, Learning, Pedagogy and Heritage*, referentes aos anos de 2017, 2018 e 2019. Além disso, foram consultadas bases de dados dos sites sciencedirect.com, mitpressjournals.org/presence e outros presentes nas referências bibliográficas dos textos analisados, bem como dissertações de mestrado e teses de doutorado relacionadas ao tema. As obras foram selecionadas conforme o conteúdo, distinguindo-se aquelas associadas à VR, arquitetura e uma das três subáreas: a) Aprendizado, b) Processo criativo e c) Patrimônio histórico. Assim, obteve-se um conjunto de 67 artigos. Os procedimentos adotados são semelhantes aos utilizados por Tiani (2007) e Milovanovic et al. (2017).

Após a segregação, foram realizadas anotações e, posteriormente, elaborados mapas mentais que auxiliaram na conexão entre os temas. Por fim, seguindo uma ordem lógica, foi conduzida uma revisão literária dos tópicos abordados.

2.3.4. Realidade Virtual- um breve histórico

O que é realidade virtual e como ela pode influenciar a arquitetura?

Desde a publicação do primeiro artigo de Ivan Sutherland sobre o tema em 1965, diversos pesquisadores têm desenvolvido estudos aprofundados acerca de conceitos e tecnologias relacionados a ambientes virtuais (BLANCHARD et al., 1990). Naquele momento, Sutherland (1965) propôs "*The Ultimate Display*", descrevendo: "[...] uma sala na qual o computador pode controlar a existência da matéria". Posteriormente, Ivan apresentou um equipamento chamado *Head Mounted Three-Dimensional Display* (SUTHERLAND, 1968), tecnologia que evoluiu significativamente até os dias atuais, sendo mais conhecida como *Head Mounted Display* – HMD, ou óculos de realidade virtual.

O termo Realidade Virtual foi definido na década de 1980, creditado à Jaron Lanier (MACHOVER; TICE, 1994), que na época precisava diferenciar as simulações tradicionais dos mundos virtuais que investigava (MACHADO, 1995).

No contexto atual, a VR é frequentemente caracterizada como um ambiente gerado por computador, proporcionando ao espectador uma ilusão convincente de estar em um mundo artificial. Essa tecnologia permite que o observador se movimente e interaja de maneira natural, de modo que o usuário possa temporária e parcialmente esquecer o mundo físico (PAES; ARANTES; IRIZARRY, 2017). Rebelo et al. (REBELO et al., 2012) consideram o conceito de VR centrado na sensação de estar presente em um lugar, mesmo que a pessoa esteja fisicamente em outro lugar.

2.3.5. Conceitos básicos de realidade virtual

Antes de passar pelos capítulos que demonstram a aplicação prática da VR na arquitetura, é fundamental conhecer alguns conceitos básicos, que são: imersão, interação, imaginação, presença, além de outros igualmente importantes, porém mais voltados para equipamentos físicos como estereoscopia e doença do simulador. Na descrição de cada conceito, destaca-se a sua importância para o campo da arquitetura.

2.3.5.1. Estereoscopia

Em 1838, Sir Charles Wheatstone relatou em seu artigo que, ao observar objetos distantes, os eixos ópticos dos olhos se mantêm quase paralelos, resultando em uma percepção quase idêntica em cada olho. No entanto, conforme o objeto se aproxima do observador, os eixos ópticos se cruzam,

capturando imagens levemente diferentes para cada olho. Essas imagens são então combinadas pelo cérebro, permitindo que se tenha uma noção de profundidade (WHEATSTONE, 1838).

Naquela época, Wheatstone desenvolveu um equipamento para visualizar esse fenômeno, utilizando um par de figuras geométricas com pequenas variações de perspectiva (SILVERMAN, 1993, p. 729). Ainda no séc. XVIII este mesmo princípio foi utilizado no “Holmes Stereoscope”, um equipamento no qual inseriam-se duas fotografias semelhantes para obter-se a sensação de uma visão tridimensional da imagem (SILVERMAN, 1993). Essa mesma técnica é atualmente aplicada nos *headsets* de realidade virtual, que possuem duas telas separadas, uma para cada olho. Essas telas exibem imagens bidimensionais semelhantes, que, quando combinadas pelo cérebro, resultam na percepção de profundidade. As Figuras 5 a 7, abaixo, ilustram os equipamentos citados.

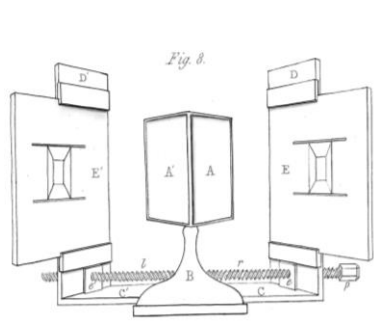


Figura 5 – Equipamento de estereoscopia proposto por Charles Wheatstone na primeira metade do séc. XIX.

Fonte: (WHEATSTONE, 1838)

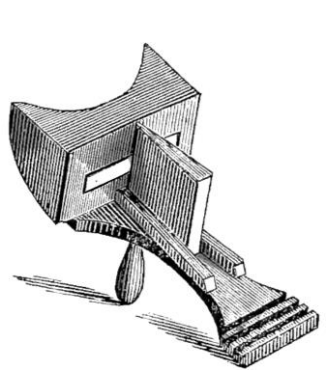


Figura 6 – Desenho do “Holmes Stereoscope”, publicado na segunda metade do Séc. XIX.

Fonte: (WILSON, 1869)



Figura 7 – “Metaquest”, um HDM de Realidade Virtual lançado em maio de 2019.

Fonte: o autor, 2019.

Por esta razão, ao utilizar um *headset* de realidade virtual atual, um usuário que observe um objeto se aproximando experimentará uma sensação subconsciente de iminente colisão. Essa sensação não é causada apenas pelo aumento do tamanho do objeto na tela, mas sim pela combinação de imagens distintas, porém semelhantes, capturadas por cada olho e interpretadas pelo cérebro.

Trazendo isso para o campo da arquitetura, é relevante compreender que, mesmo ao experimentar uma simples edificação em realidade virtual, objetos que estão próximos ao espectador e se movem em sua direção, como uma porta se abrindo, tendem a criar uma sensação intensa de profundidade, ampliando a percepção de realismo na experiência do usuário por meio da estereoscopia (RENNER; VELICHKOVSKY; HELMERT, 2013). Estudos conduzidos por Renner e sua equipe demonstraram que a visão estereoscópica é mais eficaz quando os objetos observados estão a uma distância inferior a 3 metros, e quanto mais próximo o elemento visual está do usuário, mais intensa é a sensação de profundidade. Essa medida de 3 metros mencionada é coerente com a escala arquitetônica e é facilmente aplicada nas experiências da área.

Alguns *softwares* permitem a criação de imagens em 360 graus, oferecendo a opção de uma observação imersiva por meio de um dispositivo de realidade virtual (HMD, sigla em inglês). Essa abordagem pode fornecer resultados excelentes para apresentações de projetos de design. No entanto, se a imagem for do tipo mono (imagem ou vídeo único), a qualidade da experiência será reduzida, pois o efeito da percepção estereoscópica é praticamente anulado. Por esse motivo, é altamente recomendável, especialmente em apresentações de projetos arquitetônicos, optar por vistas estereoscópicas sempre que possível.

2.3.5.2. Presença

Muitos autores consideram a presença um elemento de grande relevância nos estudos de Realidade Virtual. Steuer (1993) propõe que o termo Presença é a chave para a definição de RV. Portanto, é um estado de consciência, uma sensação psicológica de estar em um lugar, embora fisicamente o corpo esteja em outro lugar (SLATER et al., 1996). Para Slater, níveis mais altos de Presença significam mais chances para o usuário agir da mesma forma que faria se estivesse no mundo físico.

No campo da arquitetura, como na maioria das áreas, é desejável ter altos níveis de presença. Portanto, a riqueza e o realismo gráfico do cenário, a fidelidade às proporções do mundo físico e os efeitos visuais adicionados com boa interação podem aumentar significativamente a sensação de presença, assim como reduzir o ruído externo (sons de fora do ambiente ou objetos que impedem a livre circulação).

Outro fator relacionado à arquitetura e ao senso de presença é o envolvimento do participante com o que vai vivenciar. Neste caso, sendo a casa onde o cliente vai viver, a sua imaginação estará sem dúvida aguçada, e a presença tenderá a ser muito maior do que se a mesma pessoa estivesse a ver qualquer edifício. Em suma, a relação subjetiva da pessoa com o projeto se refletirá em níveis mais profundos de presença, potencializando a experiência do usuário.

2.3.5.3. Imersão

A imersão refere-se à sensação de perceber-se inserido em um lugar diferente do espaço físico real. Difere da presença porque não é um estado psicológico, mas sim a capacidade do *hardware* de isolar o usuário do mundo físico, permitindo que ele se perceba inserido no ambiente virtual. Assim, por exemplo, aparelhos com ângulos de visão mais amplos tendem a oferecer imersões mais eficientes. Sentir-se imerso não se traduz necessariamente em altos níveis de presença (SLATER; WILBUR, 1997); ainda assim, equipamentos que oferecem boa qualidade de imersão podem aumentar a sensação de presença em uma determinada experiência.

Na arquitetura, altos níveis de presença são desejáveis, portanto, equipamentos que ofereçam boa imersão contribuirão significativamente para a qualidade do uso da RV, seja por profissionais, estudantes ou clientes.

2.3.5.4. Interação

Em realidade virtual (RV), a interatividade é entendida como a capacidade do utilizador de influenciar o ambiente virtual, provocando uma ou múltiplas respostas deste. Movimentos simples do usuário, como o giro da cabeça ou a movimentação corporal no espaço virtual, constituem-se como formas de interação, segundo Sheridan (2000).

Na arquitetura e em muitas outras áreas, a interação é uma das principais vantagens da RV, principalmente na hora de estudar e apresentar projetos. Dentro de um ambiente virtual, é um recurso que permite ao usuário, com as próprias mãos, acender uma lâmpada, abrir portas, trocar materiais de acabamento, focar a visão em um elemento específico (pode ser um objeto, a estrutura de um prédio, encanamentos, elétricos, diversos), entre muitos outros.

A interação exige que o usuário se concentre mais intensamente na ação realizada. Por exemplo, esticar o braço para desligar um interruptor de luz. Ao fazer isso, ele tende a se concentrar no movimento de sua mão até chegar ao botão visualizado, o que torna sua atenção mais voltada para o mundo virtual (esquecendo brevemente do mundo físico). Em consequência, os níveis de presença aumentam e o sentido de realismo também tende a ser mais significativo.

2.3.5.5. Imaginação

Na Realidade Virtual, essa é a variável que ajuda a mente a ignorar as imperfeições das cenas digitais, aumentando a percepção da realidade na experiência. Sheridan (2000) explica que isso é importante para que o usuário ignore as pistas disponíveis que denunciam que uma experiência de VR é algo irreal. Ou seja, a imaginação ajuda a manter a mente focada na experiência virtual.

O conhecimento dessa variável revela que é possível obter percepções satisfatórias do espaço arquitetônico em realidade virtual, mesmo sem enfatizar o realismo dos acabamentos (PAES; ARANTES; IRIZARRY, 2017; DOKONAL; MEDEIROS, 2019). Por exemplo, o trabalho de Moloney et al. (2017), propõe sistemas imersivos não realistas para a interpretação histórica de desenhos arquitetônicos. Assim, em muitos casos, a inclusão de todos os detalhes em um modelo virtual pode não ser necessária para proporcionar uma experiência agradável com elevados níveis de presença, dependendo dos objetivos pretendidos.

Ao contrário disso, o esforço dedicado ao desenvolvimento de modelos ultrarrealistas, sem considerar adequadamente a quantidade excessiva de polígonos, pode comprometer a fluidez da exibição e sobrecarregar a capacidade de processamento do *hardware*, resultando em sensações desagradáveis, como será explicado no próximo tópico.

2.3.5.6. Doença do simulador

Entender o conceito deste termo é essencial para tomar alguns cuidados para evitar que experiências específicas em VR se tornem desagradáveis, causando tonturas, náuseas e outros sintomas.

A década de 1990 viu o primeiro boom da VR no mercado, mas a expectativa criada na mídia não foi atendida, pois a tecnologia não foi desenvolvida adequadamente para o público em geral (VOSHART, 2015). Assim, muitas das pessoas que utilizavam o equipamento naquela época relatavam tonturas, náuseas ou algum mal-estar. Isso geralmente ocorre quando as imagens vistas pelos olhos (através do HMD) não correspondem ao movimento do corpo humano, causando um conflito de informações no cérebro, o que pode resultar em um leque de sintomas como, tontura, dor de cabeça, vertigem, fadiga ocular, sudorese, e em casos mais graves, vômitos (KIM et al., 2021).

No campo da arquitetura, é de grande importância conhecer esse conceito, especialmente porque o acesso à VR está cada vez mais fácil, inclusive com alguns *softwares* carregando o modelo para o ambiente imersivo após apenas um clique. Isso é altamente positivo, mas é necessário ter atenção a alguns pontos para evitar que a experiência se torne desagradável e até mesmo cause os sintomas negativos mencionados acima. Entre os cuidados, cita-se:

- a) O modelo virtual não deve exigir uma capacidade de processamento superior à do processador utilizado, isso pode resultar em imagens que não acompanham perfeitamente os movimentos do corpo do usuário, resultando na chamada doença do simulador;
- b) O *hardware* escolhido precisa ser adequado para o tipo de experiência desejada. Por exemplo, se durante o uso, a pessoa precisar se levantar para realizar alguma tarefa, mas o equipamento imersivo só permitir o giro da cabeça, ao levantar-se, o usuário pode sentir os efeitos desagradáveis mencionados;
- c) As ações realizadas dentro do ambiente de realidade virtual devem ser compatíveis com a preparação do cenário e da programação, do contrário podem resultar em uma experiência ruim. Por exemplo, voar muito próximo de elementos grandes como paredes ou de outros objetos do cenário, sem a devida preparação, pode resultar nos sintomas mencionados.

Ter conhecimento dessas questões pode também auxiliar na orientação de usuários que tenham tido experiências anteriores negativas em realidade virtual. Explicar os motivos por trás desses problemas e incentivar essas pessoas a tentarem novamente, agora com os devidos cuidados e ajustes, pode ser muito útil para que elas possam desfrutar de uma imersão mais satisfatória.

2.3.6. VR no Ensino de Arquitetura

No geral, o setor educacional considera a tecnologia da informação uma ferramenta essencial para o desenvolvimento da aprendizagem (SAMPAIO et al., 2010; SORGUÇ et al., 2017; BASHABSHEH; ALZOUBI; ALI, 2019). A presença da Realidade Virtual nas escolas de arquitetura não é novidade. Por exemplo, na década de 1990 o trabalho de Donath e Regenbrecht (1996) já apresentava a criação de um aplicativo imersivos dedicados ao ensino de arquitetura. Alvarado e Maver (1999) descreveram vários exemplos de utilização da VR no contexto do ensino da profissão.

Com os avanços tecnológicos, a VR se tornou popular novamente na década de 2010, principalmente pelos HMDs que surgiram. Isso trouxe uma nova leva de trabalhos com resultados frutíferos da aplicação da imersão em diversos campos do conhecimento, inclusive na arquitetura. Diante disso, no presente tópico são relatados experimentos que demonstram o uso da VR como uma ferramenta que melhora o processo de ensino de arquitetura.

Por exemplo, Angulo (2015) utilizou o ambiente imersivo com alunos de graduação e pós-graduação para entender o problema de design proposto em aula. Mais tarde, eles avaliariam suas soluções de projeto. A tarefa era projetar o saguão de um edifício, considerando, entre outros requisitos, as emoções que os hóspedes sentiriam na chegada e na saída. Também foi necessário analisar o espaço do ponto de vista afetivo. Isso é particularmente difícil principalmente por causa do grau de subjetividade. No entanto, essa análise foi facilitada pelo uso da RV, pois os alunos puderam aproveitar a leitura em grande escala, a visão estereoscópica e os movimentos naturais do corpo humano - auxiliando na percepção do espaço e das sensações que as pessoas tendem a experimentar ao entrar no saguão. Nesta mesma experiência, a imersão ocorreu durante o processo de elaboração da proposta (antes da apresentação final). Com isso os alunos obtiveram feedback imediato, o que desencadeou melhorias nos projetos. Os resultados mostraram que a maioria dos alunos considerou o uso da realidade virtual como bom ou muito bom.

Esse argumento converge com o trabalho de Kieferle e Woessner (2019), cujos alunos vivenciaram a VR no primeiro semestre de arquitetura. Os autores realizaram três experimentos, em um deles, os estudantes puderam utilizar as ferramentas convencionais aliadas ao meio imersivo. Eles produziram seus trabalhos por meio de desenhos à mão e maquetes de papelão, deixando para o

uso de VR apenas na fase final (houve uma introdução ao Revit apenas duas semanas antes da submissão). Como resultado, os autores descobriram que muitos dos alunos, ao projetar usando apenas desenhos e modelos físicos, não estavam tão cientes ou treinados sobre como seria seu design em escala real. Portanto, aqueles que usaram VR tiveram uma melhor compreensão da aparência espacial de seu projeto.

Sönmez e Sorguç (2018) verificaram a influência da VR no ensino das relações espaciais com a escala humana. Em sua pesquisa, o problema proposto aos alunos envolvia o projeto de uma cozinha para cadeirante. Assim, os alunos usaram a VR sentados em uma cadeira e esticando os braços e as mãos para simular o alcance dos objetos, verificando assim as medidas do projeto.

O trabalho descrito acima é consistente com a ideia de que ferramentas imersivas podem ajudar a trazer de volta uma melhor compreensão espacial e em escala humana (DOKONAL; MEDEIROS, 2019). Para Dokonal e Medeiros, esses conceitos se dispersaram um pouco no final do século passado com a passagem das ferramentas analógicas para as digitais, mas agora podem ser resgatados por meio da realidade virtual.

Ensinar sobre "conhecimento de design" e percepção do espaço está entre os desafios significativos nos cursos de arquitetura (SOPHER; KALAY; FISHER-GEWIRTZMAN, 2017). Além dessas, outras áreas acadêmicas também são exploradas por meio da VR para aprimorar os métodos convencionais. Wendell e Altin (2017), por exemplo, investigaram a lacuna no ensino da história da arquitetura, ensinada canonicamente por meio da fotografia. Eles apontaram que os alunos geralmente aprendem sobre um determinado edifício olhando para ele apenas do ponto de vista dos fotógrafos, deixando muito do edifício fora da percepção do aluno. Esse raciocínio corrobora as afirmações de Zevi (1996), que, na década de 1940, considerava que o uso de fotografias não era suficiente para representar adequadamente a arquitetura de uma edificação.

Wendell e Altin (2017) comparam uma aula de história da arquitetura usando realidade virtual com a mesma aula sem VR, limitada apenas a fotografias. Usando um HMD e programando os experimentos por meio de um *software* de produção de jogos, os autores escolheram o Pavilhão de Barcelona para realizar a pesquisa. Cerca de 50 alunos foram conduzidos pelo prédio e usaram os controles (*hardware*) para registrar suas fotografias, criando um registro visual único de cada aluno. Esta atividade revelou-se eficiente ao proporcionar a modificação da postura passiva dos alunos para o envolvimento ativo, onde passaram a atuar como exploradores do espaço, o que se traduziu em algo particularmente importante na atividade pedagógica.

Ainda, com o objetivo de avaliar a capacidade de obtenção de informações utilizando a RV, comparando-a com os métodos convencionais, Bashabsheh , Alzoubi e Ali (2019) desenvolveram um *software* imersivo e interativo onde os alunos aprendem sobre como ocorre o passo a passo da construção de uma edificação. Isto incluiu escavação, fundação, montagem de ferragens, entre outros, até chegar à sua conclusão. Os graduandos dificilmente aprendem essas informações em detalhes, principalmente devido aos custos e tempo necessários. Tradicionalmente, as visitas técnicas a edificações são imprescindíveis, mas permitem a observação de detalhes construtivos apenas nesse momento, muitas vezes deixando lacunas com outras etapas. A ferramenta imersiva proposta pelos autores mostrou-se eficiente em aproximar os alunos das fases da construção, muitas vezes vivenciadas passo-a-passo somente após a faculdade.

Além do exposto, diversas outras publicações investigam a possível interferência da VR no campo do ensino de arquitetura, buscando melhorar a experiência do usuário. Os trabalhos de Milovanovic et al. (2018) e Sopher et al. (2017), por exemplo, discutem meios e métodos para avaliar os efeitos da VR no ensino de arquitetura. Asanowicz (2018) experimentou o Google Block com seus alunos, pedindo-lhes que modelassem nos estágios iniciais. Bartosh e Anzalone (2019) descreveram o Tilt Brush como uma ferramenta de design imersiva e sugeriram a VR como uma tecnologia que pode incentivar os alunos a projetar além do intervalo esperado. Outros autores também compartilham da ideia de que o ambiente imersivo pode servir como estimulante no processo de aprendizagem da nova geração (SORGUÇ et al., 2017; BASHABSHEH; ALZOUBI; ALI, 2019).

A pesquisa acima mostrou exemplos e avanços positivos nos métodos de aplicação da VR em sala de aula. Acredita-se que em breve ocorrerá o uso massivo dessas mídias imersivas nos cursos de arquitetura, não para competir com as ferramentas atuais, mas, ao contrário, para somar a elas, assim como o computador de mesa fez décadas atrás.

2.3.7. O processo criativo dentro da RV

Talvez os principais benefícios da Realidade Virtual na arquitetura sejam visualização e interação em grande escala (MILOVANOVIC et al., 2017). Nenhuma outra ferramenta, digital ou analógica, é apresentada como paralela. Dito isso, dentre as possibilidades oferecidas por essa ferramenta, está a realização do ato criativo dentro da própria RV. Assim, o homem passa a explorar as formas na escala de sua escolha, inclusive o natural. Assim, o arquiteto pode virtualmente “moldar” um edifício numa pequena mesa à sua frente e, a qualquer momento, pode continuar a modificar a forma, alterar a escala e entrar no edifício.

Um dos primeiros estudos nessa linha foi feito por Clark em 1976. Usando um dos primeiros HMDs 6Dof e controle, os usuários manipulavam as formas paramétricas dos objetos no ambiente virtual. Ainda era um cenário de figuras de arame, mas já naquela época o autor já classificava como excitante a sensação de manipular modelos de modo imersivo (CLARK, 1976).

É mais comum encontrar no mercado exemplos de aplicação de VR em arquitetura direcionados à apresentação de obras acabadas (SCHNABEL et al., 2001; KLERK et al., 2019), e embora não haja consenso sobre o método ou *software* para desenvolver a modelagem arquitetônica dentro da VR (KLERK et al., 2019), pesquisas existentes desde a década de 1990 até recentemente apontam para os resultados positivos e promissores de seus experimentos, por exemplo (BUTTERWORTH et al., 1992; DONATH; REGENBRECHT, 1996; DONATH; KRUIJFF; REGENBRECHT, 1999; HILL II; CHAN; CRUZ-NEIRA, 1999; DE VRIES; ACHTEN, 2002; RAHIMIAN et al., 2011; SCHNABEL, 2011; SASAKI et al., 2013; JACKSON; KEEFE, 2016; KLERK et al., 2019). Mesmo assim, de maneira geral, o uso da VR para esse fim ainda pode ser considerado experimental.

O design dentro do VE dá aos arquitetos uma forma de trabalhar distinta daquelas consideradas usuais (SCHNABEL et al., 2001). Além de possibilitar o ato criativo na escala 1:1, o que é raro nos métodos convencionais, o *software* de modelagem imersiva normalmente requer não apenas o movimento da mão (como no caso do mouse e do teclado), mas também do braço, da cabeça e até de todo o corpo, ou seja, para um arquiteto modelar através do VE, é provável que ele se mova como alguém que está “esculpindo” a obra (SCHNABEL et al., 2001). Opcionalmente, ele pode optar por mover para cima ou para baixo e observar ângulos específicos em escala real para modificar detalhes. Ao projetar usando VR, não é incomum que um profissional decida ficar em pé para ter mais liberdade de movimento e ver quais sensações os ambientes tendem a provocar nos usuários.

Para exemplificar o parágrafo acima, imagine o caso de um arquiteto projetando o interior de uma cozinha residencial (SÖNMEZ; SORGUÇ, 2018). Se durante o processo de tomada de decisão ele usa VR para modelar, é provável que às vezes ele se levante e estenda as mãos para verificar o alcance das prateleiras superiores ou abra os braços para confirmar se a distância entre as bancadas é satisfatória. Da mesma forma - ainda dentro da VR - o designer pode imediatamente usar suas mãos para empurrar ou puxar os volumes (armários, bancadas, paredes e outros) alterando a forma para o resultado desejado, realizando tudo na escala 1:1 ou em outra de sua escolha.

A inclusão da VR no processo de criação pode permitir que diversas dúvidas sejam verificadas quase que imediatamente, ou seja, depois de modelar o ambiente, o tempo entre imaginar as ações

humanas no espaço e verificar se este está adequado pode ser consideravelmente reduzido – pois o próprio projetista poderá se movimentar pelo cômodo e testar as medidas e outras variáveis.

Esse raciocínio corrobora com o trabalho de Schnabel (2011), que sugere que o design por meio da VR pode exigir menos carga cognitiva durante o processo de design. Rahimian e Ibrahim (2011) também retrataram isso ao investigar o impacto do uso da interface 3D VR nas cognições e ações de designers iniciantes. Seus resultados mostraram que a interação no ambiente imersivo melhorou as atividades cognitivas dos usuários. Em outro estudo, ao comparar o ato criativo entre VR e desktops, as opções interativas de VR foram mais rápidas e intuitivas (JACKSON; KEEFE, 2016).

Para o ato criativo utilizando desktops, a maioria dos programas CAD como Revit, Autocad, Rhino, entre outros, apesar de normalmente rápidos, requerem um esforço inicial considerável para produzir esboços arquitetônicos e uma curva de aprendizado acentuada (KLERK et al., 2019). Para Rahimian e Ibrahim (2011) o uso de *softwares* como esses pode dificultar as atividades cognitivas durante o processo conceitual.

No contrafluxo desses programas, outros como o Trimble Sketchup e o Autodesk Formit têm uma curva de aprendizado curta e apresentam sistemas de modelagem simples que os tornam mais adequados para os primeiros estágios criativos. Nesse sentido, Klerk propôs um *software* projetado para modelagem arquitetônica imersiva chamado Maketeer (VR), e comparou-o ao Sketchup (*desktop*), os resultados mostraram que a usabilidade para os estágios iniciais de ideação foi melhor no *software* de realidade virtual (KLERK et al., 2019).

Além de oferecer a opção de interagir com os elementos do ambiente virtual e permitir a visualização em escala 1:1 -a Realidade Virtual também pode aprimorar a percepção do espaço arquitetônico por meio de movimento 6D e estereoscopia. Quando um designer usa VR para esboçar ideias, ele também pode usar os movimentos de seu corpo para simular o que um usuário final faria no mundo físico. Assim, a experiência do usuário para um determinado projeto ainda pode ocorrer durante o processo criativo, oferecendo um feedback inigualável em ferramentas tradicionais, tanto em velocidade (MAPES; MOSHELL, 1995; SCHULTHEIS et al., 2012) quanto em compreensão espacial (DOKONAL; KNIGHT; DENG, 2016; KIEFERLE; WOESSNER, 2019).

Sobre a percepção no ambiente virtual, vale citar o trabalho de Paes (2017) que investigou a leitura de distâncias métricas dentro da VR comparada a uma tela de monitor verificando que as dimensões arquitetônicas eram melhor percebidas no modo imersivo.

Na literatura até aqui investigada, também estão presentes as considerações dos usuários sobre as dificuldades e sugestões de melhorias para o uso da VR no contexto do processo criativo, essenciais

para entender que existem pontos positivos e negativos. No entanto, é relevante mencionar que o estado atual de desenvolvimento da tecnologia é viável e com potencial considerável para melhorar os procedimentos arquitetônicos convencionais, especialmente nos estágios iniciais de ideação. Isso reforça a ideia de que, em comparação com uma tela 2D, a manipulação de EVs durante o processo de design faz com que os profissionais entendam (ou visualizem) melhor o espaço (SCHNABEL et al., 2001; JACKSON; KEEFE, 2016).

2.3.8. VR e Patrimônio Histórico Arquitetônico

A arquitetura é um tipo de arte que, em geral, e ao contrário da música, pinturas e outras, não pode ser transportada para outros lugares que não o seu local de origem, e isso representa uma barreira à divulgação de edifícios considerados patrimônio arquitetônico, especialmente aqueles com valor histórico (ZEVI, 1996; REBELO, 1999). Neste sentido, a VR tem sido amplamente explorada para preservar e difundir edifícios e sítios arqueológicos (REBELO, 1999).

Além da indisponibilidade de deslocamento mencionada no parágrafo anterior, a contemplação dos espaços arquitetônicos exige mais do que uma observação à distância (como no caso das esculturas, por exemplo) - é preciso entrar no local e explorá-lo caminhando nas mais diversas instruções. É desejável que os visitantes decidam para onde querem ir e observem o local através do movimento. (VILAS BOAS, 2005). Portanto, a leitura do espaço arquitetônico pode ser considerada resultado das intenções do autor (muitas vezes arquiteto, mas nem sempre) somadas ao uso efetivo dos habitantes. Ou, pelo menos, adicionado à forma como os visitantes decidiram se mover, olhar e às vezes interagir.

A leitura mais apropriada de edifícios e sítios arquitetônicos de fato ocorre "ao vivo". Como as construções não estão disponíveis para deslocamento, a realidade virtual pode ser uma forma de aproximar o usuário de uma visita ao local, proporcionando uma profunda sensação de estar presente no edifício (WITMER; SINGER, 1998), possibilitando um passeio vibrante, com cenografia, interações, entre outros.

Além disso, existem vários lugares no mundo com acesso restrito ou quase inabitável, mas que configuram espaços arquitetônicos de interesse público para visita, seja por motivos acadêmicos e culturais ou mesmo apenas pela curiosidade humana. Nesse sentido, a tecnologia VR estabeleceu novas formas de explorar lugares com tais peculiaridades; ou seja, a ferramenta de imersão virtual ajudou a resolver um dos problemas mais importantes do patrimônio histórico: oferecer acesso seguro para os visitantes e não destrutivo para o local (REFSLAND et al., 2000). Um exemplo disso é o trabalho de Mah et al. (2019), que coletou 360 fotografias de um templo chinês em Cingapura

para criar um tour virtual, apresentando aos usuários diversas informações interativas, incluindo dados intangíveis, como a hierarquia religiosa das divindades, práticas rituais e outras informações.

Vários motivos aproximam a VR da preservação arquitetônica, como muitos trabalhos desde as últimas décadas, como o de Stone (1998), que encontrou na VR uma forma de resguardar e divulgar com alta precisão o imenso acervo de informações coletadas sobre Stonehenge. Isso ofereceu às pessoas a capacidade de se mover virtualmente entre as rochas e observar diferentes texturas e características tridimensionais. Kim, Kesavadas e Paley (2006) recriaram uma versão tridimensional otimizada para realidade virtual do Palácio Noroeste do Rei Ashurnasirpal II, Iraque (883–859 aC) para fins de educação e demonstração pública.

Mais recentemente, Agirachman et al. (2017) remodelou uma parte de uma rua famosa no centro histórico e colonial de Bandung, na Indonésia. O objetivo dos autores foi testar o impacto visual de futuras modificações em edifícios ao longo da estrada, bem como ajudar a determinar os regulamentos específicos do local. Da mesma forma, Gomes et al. (2018) propuseram a VR como uma ferramenta para analisar as mudanças na arquitetura histórica da cidade de Belém, Brasil. Eles praticamente reconstruíram uma parte do centro histórico da cidade como era há 100 anos, a obra pretendia possibilitar aos órgãos de fiscalização a realização de análises por meio de viagens virtuais no tempo, permitindo observar e comparar como era o local, como é hoje e como poderá ficar caso seja aprovada uma determinada intervenção arquitetônica ou urbanística.

Ainda na linha da viagem virtual no tempo, um grupo de pesquisa da Universidade Federal do Rio de Janeiro desenvolveu um simulador digital para possibilitar a visita virtual ao Largo de São Francisco, no Rio de Janeiro - nos anos de 1870 e 2018 - com o objetivo de demonstrar as transformações da cidade entre os tempos. O trabalho também visa permitir a visualização de edifícios projetados para a cidade, mas que nunca foram construídos (VILAS BOAS, 2018).

Outro ramo do mercado que tem associado mais recentemente VR e patrimônio arquitetônico é a venda de produtos imersivos em lojas de jogos online, que virtualmente reconstróem prédios antigos ou sítios urbanos. Exemplos disso são as séries que reconstróem áreas do antigo Império Romano, permitindo ao público fazer viagens virtuais no tempo para vivenciar a Roma antiga. Outro exemplo são as reconstruções arquitetônicas virtuais de prédios históricos que não existem mais, como o Edifício Larkin, projetado pelo arquiteto Frank Lloyd Wright, construído em 1904 e demolido em 1954. Vale destacar também a reprodução de espaços arquitetônicos e arqueológicos como o túmulo da rainha egípcia Nefertari, que foi digitalizado e otimizado para visita virtual imersiva gratuita.

2.3.9. Considerações

O trabalho buscou discutir os benefícios que a Realidade Virtual pode oferecer ao campo profissional e acadêmico da arquitetura, principalmente aqueles relacionados ao ensino, modelagem virtual e patrimônio histórico. Em todos os três casos, exemplos positivos sugeriam um relacionamento frutífero.

As referências pesquisadas também mencionaram algumas dificuldades e necessidades de melhorias da VR para uso na arquitetura. Um deles é o isolamento causado pelo uso individual do HMD, que pode, por exemplo, diminuir o diálogo entre os alunos em uma sala de aula (KIEFERLE; WOESSNER, 2019). Isso pode não ser desejável quando, às vezes, o objetivo é encorajar discussões entre os alunos. No entanto, isso pode ser minimizado com o uso de uma TV ou display similar que permita que outros participantes visualizem, em tempo real, o que está sendo observado pelo usuário do HMD. Além disso, equipamentos de VR para uso em arquitetura requerem computadores com boa capacidade de processamento, principalmente no que diz respeito a placas de vídeo, o que aumenta o custo de aquisição. Isso pode dificultar o acesso, principalmente para alguns alunos ou profissionais recém-formados.

A ausência de materialidade na VR também é um fator que merece reflexão. Por causa disso, o designer não pode realizar algumas verificações desejáveis na arquitetura. Por exemplo, o ato de puxar uma cadeira com as mãos e se sentar pode ser importante para confirmar a ergonomia, mas a VR geralmente ainda não oferece isso. Certamente é possível planejar uma cena com uma cadeira real (física) que também existe no mundo virtual, mas casos como esse exigem mais tempo e conhecimentos mais profundos de programação, que dificilmente cabem na dinâmica do dia a dia do projeto arquitetônico.

Os benefícios que a Realidade Virtual pode oferecer ao campo profissional e acadêmico da arquitetura são únicos, proporcionando vantagens que as ferramentas atuais não conseguem alcançar. Não se espera que a VR substitua os meios produtivos de hoje, mas sim que integre a gama de ferramentas padrão disponíveis, semelhante ao que o computador fez em escritórios de arquitetura e faculdades décadas atrás.

Por fim, a Realidade Virtual é uma tecnologia ainda em desenvolvimento, que precisa e deve evoluir nos próximos anos. No entanto, os resultados encontrados indicam que, atualmente, os benefícios que ela oferece superam as imperfeições e problemas descritos, sugerindo que sua implementação é viável e positiva.

2.3.10. Referências

AGIRACHMAN, F. A. et al. REIMAGINING BRAGA Remodeling Bandung's Historical Colonial Streetscape in Virtual Reality. CAADRIA, p. 23–33, 2017. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2017_147.pdf>.

ALVARADO, R. G.; MAVER, T. Virtual Reality in Architectural Education: Defining Possibilities. In: ACADIA Quarterly, 4, Anais...1999. Disponível em: <[http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?_id=4d95&sort=DEFAULT&search=virtual reality&hits=2442](http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?_id=4d95&sort=DEFAULT&search=virtual+reality&hits=2442)>.

ANGULO, A. Rediscovering Virtual Reality in the Education of Architectural Design: The immersive simulation of spatial experiences. Ambiances [on-line], n. September, p. 0–23, 2015.

ASANOWICZ, A. Digital Architectural Composition in Virtual Space. In: eCAADe 36, Anais...2018. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2018_124>.

BARTOSH, A.; ANZALONE, P. Experimental Applications of Virtual Reality in Design Education. In: ACADIA 2019, Anais...2019. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/acadia19_458%0A>.

BASHABSHEH, A. K.; ALZOUBI, H. H.; ALI, M. Z. The application of virtual reality technology in architectural pedagogy for building constructions. Alexandria Engineering Journal, v. 58, n. 2, p. 713–723, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.06.002>>.

BAYRAMZADEH, S. et al. Using an integrative mock-up simulation approach for evidence-based evaluation of operating room design prototypes. Applied Ergonomics, v. 70, n. December 2017, p. 288–299, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.03.011>>.

BLANCHARD, C. et al. Reality built for two: a virtual reality tool. ACM SIGGRAPH Computer Graphics, v. 24, p. 35–36, 1990.

BUTTERWORTH, J. et al. 3DM : A Three Dimensional Modeler Using a Head-Mounted Display. In: ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, Anais...1992. Disponível em: <<http://papers.cumincad.org/data/works/att/9b34.content.pdf>>.

CLARK, J. H. Designing Surfaces in 3-D. Communications of the ACM, v. 19, n. 8, p. 454–460, 1976.

DE VRIES, B.; ACHTEN, H. H. DDDoolz: Designing with modular masses. Design Studies, v. 23, n. 6, p. 515–531, 2002.

DOKONAL, W.; KNIGHT, M.; DENG, E. VR or Not VR - No Longer a Question ? In: eCAADe, Anais...2016. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2016_033>.

DOKONAL, W.; MEDEIROS, M. L. I Want To Ride My Bicycle-I Want To Ride My Bike Using low cost interfaces for Virtual reality. In: eCAADe 37 / SIGraDi 23, Anais...2019. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaadesigradi2019_309>. Acesso em: 20 dez. 2019.

DONATH, D.; KRUIJFF, E.; REGENBRECHT, H. Spatial knowledge implications by using a Virtual Environment during design review. In: ACADIA Conference Proceedings, January, Anais...1999. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/250025732_Spatial_knowledge_implications_by_using_a_Virtual_Environment_during_design_review>.

DONATH, D.; REGENBRECHT, H. Using Virtual Reality Aided Design Techniques for Three - dimensional Architectural Sketching . In: ACADIA Conference Proceedings, Anais...1996. Disponível

em: <<https://cumincad.architexturez.net/doc/oai-cumincadworks-id-656d>>.

GOMES, E. B. de O. et al. The Virtual Reality as a tool to analyze modifications in the architecture of the city. Case study: the historical center of the city of Belém-Pará. In: Blucher Design Proceedings, São Paulo. Anais... São Paulo: Editora Blucher, nov. 2018. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/29810>>.

HILL II, L. C.; CHAN, C.; CRUZ-NEIRA, C. Virtual Architectural Design Tool (VADeT). In: Proceedings of the 3rd International Immersive Projection Technology Workshop, May, Anais...1999. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/231513985_Virtual_Architectural_Design_Tool_VADeT>.

JACKSON, B.; KEEFE, D. F. Lift-Off: Using Reference Imagery and Freehand Sketching to Create 3D Models in VR. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, v. 22, n. 4, p. 1442–1451, 2016.

KIEFERLE, J.; WOESSNER, U. Virtual Reality in Early Phases of Architectural Studies Experiments with first year students in immersive rear projection based. In: eCAADe 37 / SIGraDi 23, Anais...2019. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecadadesigradi2019_399>.

KIM, H. et al. Clinical predictors of cybersickness in virtual reality (VR) among highly stressed people. Scientific Reports, v. 11, n. 1, p. 1–11, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41598-021-91573-w>>.

KIM, Y. S.; KESAVADAS, T.; PALEY, S. M. The virtual site museum: A multi-purpose, authoritative, and functional virtual heritage resource. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, v. 15, n. 3, p. 245–261, 2006.

KLERK, R. De et al. Usability studies on building early stage architectural models in virtual reality. Automation in Construction, v. 3, n. March, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.009>>.

MACHADO, L. dos S. Conceitos Básicos Da Realidade Virtual. 1995. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995. Disponível em: <http://www.di.ufpb.br/liliane/publicacoes/1995_rt.pdf>.

MACHOVER, C.; TICE, S. E. Virtual Reality. IEEE Computer Graphics and Applications, v. 4, n. 3, 1994. Disponível em: <<https://www.computer.org/csdl/mags/cg/1994/01/mcg1994010015.pdf>>.

MAH, O. B. P. et al. Generating a virtual tour for the preservation of the (in)tangible cultural heritage of Tampines Chinese Temple in Singapore. Journal of Cultural Heritage, v. 39, p. 202–211, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.04.004>>.

MAPES, D. P.; MOSHELL, J. M. A Two-Handed Interface for Object Manipulation in Virtual Environments. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, v. 4, n. 4, p. 403–416, 1995.

MILOVANOVIC, J. et al. Virtual and Augmented Reality in Architectural Design and Education An Immersive Multimodal Platform to Support Architectural Pedagogy. In: CAADFutures, Anais...2017. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/cf2017_513.pdf%0A>.

MILOVANOVIC, J. et al. Representational Ecosystems in Architectural Design Studio Critiques - Do changes in the representational ecosystem affect tutors and students behaviors during design critiques? Computing for a better tomorrow - Proceedings of the 36th eCAADe Conference, v. 1, p. 351–360, 2018.

MOLONEY, J. et al. Lines from the Past - Non-photorealistic immersive virtual environments for the historical interpretation of unbuilt architectural drawings. In: eCAADe 35, Evans 1995, Anais...2017.

Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2017_151>.

PAES, D.; ARANTES, E.; IRIZARRY, J. Immersive environment for improving the understanding of architectural 3D models: Comparing user spatial perception between immersive and traditional virtual reality systems. *Automation in Construction*, v. 84, n. August 2016, p. 292–303, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.016>>.

RAHIMIAN, F. P. et al. Mediating cognitive transformation with VR 3D sketching during conceptual architectural design process. *Archnet-IJAR*, v. 5, n. 1, p. 99–113, 2011.

RAHIMIAN, F. P.; IBRAHIM, R. Impacts of VR 3D sketching on novice designers' spatial cognition in collaborative conceptual architectural design. *Design Studies*, v. 32, n. 3, p. 255–291, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2010.10.003>>.

REBELO, F. et al. Using virtual reality to assess user experience. *Human Factors*, v. 54, n. 6, p. 964–982, 2012.

REBELO, I. B. REALIDADE VIRTUAL APLICADA À ARQUITETURA E URBANISMO: REPRESENTAÇÃO, SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PROJETOS. 1999. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 1999. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/80518>>.

REFSLAND, S. T. et al. Virtual Heritage: Breathing New Life into Our Ancient Past. *IEEE Multimedia*, v. 7, n. 2, p. 20–21, 2000.

RENNER, R. S.; VELICHKOVSKY, B. M.; HELMERT, J. R. The Perception of Egocentric Distances in Virtual Environments - A Review. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, v. 46, n. 2, p. 1–40, 2013. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/2543581.2543590>>.

SAMPAIO, A. Z. et al. 3D and VR models in Civil Engineering education: Construction, rehabilitation and maintenance. *Automation in Construction*, v. 19, n. 7, p. 819–828, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2010.05.006>>.

SASAKI, N. et al. Facetons: Face primitives with adaptive bounds for building 3D architectural models in virtual environment. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST, Anais...The University of Tokyo*, 2013.

SCHNABEL, M. A. et al. The First Virtual Environment Design Studio. In: *19th eCAADe Conference Proceedings, Anais...2001*. Disponível em: <<http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/1d5a>>.

SCHNABEL, M. A. The Immersive Virtual Environment Design Studio. In: X, W.; J.J.H., T. (Ed.). *Collaborative Design in Virtual Environments. Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering*. [s.l.] Springer, Dordrecht, 2011. p. 177–191.

SCHULTHEIS, U. et al. Comparison of a two-handed interface to a wand interface and a mouse interface for fundamental 3D tasks. In: *IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2012, 3DUI 2012 - Proceedings, Anais...2012*.

SHERIDAN, T. B. Interaction, Imagination and Immersion Some Research Needs. p. 7, 2000. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/221314657_Interaction_imagination_and_immersion_some_research_needs>.

SILVERMAN, R. J. The Stereoscope and Photographic Depiction in the 19th Century. *Technology and Culture*, v. 34, n. Biomedical and Behavioral Technology, p. 729–756, 1993. Disponível em: <<http://links.jstor.org/sici?sici=0040-165X%28199310%2934%3A4%3C729%3ATSAPDI%3E2.0.CO%3B2-O>>.

SLATER, M. et al. Immersion, presence, and performance in virtual environments: an experiment with tri-dimensional chess. *Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 1996)*, Hong Kong, China, n. JUNE, p. 163–172, 1996.

SLATER, M. et al. How we experience immersive virtual environments: The concept of presence and its measurement. *Anuario de Psicologia*, v. 40, n. 2, p. 193–210, 2009.

SLATER, M.; WILBUR, S. A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 6, n. 6, p. 603–616, 1997. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/pres.1997.6.6.603>>.

SÖNMEZ, O.; SORGUÇ, A. G. Evaluating an Immersive Virtual Learning Environment for Learning How to Design in Human-Scale. In: *ecaade2018, Anais...2018*. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2018_289>.

SOPHER, H.; KALAY, Y. E.; FISHER-GEWIRTZMAN, D. Why Immersive? - Using an Immersive Virtual Environment in Architectural Education. *The 35th eCAADe Conference*, v. 1, n. Figure 1, p. 313–322, 2017. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2017_215>.

SORGUÇ, A. G. et al. The Role of VR as a New Game Changer in Computational Design Education. In: *eCAADe 35, September, Anais...2017*. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2017_142.pdf>.

STEUER, J. Defining virtual reality: dimensions determining telepresence. *Communication in the age of virtual reality*, p. 33–56, 1993. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=207925>>.

STONE, R. J. VIRTUAL STONEHENGE: Sunrise on the New. *PRESENÇA: Realidade Virtual e Aumentada*, v. 7, p. 317–319, 1998. Disponível em: <<https://www.mitpressjournals.org/doi/pdf/10.1162/105474698565749>>.

SUTHERLAND, I. E. The ultimate display. *Proceedings of the Congress of the International Federation of Information Processing (IFIP)*, p. 506–508, 1965. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.136.3720>>.

SUTHERLAND, I. E. A head-mounted three dimensional display. *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I on - AFIPS '68 (Fall, part I)*, p. 757, 1968. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1476589.1476686>>.

TIANI, A. O uso do computador no ensino de projeto de arquitetura: análise crítica da produção dos seminários Sigradi e Projetar. 2007. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.proarq.fau.ufrj.br/teses-e-dissertacoes/564/o-uso-do-computador-no-ensino-de-projeto-de-arquitetura-analise-critica-da-producao-dos-seminarios-sigradi-e-projetar>>.

VILAS BOAS, N. ALÉM DA IMAGEM ESTÁTICA: A REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DIGITAL DA EXPERIÊNCIA ESPACIAL NA ARQUITETURA. In: *SIGRADI 2005, Anais...2005*. Disponível em: <https://cumincad.architexturez.net/system/files/pdf/sigradi2005_371.content.pdf>.

VILAS BOAS, N. Máquina do tempo digital. *Ciência Hoje*, v. 347, 2018. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/artigo/maquina-do-tempo-digital/>>.

VOSHART, D. March Thesis: VR and Architecture. Disponível em: <<http://www.voshart.com/filter/Virtual-Reality/MARCH-THESIS-VR-AND-ARCHITECTURE>>. Acesso em: 30 dez. 2019.

WENDELL, A.; ALTIN, E. Learning Space - Incorporating spatial simulations in design history coursework. In: *eCAADe 35, Anais...2017*. Disponível em: <<http://papers.cumincad.org/cgi->

bin/works/paper/ecaade2017_183>.

WHEATSTONE, C. Contributions to the physiology of vision - Part the first - On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, p. 128, 1838. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1838.0019>>.

WILSON, E. L. Philadelphia Photographer. [s.l.] Boston Public Library, 1869. v. 6

WITMER, B. G.; SINGER, M. J. Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, v. 7, n. 3, p. 225–240, 1998. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/105474698565686>>.

ZEVI, B. Saber ver arquitetura. 5a Edi ed. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

2.4.Seção 3: Realidade virtual no ensino de história da arquitetura e urbanismo: uma revisão de literatura

2.4.1. Resumo

A realidade virtual tornou-se popular recentemente e muitas faculdades agora têm laboratórios imersivos. Porém, a aplicação dessa ferramenta ainda não foi amplamente consolidada, principalmente no ensino de disciplinas teóricas relacionadas ao campo do design, como a História da Arquitetura e do Urbanismo. Além disso, não são muitas as publicações que discutem as vantagens do uso da VR neste campo de estudo. O objetivo desta pesquisa é mapear os artigos científicos publicados nos últimos 25 anos relacionados ao uso da realidade virtual no ensino da história da arquitetura e do urbanismo.

Os sites de pesquisa científica ScienceDirect.com, CuminCad.org e GoogleScholar.com foram escolhidos para realizar a coleta de dados. As palavras-chave “*History of architecture*”, “*virtual reality*” e “*learning*” foram utilizadas na busca avançada de cada um dos três sites citados. Posteriormente, realizou-se uma filtragem em duas etapas, a primeira referente à leitura dos títulos e a segunda voltada para a leitura dos resumos. Por fim, os trabalhos encontrados foram classificados de acordo com a sua metodologia, bem como foram identificadas as suas principais contribuições.

A principal conclusão deste estudo é que, embora a VR não esteja consolidada na maioria dos cursos de arquitetura, sobretudo no ensino de história, diversos benefícios decorrentes de sua aplicação foram identificados por meio dos trabalhos analisados. No entanto, os métodos para a sua implementação efetiva ainda necessitam de investigações aprofundadas.

2.4.2. Introdução

2.4.2.1. Contexto

A disciplina história da arquitetura e do urbanismo é considerada fundamental no ensino da profissão por muitos autores. Está presente nas mais diversas faculdades voltadas para projeto e construção (BRANDÃO, 2012; NOFAL, 2013; HEIN; VAN DOOREN, 2020; GOMES et al., 2022a). Ela busca, entre outras coisas, estudar e interpretar as formas, finalidades e evoluções dos espaços construídos, considerando o contexto social, econômico, tecnológico e cultural de cada época e lugar.

Convencionalmente, nas aulas de disciplinas, é comum que os professores utilizem uma grande variedade de fotos, mapas, desenhos e, em alguns casos, até mesmo maquetes físicas para transmitir aos alunos o conteúdo espacial tridimensional do local a ser ministrado. (CHAN; MAVES; CRUZ-NEIRA, 1999; WENDELL; ALTIN, 2017). De forma complementar, sempre que possível, algumas faculdades agregam à metodologia de ensino a realização de visitas de campo para que os alunos possam ter um aprendizado mais completo e eficiente sobre determinado espaço.

2.4.2.2. Justificação

Embora as fotografias, desenhos e perspectivas sejam de enorme ajuda na aprendizagem, ocasionalmente existe uma lacuna em que os alunos são levados a aprender sobre um determinado edifício ou espaço urbano, visualizando-o apenas através das fotos, deixando todo o resto do espaço, ou seja, área não apresentada nas imagens, dependendo do exercício de abstração de cada estudante, que pode variar consideravelmente e não refletir o que realmente está construído (CHAN; MAVES; CRUZ-NEIRA, 1999; WENDELL; ALTIN, 2017).

Pelas razões acima, muitas escolas de arquitetura agendam visitas de campo para seus alunos, incluindo-as em seus currículos, por exemplo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 2023), para que, pelo menos em algumas disciplinas, o conhecimento seja apreendido de forma mais completa, presencial e interativa e, por analogia, mais eficiente e desejável. Esse método, no entanto, é bastante limitado devido aos altos custos financeiros, acessibilidade, restrições sanitárias, entre outros (CHAN; MAVES; CRUZ-NEIRA, 1999; FARIAS, 2013).

Além disso, quando se trata de disciplinas como a história da arquitetura e do urbanismo, dependendo do espaço e do tempo que se pretende investigar, o lugar já pode ter sofrido mudanças drásticas ao longo de décadas, séculos ou mesmo milênios. Nos casos em que isso aconteceu, até mesmo as visitas de campo perdem a eficiência, limitando a transferência de conhecimento (GOMES et al., 2021).

Outra variável que interessa ao tema em questão é o engajamento dos alunos, principalmente nos dias atuais em que as tecnologias digitais fazem parte do cotidiano. Considerando a facilidade de acesso a um *smartphone*, mesmo dentro da sala de aula, métodos de ensino mais tradicionais, por exemplo, um PowerPoint longo e cheio de imagens e textos, podem ser pouco atrativos para quem assiste (GHIDA, 2020), resultando na dificuldade que muitos professores têm de manter os alunos focados no assunto que está sendo ensinado.

Por isso, muitas vezes diante da impossibilidade de realizar a visita ao local (seja pelos altos custos financeiros, por questões sanitárias, ou simplesmente por ser inacessível), muitos professores viram

na realidade virtual uma forma de oferecer ao aluno a experiência de entrar no local e observá-lo pelos ângulos de sua escolha, caminhando e interagindo em escala real, como se estivesse lá, obtendo assim duas grandes vantagens que costumam estar presentes em saídas de campo: 1) uma percepção espacial mais completa devido à liberdade de exploração e interação, e 2) ter o próprio professor como guia, podendo passear pelos edifícios e explicar os pormenores e elementos que considere relevantes.

Além disso, ao contrário do que acontece com as obras de arte (que podem ser transportadas de uma cidade para outra), as edificações são imóveis, o que resulta em uma grande limitação na prática do ensino de arquitetura ou mesmo na divulgação de uma cultura arquitetônica (ZEVI, 1996). Nesse sentido, a VR tem mostrado um alto potencial para mudar esse paradigma (ESTEVES; FALCOSKI, 2013), pois, dados os devidos limites, possibilita que usuários, por exemplo, alunos e professores, entrem coletivamente em prédios (virtuais) e caminhem por eles, permitindo a interação por meio de avatares, que replicam movimentos e reações humanas em tempo real, como se todos estivessem presentes (GOMES et al., 2022a).

2.4.3. Problema de pesquisa:

Apesar da popularização recente da realidade virtual e da disponibilidade de laboratórios imersivos em diversas instituições de ensino, a integração efetiva dessa tecnologia no ensino da história da arquitetura e urbanismo permanece insuficientemente consolidada. Adicionalmente, até o presente momento, poucas publicações discutem as vantagens e desvantagens de usar VR para o propósito discutido aqui.

Nesse sentido, não é incomum que professores de disciplinas predominantemente teóricas, como história da arquitetura e do urbanismo, se deparem com situações em que, durante as aulas, precisam fazer um esforço considerável para manter a atenção dos alunos (GHIDA, 2020). Principalmente tendo em vista a facilidade de perder o foco que hoje é amplificada, por exemplo, pela banalidade do acesso ao celular nas salas de aula. Esse problema pode se tornar ainda mais enfático se o ensino for do tipo remoto, quando muitas vezes os alunos desligam suas câmeras e o professor deve ensinar o conteúdo apenas olhando para a tela do computador, ou seja, sem obter um feedback imediato da mensagem transmitida.

Assim, atualmente, não é raro que professores de disciplinas como história da arquitetura se interessem pela aplicação da tecnologia. Mas a frequente falta de familiaridade com ambientes imersivos e o baixo número de artigos relatando práticas de ensino dificulta a implementação (LEAL, 2018; IBRAHIM; AL-RABABAH; BANI BAKER, 2021; CHAN; BOGDANOVIC; KALIVARAPU, 2022). Assim,

as dúvidas dos professores de arquitetura sobre os reais benefícios, as dificuldades de uso e os caminhos a serem percorridos, formam, por vezes, um abismo entre a intenção de uso e a efetiva prática.

Além disso, a aplicação da RV, seja no ensino de história ou em outras disciplinas, precisa ocorrer de forma planejada e estruturada, para que o conteúdo seja transmitido de forma eficiente, potencializando o uso da ferramenta. Aplicações sem o devido cuidado por parte do professor podem trazer resultados negativos, chegando a causar desinteresse e até náuseas nos alunos (PUGGIONI et al., 2021).

Por esse motivo, o presente trabalho realiza uma revisão de literatura que visa encontrar investigações científicas que tenham aplicado a tecnologia imersiva no ensino de história da arquitetura e urbanismo, buscando trazer à tona as vantagens, limitações e conhecimentos relevantes para sua implementação nas referidas aulas.

2.4.4. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é mapear os artigos científicos publicados nos últimos 25 anos, relacionados ao uso da realidade virtual no ensino da história da arquitetura e do urbanismo. Esta pesquisa engloba trabalhos que retratam diferentes formas de utilização de ambientes imersivos na didática da disciplina em questão. Pretende-se elencar as metodologias utilizadas, as contribuições, bem como os problemas e limitações relatados.

2.4.5. Método

O presente trabalho é uma revisão de literatura que investiga pesquisas científicas baseadas no uso das palavras-chave “*History of architecture*”, “*virtual reality*” e “*learning*”, aplicadas nos sites ScienceDirect.com, CuminCad.org e GoogleA-cademico.com.

Os artigos foram selecionados considerando a inserção de todas as palavras-chave na busca avançada dos três sites. Em seguida, foram adotados dois filtros: a) leitura dos títulos e b) leitura dos resumos. Após essas etapas, foram segregados os trabalhos que efetivamente discutem a ferramenta imersiva no ensino em tela. Os resultados culminam na seleção de 25 investigações datadas de 1999 a 2023.

O primeiro site de busca foi o ScienceDirect.com, que exibe a base de dados Scopus, uma das mais relevantes em pesquisas científicas. Ele listou 31 obras e, após a leitura dos títulos e resumos,

resultou na seleção de 8 textos efetivamente ligados à realidade virtual e à história do ensino de arquitetura e urbanismo.

O segundo site foi o CuminCad.org, um repositório de artigos científicos contendo pesquisas publicadas em seis conferências internacionais, distribuídas nos cinco continentes, e voltado para pesquisas em arquitetura assistida por computador. No buscador, após o preenchimento das palavras-chave na busca avançada, foram listados 29 artigos relacionados ao tema, e após a leitura dos resumos, 7 pesquisas permaneceram em destaque.

O terceiro e último site foi o Google Acadêmico, um dos mais completos buscadores de pesquisas científicas. O resultado inicial foi de 1.210 trabalhos, número consideravelmente superior ao apresentado nos dois sites anteriores. Por esse motivo, optou-se por iniciar a leitura dos títulos de acordo com a lista apresentada pelo buscador, separando as obras que pareciam mais relacionadas ao tema em questão.

Cada página exibida continha uma lista de 10 trabalhos. À medida que as páginas avançavam, o conteúdo das investigações se distanciava do tema, até que na vigésima sequência (depois de 200 trabalhos) optou-se por encerrar a busca porque os títulos listados não mais demonstravam qualquer relação com o conteúdo desejado. Assim, descartando os títulos já encontrados nas duas buscas anteriores, portanto repetidas, restaram 31 artigos, e por fim, após a leitura dos resumos, 10 mostravam-se relacionados a esta pesquisa.

Dentre os artigos selecionados nos três buscadores, optou-se por incluir a contribuição das revisões de literatura. Para tanto, foram considerados dois critérios: a) resenhas de VR aplicadas ao ensino (diversas áreas) e b) resenhas de VR aplicadas ao ensino de arquitetura e urbanismo. Em ambos os casos, foram consideradas apenas as revisões cujos achados continham pesquisas relacionadas ao ensino da história da arquitetura e do urbanismo.

2.4.6. Resultados:

A tabela abaixo é um resumo das 25 investigações selecionadas. Esses estudos foram classificados por ano e metodologia, sendo esclarecido na última coluna a descrição da contribuição de cada pesquisa para o tema aqui discutido. As quatro metodologias abordadas, seus resultados e suas limitações são apresentados nos tópicos a seguir.

A maioria dos trabalhos utilizou metodologia experimental, muitas vezes comparando, entre outras coisas, o desempenho de alunos que usaram VR com os que usaram sistemas convencionais (não imersivos). Em geral, os grupos que tiveram a VR como ferramenta disponível se saíram melhor.

Exceções ocorreram ocasionalmente, por exemplo, com alunos que apresentavam algum tipo de enjoo e, nesses casos, preferiram aulas convencionais.

Tabela 1 - Classificação dos artigos selecionados

AUTOR PRINCIPAL	ANO	METODOLOGIA	CONTRIBUIÇÃO
OZACAR, Kasim	2023	Protótipo	Desenvolveu um aplicativo imersivo e colaborativo de arquitetura, denominado VRArchEducation. Nele, através de avatares, é possível realizar lições práticas de levantamentos arquitetônicos, inclusive de edificações históricas. (OZACAR; ORTAKCI; KUCUKKARA, 2023).
WON, Mihye	2023	Revisão literária	Analisou 219 estudos empíricos sobre atividades de aprendizagem com Realidade Virtual imersiva, incluindo viagens virtuais a cidades históricas. (WON et al., 2023)
GOMES, Emerson	2022	Fluxo de trabalho	Apresenta um workflow colaborativo de aplicação de realidade virtual, onde professores e alunos interagem simultaneamente em um ambiente imersivo, por meio de avatares. A disciplina história da arquitetura é utilizada como exemplo. (GOMES et al., 2022a)
GOMES, EMERSON	2022	Revisão literária	O artigo discute os benefícios da utilização de ambientes virtuais imersivos na rotina de arquitetos e estudantes. Prática profissional, design de ensino e edifícios históricos são discutidos aqui. (GOMES et al., 2022b)
CARRASCO- WALBURG	2022	Experimental	O artigo avalia o impacto da VR na tarefa de observação e no desenvolvimento do pensamento espacial. Ensino de design e história da arquitetura como disciplina de pesquisa. (CARRASCO-WALBURG et al., 2022)
CHAN, CHIU- SHUI	2022	Experimental	Explora o uso de tecnologias de realidade virtual no ensino de história da arquitetura. (CHAN; BOGDANOVIC; KALIVARAPU, 2022)
GAAFAR, ASHRAFA	2021	Fluxo de trabalho	Propõe a utilização de um metaverso no ensino da história da arquitetura. Um túmulo faraônico foi usado como exemplo. (GAAFAR, 2021)

PUGGIONI, MARIAPAOLA	2021	Protótipo	Propõe o ScoolAR, uma ferramenta didática de VR fácil de usar, inclusive em disciplinas como a história da arquitetura. (PUGGIONI et al., 2021)
IBRAHIM, ANWAR	2021	Experimental	Examina o efeito do uso da tecnologia VR nas habilidades de aprendizagem dos alunos na disciplina de história da arquitetura. (IBRAHIM; AL-RABABAH; BANI BAKER, 2021)
LEITÃO, THIAGO	2020	Experimental	Reconstituiu digitalmente "O Panorama do Rio de Janeiro, de Victor Meirelles e Henri Langerock", para imersão em realidade virtual panorâmica. (SOUZA, 2020).
KOWALSKI, SZYMON	2020	Experimental	Examina o impacto da realidade virtual e da educação remota na história e conservação da arquitetura. Conclui que a VR pode afetar positivamente a transferência de conhecimento na disciplina. (KOWALSKI et al., 2020)
GE, YANRU	2020	Experimental	Examina como as tecnologias imersivas podem influenciar o desenvolvimento das habilidades técnicas dos alunos e suas habilidades de raciocínio lógico. (GE, 2020).
GHIDA, DJAMIL BEN	2020	Revisão literária	Descreve a importância do uso de ferramentas de realidade virtual e realidade aumentada no ensino de arquitetura, especialmente história da arquitetura. (GHIDA, 2020).
WALMSLEY, ALEXANDER	2019	Fluxo de trabalho	Apresenta um fluxo de trabalho para uma experiência imersiva e interativa referente à cidade de Stade (Alemanha) no ano de 1620. (WALMSLEY; KERSTEN, 2019).
SILCOCK, DAVID	2018	Experimental	Apresenta uma experiência imersiva e multidimensional do "Gordon Wilson Flats", um edifício histórico de apartamentos moderno construído durante a década de 1950 em Wellington, Nova Zelândia. (SILCOCK et al., 2018).
SOOAI, GABRIEL	2018	Protótipo	Desenvolve um aplicativo estereoscópico destinado à visualização de espaços arquitetônicos vernaculares. (SOOAI et al., 2018).
VILAS BOAS, NAYLOR	2018	Protótipo	Descreve o SIMRio, um simulador urbano digital que permite a visita a um determinado lugar do Rio de Janeiro, a partir de modelos digitais, em períodos históricos distintos. (VILAS BOAS, 2018).
GOMES, EMERSON	2018	Fluxo de trabalho	O artigo apresenta um fluxo de trabalho para modelagem de espaços urbanos históricos otimizados para aplicações de realidade virtual. (GOMES et al., 2018).

WENDELL, AUGUSTUS	2017	Experimental	O artigo aborda o ensino tradicional da história da arquitetura, por meio de fotos e desenhos, com o uso da VR em sala de aula. Os resultados indicam que a VR propôs altos ganhos na aprendizagem. (WENDELL; ALTIN, 2017)
MOLONEY, JULES	2017	Protótipo	Propor dois aplicativos de RV, baseados em Unity, destinados à imersão virtual para interpretações históricas arquitetônicas de edifícios que não foram construídos. (MOLONEY et al., 2017)
BEN, YUQIANG	2017	Fluxo de trabalho	Apresenta um fluxo de trabalho que converte dados de varredura a laser terrestre (TLS) em uma plataforma de realidade virtual interativa (VR). (BEN; NIBLOCK; BONENBERG, 2017)
AGIRACHMAN, FAUZAN ALFI	2017	Fluxo de trabalho	Apresenta um fluxo de trabalho para modelagem de cidades históricas, otimizado para aplicativos de realidade virtual. (AGIRACHMAN et al., 2017)
MATEUS, DANIEL	2015	Protótipo	Propõe um ambiente de realidade virtual imersivo para esboçar e modelar objetos de maneira interativa, usando gestos com as mãos e posturas corporais. (MATEUS et al., 2015)
GHANI, IZHAM	2016	Experimental	Apresenta os métodos e resultados preliminares de um experimento projetado para avaliar a importância da presença virtual em um ambiente histórico, a Mesquita Kampung Hulu, na Malásia. (GHANI; RAFI; WOODS, 2016)
DE FREITAS, M REGINA	2013	Revisão literária	Realiza um levantamento das atividades de pesquisa em Realidade Virtual e Aumentada aplicadas à arquitetura. Foram pesquisados 200 artigos, dos quais 23% tratam da história da arquitetura. (DE FREITAS; RUSCHEL, 2013)
CHAN, CHIU- SHUI	1999	Experimental	O trabalho propôs uma biblioteca digital de edificações relevantes para o ensino de história da arquitetura, para uso em realidade virtual. (CHAN; MAVES; CRUZ-NEIRA, 1999)

2.4.7. Trabalhos experimentais

O trabalho de Chan et al (1999) discute a importância da ferramenta na tela sob vários pontos de vista, incluindo:

- o facto de as visitas de campo (feitas por professores e alunos) muitas vezes não permitirem uma leitura precisa do edifício original, seja porque o tempo e a falta de manutenção provocaram um desgaste acentuado, seja porque o local já sofreu várias remodelações.
- quando o espaço leccionado pelo docente se encontre inacessível no momento, ou onde o valor da visita seja demasiado elevado.
- quando as mudanças ao longo da história são relevantes para o ensino, a VR pode ser programada para permitir que os alunos observem a passagem do tempo.
- quando edifícios geograficamente muito distantes são relevantes para serem estudados em sequência, por exemplo, igrejas barrocas europeias, ambientes imersivos podem permitir que você salte facilmente de um lugar para outro com um simples botão.

Em todos os casos, a VR é proposta como uma ferramenta que pode ajudar a ampliar a percepção do aluno sobre trabalhos muitas vezes ensinados principalmente por meio de fotos e desenhos em PowerPoint.

Mais de 20 anos depois Chan (2022) voltou a publicar sobre o assunto, agora buscando comparar experimentos que permitam esclarecer melhor os benefícios do uso da VR no ensino de história da arquitetura. O trabalho contou com a participação de 123 alunos. O Panteão de Roma foi o edifício escolhido como tema da aula. Entre os resultados, 74% dos participantes consideraram que a VR ajudou a entender a arquitetura do ambiente histórico. Observou-se também que modelos virtuais mais detalhados com roteiros áudio guiados receberam quase 50% mais votos na opinião dos usuários sobre a melhor experiência de aprendizado.

Apesar de não fazer uma comparação direta entre aulas imersivas e convencionais (com pouca ou nenhuma imersão), os autores perguntaram aos participantes qual seria sua preferência, e apenas 17% disseram que o formato expositivo era mais eficiente no aprendizado. Esse número, apesar de não ser tão expressivo, corrobora a ideia de que a aplicação da VR em sala de aula não se refere a uma substituição de ferramentas anteriores, mas a uma complementação (CARRASCO-WALBURG et al., 2022; GOMES et al., 2022a).

Outro trabalho relevante foi o de Ibrahim et al (2021), que examinou o efeito da tecnologia VR nas habilidades de aprendizagem dos alunos em história da arquitetura. Eles conduziram dois experimentos, o primeiro baseado na taxonomia BLOOM e o segundo com o objetivo de testar as habilidades dos participantes. Em ambos, o grupo que utilizou VR obteve maiores ganhos de conhecimento em relação aos métodos tradicionais. Os participantes também relataram um alto nível de satisfação com o uso da tecnologia. Entre as limitações apontadas, relata-se que a pesquisa

se concentrou apenas em um assunto de determinada época e outros trabalhos deveriam investigar conteúdos diferentes. Descreve-se também que a pesquisa não considerou os efeitos da VR em aulas em grupo, ou seja, as investigações ocorreram com um único aluno por vez dentro do ambiente virtual.

Outros trabalhos experimentais também se mostraram bastante relevantes ao examinar os benefícios da VR no ensino de história da arquitetura, como Wendell (2017) e Kowalski (2020), que identificaram ganhos relacionados ao uso da ferramenta.

2.4.8. Trabalhos de revisão literária

Um argumento presente em vários dos trabalhos investigados foi sobre a escassez de publicações sobre o tema neste artigo, razão pela qual a presente revisão de literatura é, até o momento, a primeira especificamente destinada a trabalhos que aplicaram a VR no campo da educação de história da arquitetura e do urbanismo.

Três das quatro revisões selecionadas pesquisaram artigos sobre o uso de VR no ensino de lugares históricos (DE FREITAS; RUSCHEL, 2013; GOMES et al., 2022b; WON et al., 2023). Won et al analisaram 219 estudos (em diversas áreas do conhecimento) sobre aprendizagem em ambientes imersivos. Eles observaram que os recursos sobre a presença física foram mais investigados do que os recursos pedagógicos. Entre as descobertas, embora numerosos estudos relatem resultados positivos do uso da VR no ensino, não ficou claro para os autores o que especificamente torna a VR eficiente para o aprendizado. Também foi mencionado que as características pedagógicas relacionadas ao engajamento raramente foram relatadas.

Entre os limitantes estão as dificuldades com as variações das expressões utilizadas na busca, por exemplo: *"virtual reality"*, que às vezes escreve *"immersive virtual reality"* ou mesmo *"VR"*. Outro exemplo foi o *"Head Mounted Display"*, que às vezes é chamado de *"headset"* ou *"HMD"*. Como resultado, outros estudos relevantes podem ter ficado de fora.

De Freitas e Ruschel (2013) revisou 200 artigos extraídos do banco de dados dos congressos internacionais ACADIA, ECAADE, CAAD, CAADRIA, ASCAAD e SIGRADI. Os autores classificaram 23% dos achados como relacionados à história da arquitetura, e apenas 9% se enquadraram no ensino de arquitetura. Tanto a realidade virtual quanto a realidade aumentada fizeram parte do estudo. Ao final observou-se que as tecnologias discutidas apresentaram uma tímida incorporação tanto na prática arquitetônica quanto no ensino.

Gomes et al (2022b), por sua vez, analisaram 67 artigos extraídos das bases de dados ScienceDirect e Cumincad. Entre os trabalhos investigados, há pesquisas que relatam o uso da VR na profissão, no ensino de arquitetura e no patrimônio histórico. Parte das descobertas foram incorporadas a esta pesquisa, por exemplo, Wendel e Altin (2017).

Já a obra de Ghida (2020), discute a prática do ensino da história da arquitetura, apontando com considerável riqueza as dificuldades dos professores na disciplina e o potencial da VR para melhorar o sistema de aprendizagem. O autor relata sua experiência pessoal de ensino de história da arquitetura, incluindo tentativas de evitar que a aula se torne um curso de memorização, ou a exibição de uma longa sequência de imagens que acabam tornando a aula entediante. Dentre os obstáculos descritos, cita-se que o ensino sobre edificações por meio de fotos e desenhos pode recair na perda de muitas informações geométricas. Aponta-se então a VR para minimizar os problemas, diminuindo a lacuna existente entre o ensino de arquitetura por meio de fotos e desenhos, e a realização com a turma de uma visita presencial às obras.

2.4.9. Fluxos de trabalho

Com exceção dos poucos casos em que o professor pode ter acesso a algumas maquetes digitalizadas de prédios históricos, por exemplo nos sites gratuitos descritos por Gomes (2022a, p. 454), as demais situações exigirão que uma ou mais pessoas investiguem e modelem o conjunto arquitetônico ou ambientes urbanos que serão utilizados nas aulas imersivas, procurando torná-los o mais fiéis possível à sua existência no passado (GOMES et al., 2021). Nesse sentido, pesquisas que indiquem fluxos de trabalho sobre o tema podem ajudar a encurtar tais caminhos.

Dos fluxos de trabalho selecionados, dois abordam especificamente a modelagem de edifícios históricos e a experimentação de realidade virtual (AGIRACHMAN et al., 2017; GOMES et al., 2018). Os outros quatro discutem fluxos voltados para o uso colaborativo do sistema imersivo no aprendizado da história da arquitetura.

O primeiro trabalho (GOMES et al., 2018) apresenta um percurso que visa recriar as fachadas de edifícios históricos em áreas urbanas. Os pesquisadores reconstruíram um trecho da cidade de Belém, Brasil, de cerca de 100 anos atrás. Um guia passo a passo inclui, entre outros: a) cruzamento de mapas do passado com fotografias antigas, b) orientações sobre modelagem de fachadas, c) modelagem de personagens e d) exportação para o *software* Unity, no qual tratamentos de iluminação e VR básico programação foi realizada. Por fim, o pacote foi exportado em formato executável, possibilitando sua utilização em realidade virtual. Experimentos foram realizados com alunos e professores do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade da Amazônia, que

punderam vivenciar o local em escala real, texturizado, sombreado e com pequenas animações dos personagens.

Dentre as limitações desta pesquisa, relata-se que não houve um número considerável de alunos que vivenciaram o local de forma controlada. Como um passado distante foi modelado, os usuários tiveram poucas referências para se localizar e fazer suas próprias comparações mentais com os dias atuais, ou seja, apresentaram dificuldade em compreender qual era a parte da cidade que havia sido reconstruída no ambiente digital. Por fim, como o foco da pesquisa foi a reconstrução e experimentação do espaço histórico, apesar de ter envolvido alunos e professores, não foi relatada nenhuma aplicação prática no ensino da disciplina em pauta.

O segundo fluxo de trabalho (AGIRACHMAN et al., 2017) retrata a reconstrução de um trecho histórico de Braga, em Bandung, na Indonésia. Um grupo de pesquisa trabalhou na modelagem, realizando visitas de campo (para medições e captação de fotografias), utilizando mapas e imagens de satélite georreferenciadas, entre outros. A seguir, foi descrito um passo a passo para edição das fotos, preparação da modelagem e aplicação de texturas. Posteriormente, os dados foram exportados para o *software* Unity onde, à semelhança do fluxo de trabalho anterior, foram realizados os procedimentos de iluminação e programação básica de VR. Por fim, após essas etapas, o produto pôde ser utilizado no modo imersivo. Os resultados indicaram que os usuários ficaram entusiasmados com o potencial do sistema, embora parte das respostas indicasse a necessidade de diversas melhorias na modelagem. Nenhuma limitação foi relatada pelos autores.

Os fluxos de trabalho abaixo discutem métodos de implementação de realidade virtual colaborativa no ensino de arquitetura, especialmente no caso da disciplina história da arquitetura. Nestas pesquisas, a ideia do metaverso parece estar no centro das intenções do autor, mas apenas na segunda obra são apresentadas formas práticas para a implementação de sistemas online utilizando VR no ensino de arquitetura.

O trabalho de Gaafar (2021) refere-se ao ensino de história da arquitetura em uma faculdade no Egito. Como exemplo de ambiente a ser virtualmente reconstruído, o autor escolheu a tumba de Pashedu, localizada na Cisjordânia. Como outros fluxos de trabalho de modelagem, a pesquisa se concentrou em como desenvolver edifícios virtuais passo a passo. Visitas de campo, tratamento fotográfico, modelagem, exportação para o *software* Unity e programação básica para VR são etapas que estão presentes no artigo. A pesquisa faz referências ao uso do metaverso no ensino da história da arquitetura, porém, pouco se esclarece sobre quais caminhos devem ser seguidos para tal fim.

Dentre as limitações, a pesquisa não realizou experimentos controlados utilizando o ambiente virtual no contexto de ensino. Além disso, o trabalho não explorou o uso do Metaverso na prática, apenas recomendou e indicou alguns recursos para tal.

Gomes et al (2022a) propuseram o trabalho que mais se aproxima de um fluxo de trabalho para o metaverso no ensino em questão. Os autores tratam da implementação da realidade virtual *multiplayer* no ensino de arquitetura, onde vários usuários podem acessar simultaneamente o mesmo ambiente virtual, em escala 1:1, interagindo entre si por meio de avatares. Os autores apresentam uma breve descrição dos conceitos básicos relacionados à realidade virtual, seguida de um guia passo a passo que explica como implementar coletivamente a tecnologia imersiva em sala de aula.

Entre os problemas relatados, o teletransporte é citado, pois quando utilizado em grupo, fazia com que alguns alunos se perdessem facilmente do restante da turma. O chat online (por áudio) também apresentou atrasos consideráveis, dificultando o diálogo entre os presentes na mesma sala.

2.4.10. Protótipos

Os estudos selecionados desenvolveram protótipos relacionados ao uso da realidade virtual no ensino. Moloney et al (2017) propuseram o uso de ambientes virtuais imersivos não realistas destinados a interpretações arquitetônicas históricas. Essa ideia parece corroborar um dos achados de Slater (2009), que sugere que ambientes com alto grau de realismo não são necessários para atingir altos níveis de presença. Nesse sentido, se trouxermos a proposta de Moloney e o trabalho de Slater para o contexto do ensino de história da arquitetura, essa união pode sugerir que os professores não precisam gastar muito tempo com o realismo do ambiente.

Além disso, o autor também considera que mesmo prédios que nunca foram construídos têm relevância didática e podem colaborar para o enriquecimento das discussões em sala de aula e no repertório dos alunos.

A obra de Moloney, portanto, traz, entre outras coisas, duas contribuições relevantes para o tema em questão, a primeira, como já mencionado, é a proposta de que acabamentos realistas não são necessários para uma boa experiência de RV; e a segunda é que caminhar, em escala real, por projetos nunca construídos pode trazer novas interpretações sobre a evolução das cidades e, conseqüentemente, novas lições ou reflexões para as aulas de história da arquitetura e do urbanismo.

Outro trabalho listado foi o de Puggioni et al (2021), que observaram que os diversos programas de *software* hoje voltados para a criação de novas experiências em VR (por exemplo, uma aula de história da arquitetura) geralmente não são destinados a não programadores, muitas vezes exigindo que do usuário ter um nível mínimo de conhecimento sobre modelagem 3D, programação, entre outros (BIERBAUM et al., 2008), algo que não é comum entre os professores de história da arquitetura. Diante desse cenário, o autor propôs o ScoolAR, uma ferramenta que permite a criação de aplicações VR/AR para usuários sem conhecimentos de programação.

Os autores descreveram um fluxo de trabalho rápido para usar a plataforma e, em seguida, apresentaram um experimento com 50 alunos para testar a eficácia do programa proposto no ensino da história da arquitetura. Os resultados indicaram alta satisfação do grupo que utilizou o novo sistema. Além disso, o percentual de acertos para os usuários da plataforma virtual foi cerca de 20% maior do que para os métodos tradicionais.

Na mesma linha do artigo de Puggioni, existem outros aplicativos disponíveis no mercado que também facilitam a criação de visitas em realidade virtual, desde que as edificações já tenham sido modeladas, conforme exemplificado por Gomes et al (2022a). Porém, em todos os casos existe algum tipo de benefício e limitação, por exemplo, os *softwares* @VRSketch e @Arkio oferecem visitas em modo colaborativo (tipo *multiplayer*) e modelagem em escala real, além disso, seu uso é consideravelmente facilitado, não exigindo nenhum conhecimento em programação, mas seus gráficos não são realistas. Em outro sentido, renderizadores como Enscape e Twinmotion são realistas e fáceis de usar, permitindo o acesso à VR com um único clique, mas a visita ao espaço imersivo, até o presente momento, é apenas individual.

2.4.11. Limitações

Assim como na obra de Won (2023), as diversas denominações existentes para as palavras-chave utilizadas podem ter mascarado algumas obras que acabaram ficando de fora da lista de buscas. Por exemplo, o termo *virtual reality*, em alguns casos foi observado como *Immersive environments* ou *virtual environments*.

No mesmo sentido, durante as buscas no Google Acadêmico, apesar de se observar que já não havia mais trabalhos relacionados aos objetivos da pesquisa, é possível que o buscador tenha deixado alguma pesquisa relevante nas últimas páginas. Essa possibilidade é pequena, mas existe e, se tivesse ocorrido, o trabalho pode ter ficado de fora da lista.

2.4.12. Considerações

A maioria dos artigos selecionados contém algum argumento que sustenta a ideia de que a VR pode integrar com eficiência as técnicas convencionais aplicadas no ensino da história da arquitetura e do urbanismo. São também recorrentes as afirmações de que a VR pode atenuar consideravelmente a impossibilidade de deslocamento aos locais de estudo, sendo por isso uma forma mais barata e segura de realizar visitas de campo, algo altamente desejável no contexto do ensino da história da arquitetura e urbanismo, apesar das devidas limitações, pois é um sistema que simula a realidade.

Além disso, entende-se que os objetivos de mapear os trabalhos científicos que associam a VR ao ensino em questão foram alcançados, assim como foram discutidos os métodos, contribuições e problemas/limitações apresentados.

Os resultados refletem dois pontos relevantes: o primeiro é que quase todos os achados sugerem uma relação positiva ou muito positiva com a implementação da realidade virtual nas propostas de ensino aqui discutidas. O segundo é a constatação de uma razoável escassez de trabalhos científicos voltados diretamente à aplicação da realidade virtual no ensino da história da arquitetura e urbanismo.

Por fim, embora a VR ainda não esteja consolidada na maioria dos cursos de arquitetura, principalmente no ensino de história, os estudos apontaram diversos benefícios da aplicação da ferramenta. No entanto, as formas de fazê-lo ainda carecem de maiores investigações.

2.4.13. Referências

AGIRACHMAN, F. A. et al. REIMAGINING BRAGA Remodeling Bandung's Historical Colonial Streetscape in Virtual Reality. CAADRIA, p. 23–33, 2017. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2017_147.pdf>.

BEN, Y.; NIBLOCK, C.; BONENBERG, L. Lincoln Cathedral Interactive Virtual Reality Exhibition. In: CAAD Futures, Anais...2017. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/cf2017_585>.

BRANDÃO, C. A. L. Porque estudar história da arquitetura? 2012.

CARRASCO-WALBURG, C. et al. Experiential Teaching-learning Tools: Critical Study of Representational Media and Immersion in Architecture. In: November, Anais...2022.

CHAN, C.-S.; BOGDANOVIC, J.; KALIVARAPU, V. Applying immersive virtual reality for remote teaching architectural history. Education and Information Technologies, v. 27, n. 3, p. 4365–4397, 25 abr. 2022. Disponível em: <<https://link.springer.com/10.1007/s10639-021-10786-8>>.

CHAN, C.-S.; MAVES, J.; CRUZ-NEIRA, C. An Electronic Library for Teaching Architectural History. Proceedings of the 4th Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), p. 335–344, 1999. Disponível em: <<http://papers.cumincad.org/cgi->

bin/works/paper/69f5>.

DE FREITAS, M. R.; RUSCHEL, R. C. What is happening to Virtual and Augmented Reality applied to architecture? Open Systems - Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2013, n. Caadria, p. 407–416, 2013.

ESTEVEZ, J. C.; FALCOSKI, L. A. N. GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETOS EM UNIVERSIDADES PÚBLICAS: ESTUDOS DE CASO. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 8, n. 2, p. 67, 2013.

FARIAS, T. C. De. As viagens de estudo como prática educativa no curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo. 2013.

GAAFAR, A. A. “Use of Fully Immersive Virtual Reality Techniques to Generate Scale 1: 1 Interactive Models of Pharaonic Tombs”. v. 6, p. 66–86, 2021. Disponível em: <<https://www.ss-pub.org/aeer/metaverse-in-architectural-heritage-documentation-education/>>.

GE, Y. Teaching Research on “Experience” Architecture History with VR Technology. *Frontier of Higher Education*, v. 1, n. 1, p. 5–9, 2020.

GHANI, I.; RAFI, A.; WOODS, P. Sense of place in immersive architectural virtual heritage environment. *Proceedings of the 2016 International Conference on Virtual Systems and Multimedia, VSMM 2016*, 2016.

GHIDA, D. Ben. Augmented Reality and Virtual Reality: A 360° Immersion into Western History of Architecture. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, v. 8, n. 9, p. 6051–6055, 2020.

GOMES, E. B. de O. et al. The Virtual Reality as a tool to analyze modifications in the architecture of the city. Case study: the historical center of the city of Belém-Pará. In: *Blucher Design Proceedings, São Paulo. Anais...* São Paulo: Editora Blucher, nov. 2018. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/29810>>.

GOMES, E. B. de O. et al. Mapa de confiabilidade: um método quantitativo para análise do grau de confiança nas reconstruções digitais de patrimônios históricos demolidos ou fortemente modificados. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 17, n. 1, p. 219–237, 12 nov. 2021. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/183924>>.

GOMES, E. B. de O. et al. A workflow for multi-user VR application within the physical classrooms of architecture and urbanism courses. *Ergonomics In Design*, v. 47, n. January, 2022a.

GOMES, E. B. de O. et al. Architecture, Virtual Reality, and User Experience. In: VILAR, E.; FILGUEIRAS, E.; REBELO, F. (Ed.). *The Wiley Handbook of Human Computer Interaction Set. 1a ed.* [s.l: s.n.]1p. 191–206.

HEIN, C.; VAN DOOREN, E. Teaching history for design at TU Delft: exploring types of student learning and perceived relevance of history for the architecture profession. *International Journal of Technology and Design Education*, v. 30, n. 5, p. 849–865, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10798-019-09533-5>>.

IBRAHIM, A.; AL-RABABAH, A. I.; BANI BAKER, Q. Integrating virtual reality technology into architecture education: the case of architectural history courses. *Open House International*, v. 46, n. 4, p. 498–509, 22 nov. 2021. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/OHI-12-2020-0190/full/html>>.

KOWALSKI, S. et al. Teaching architectural history through virtual reality. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, v. 18, n. 2, p. 197–202, 2020.

KOWALSKI, S.; SAMÓL, P.; HIRSCH, R. Virtual reality tools in teaching the conservation and history of

Polish architecture. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, v. 18, n. 4, p. 399–404, 2020.

LEAL, B. M. F. PROPOSTAS PARA O ENSINO DOS CONTEÚDOS DE ARQUITETURA E URBANISMO ATRAVÉS DE FERRAMENTAS DIGITAIS. 2018. n.o 5 UFRJ, 2018.

MATEUS, D. et al. From Tecton and Technos: going back to the classical roots of Architecture using virtual reality. In: *eCAADe, Anais...*2015.

MOLONEY, J. et al. Lines from the Past - Non-photorealistic immersive virtual environments for the historical interpretation of unbuilt architectural drawings. In: *eCAADe 35, Evans 1995, Anais...*2017. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2017_151>.

NOFAL, E. Virtual 3D Modelling of Built Heritage in History of Architecture Course: Digital Didactic Activities. In: *International Conference of Cultural Heritage among the Present Challenges and Future Prospects, Minya, Egypt. Anais...* Minya, Egypt: 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/258510256_Virtual_3D_Modeling_of_Built_Heritage_in_History_of_Architecture_Course_Digital_Didactic_Activities>.

OZACAR, K.; ORTAKCI, Y.; KUCUKKARA, Y. VRArcheducation: Redesigning Building Survey Process in Architectural Education Using Collaborative Virtual Reality. *SSRN Electronic Journal*, v. 113, p. 1–9, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cag.2023.04.008>>.

PUGGIONI, M. et al. Scoolar: An Educational Platform to Improve Students' Learning through Virtual Reality. *IEEE Access*, v. 9, p. 21059–21070, 2021. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9321386>>.

SILCOCK, D. et al. Tangible and Intangible Digital Heritage Creating Virtual Environments to Engage Public Interpretation. In: *Computing for a Better Tomorrow, 36th Annual Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe2018), Champion 2008, Anais...*2018. Disponível em: <www.semanticscholar.org/paper/Tangible-and-Intangible-Digital-Heritage-Creating-Silcock-Rushton/0f1129b3d39859b352b548f84a42111de799e370%0Awww.immersivelegacies.org/publications%0Ahttp://www.ecaade2018.p.lodz.pl/>.

SLATER, M. et al. How we experience immersive virtual environments: The concept of presence and its measurement. *Anuario de Psicologia*, v. 40, n. 2, p. 193–210, 2009.

SOOAI, A. G. et al. Developing Vernacular Architecture Learning Tools using 3D Virtual Reality. Unpublished, n. August, p. 1–6, 2018.

SOUZA, T. L. de. A 360° history of the city: the digital reconstruction of the Rio de Janeiro Panorama by Victor Meirelles and Henri Langerock from the end of the 19th century. p. 563–568, 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Ementa do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<https://ufmg.br/cursos/graduacao/2372/91203/61618>>. Acesso em: 9 fev. 2023.

VILAS BOAS, N. Máquina do tempo digital. *Ciência Hoje*, v. 347, 2018. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/artigo/maquina-do-tempo-digital/>>.

WALMSLEY, A.; KERSTEN, T. P. Low-cost development of an interactive, immersive virtual reality experience of the historic city model stade 1620. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, v. 42, n. 2/W17, p. 405–411, 2019.

WENDELL, A.; ALTIN, E. Learning Space - Incorporating spatial simulations in design history

coursework. In: eCAADe 35, Anais...2017. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2017_183>.

WON, M. et al. Diverse approaches to learning with immersive Virtual Reality identified from a systematic review. *Computers & Education*, v. 195, p. 104701, 2023.

ZEVI, B. Saber ver arquitetura. 5a Edi ed. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

Cap. 3. UMA PLATAFORMA IMERSIVA E COLABORATIVA DESTINADA AO ENSINO DE HISTÓRIA DA ARQUITETURA E URBANISMO

Neste capítulo, aborda-se a terceira questão de investigação, que indaga sobre como a realidade virtual pode ser utilizada de forma eficaz no ensino da disciplina de história da arquitetura e urbanismo. Inicia-se com a definição de uma lista de recursos desejáveis para a estruturação de uma plataforma ideal. Em sequência, são selecionados *hardware* e *software* apropriados para a implementação da mencionada plataforma. Posteriormente, define-se o ambiente histórico a ser ensinado, modela-se o cenário e delinea-se o plano de uma aula piloto. Por último, com base nos procedimentos anteriormente descritos, procede-se à programação da plataforma, considerando os principais requisitos estabelecidos no início deste capítulo.

3.1. Introdução

Muito embora a realidade virtual se apresente como uma ferramenta de excelente potencial para ensino arquitetônico, especialmente pela possibilidade de inserir o aluno no espaço projetado, a maioria das experiências publicadas dedicam-se às interações e visualizações básicas (OZACAR; ORTAKCI; KUCUKKARA, 2023).

Ao encontro disso, a exploração do ambiente virtual em um formato colaborativo é um aspecto ainda pouco abordado, particularmente nas aulas de arquitetura. Grande parte das pesquisas conduzidas até o momento envolvem a participação de apenas um estudante por vez nas experiências imersivas, relegando o restante da turma e o professor ao papel de espectadores, acompanhando o cenário por meio de uma tela de TV ou monitor.

Ademais, os *softwares* profissionais disponíveis atualmente oferecem excelentes recursos de modelagem e navegação. No entanto, mesmo que disponham de versões educacionais, foram concebidos primordialmente para atender às demandas do mercado, e não especificamente ao contexto educacional. Isso significa que, apesar da possibilidade de utilização desses programas em ambientes acadêmicos, sua estrutura não foi projetada para facilitar o processo de ensino, com funções específicas para alunos e professores.

Diante disso, este tópico apresenta o desenvolvimento de um protótipo de plataforma de realidade virtual imersiva, baseada em Unity, destinada a potencializar o uso da VR em aulas de história da arquitetura e urbanismo, permitindo que os alunos e professores visitem maquetes arquitetônicas em escala real, de contextos históricos variados, explorando espaços virtuais através de uma simples caminhada e/ou outras formas de navegação, interagindo entre si e com o ambiente através de avatares.

O produto proposto visa viabilizar e facilitar a realização de aulas imersivas e colaborativas, ou seja, permitindo o uso por vários alunos simultaneamente, com conteúdo de acabamento realístico e sem a necessidade de o professor possuir conhecimento no campo da programação. As ferramentas em pauta destinam-se ao uso por *hardwares* do tipo *Standalone*, ou seja, que funcionam de forma independente, dispensando a presença de um computador de mesa ou notebook, o que resulta em um menor custo e maior rapidez devido ao menor número de equipamentos e sistemas operacionais.

Entre os recursos presentes na proposta, inclui-se a interação e colaboração em tempo real com colegas através de avatares, manipulação de objetos na cena (agarrar e soltar), viagem virtual no tempo, navegação por caminhada, teleporte, garra, voo, mudança de escalas, uso de uma caneta colorida para desenhar, câmera fotográfica virtual, som ambiente tridimensional e renderização com texturas e iluminação realísticas.

Esses recursos foram projetados para proporcionar uma experiência didática imersiva e interativa, permitindo que os alunos explorem e compreendam melhor os projetos em um ambiente de aula em formato de visita guiada, que pode ocorrer presencialmente, à distância ou de forma híbrida, e será conduzida pelo professor.

3.1.1. Acerca do uso do termo Plataforma Imersiva

No presente trabalho, a expressão “plataforma imersiva”, é utilizada de forma semelhante à proposta de Bierbaum et al. (2008). Estes autores sugerem que o termo em questão se refere a um sistema virtual em que os usuários podem concentrar seus esforços no desenvolvimento do conteúdo da aplicação, sem a necessidade de se debruçar nas complexidades da programação do sistema imersivo.

A terminologia "plataforma imersiva" é derivada de “plataforma virtual. Essa última refere-se a uma expressão normalmente relacionada à ambientes digitais nos quais os usuários podem criar ou executar aplicações, por exemplo os trabalhos de Lee et al (2023) e Mahmood et al (2021). Sob essa

ótica, plataformas imersivas são percebidas como uma especialização dentro do universo das plataformas virtuais, notabilizando-se por sua interatividade com sistemas de realidade virtual.

3.1.2. Breve histórico de aplicações em realidade virtual na arquitetura

O uso de tecnologias imersivas aplicadas à arquitetura remonta, pelo menos, à década de 1970, com destaque para o trabalho de Clark (1976). Desde então, houve uma evolução considerável e surgiram investigações mais específicas nesse campo. Um exemplo é o estudo de Davidson (1996), que propôs uma ferramenta colaborativa de realidade virtual (online e 6DoF – Seis graus de liberdade) para revisão de projetos arquitetônicos. Nessa mesma época, surgiram outras pesquisas voltadas para imersão e interação, como as de Hill II et al. (1999), Donath e Holger (1999), e Schnabel et al. (2001), que desenvolveram sistemas de manipulação do espaço virtual, direcionados ao processo de projeto arquitetônico.

No âmbito do ensino da história da arquitetura, Chan et al. (1999) desenvolveram uma biblioteca de edifícios selecionados, representando diferentes períodos históricos, com o objetivo de oferecer uma experiência imersiva através de uma CAVE (Cave Automatic Virtual Environment). Essa abordagem ofereceu formas de explorar a história da arquitetura de maneira envolvente e visualmente enriquecida. Nesta linha, Stone (1998) criou um sistema de realidade virtual para visita ao Stonehenge, que proporcionou aos visitantes a oportunidade de observar detalhes e características do monumento que, à época, se encontrava inacessível aos turistas.

Na década de 2000, Kuo (2002) realizou uma pesquisa para explorar o potencial da Realidade Virtual (VR) na melhoria das práticas pedagógicas, com um foco particular na disciplina de história da arquitetura. A pesquisadora concluiu, entre outras coisas, que a VR, por sua natureza imersiva, pode proporcionar aos discentes uma representação mais precisa da escala dos ambientes que estão sendo estudados, algo que as projeções comuns de slides muitas vezes falham em retratar. Kuo também destacou a importância de esclarecer aos alunos que as reconstruções virtuais de lugares históricos já desaparecidos podem conter certas imprecisões devido, entre outros, à escassez de referências para tal. Este ponto é também abordado por Gomes (2021).

Ch'ng (2009), por sua vez, discutiu a possibilidade de as tecnologias imersivas proporcionarem a realização de viagens virtuais no tempo, cuja experiência poderia oferecer altos níveis de presença. Apesar de seu trabalho ser voltado principalmente para a arqueologia, as aplicações e debates têm paralelismo com o contexto do ensino de história da arquitetura. Entre as recomendações de Ch'ng para uma convincente viagem virtual no tempo, destacam-se: a) realismo elevado, b) emprego de canais auditivos, c) interatividade, e d) avatares com controle humano. Vilas Boas (2018) também

discute o uso da VR e viagens no tempo no contexto da história da arquitetura, propondo o simulador urbano SIMRio.

Essas pesquisas exemplificam como, há tempos, a realidade virtual tem sido utilizada com foco no contexto arquitetônico, inclusive no ensino de história da arquitetura e urbanismo.

3.1.3. Sobre pesquisas recentes que propuseram aplicações imersivas no campo do ensino de história da arquitetura

Na década passada, várias aplicações imersivas surgiram voltadas ao ensino, inclusive no campo arquitetônico (SÖNMEZ; SORGUÇ, 2018; BASHABSHEH; ALZOUBI; ALI, 2019). No entanto, especificamente no ensino de história da arquitetura, o número de pesquisas é mais restrito. Um exemplo é o trabalho de Moloney et al (2017), que propuseram uma aplicação em VR não realista baseada em Unity, para interpretações históricas arquitetônicas de edifícios que não chegaram a ser construídos.

Um outro exemplo é a proposta de Puggioni et al (2021), que, ao observar a dificuldade dos professores em produzir conteúdo tridimensional para as aulas, propuseram o ScoolAR, um aplicativo de realidade virtual e aumentada que oferece um ambiente em nuvem para desenvolver conteúdos de forma simplificada e intuitiva. A aplicação foi criada utilizando o *software* Unity e código em C#. Para os conteúdos de realidade aumentada, há suporte para iOS e Android, enquanto a realidade virtual está prevista para o Cardboard e Metaquest. Entre as limitações, destaca-se o fato de que a realidade virtual está limitada apenas ao sistema de panoramas (3DoF), o que facilita a produção de conteúdo, mas reduz significativamente a liberdade de navegação no ambiente virtual. Além disso, não há colaboração entre usuários, o que diminui consideravelmente as potencialidades didáticas da experiência.

Recentemente, Ozacar et al (2023) publicaram o VRArchEducation, um aplicativo dedicado ao ensino de arquitetura em realidade virtual colaborativa, especificamente destinado ao aprendizado sobre levantamento arquitetônico, inclusive de edificações históricas. Nessa pesquisa, os autores desenvolveram um sistema que permite que vários alunos acessem um mesmo espaço virtual simultaneamente, e nele possam realizar a simulação do levantamento métrico em equipe, interagindo entre si e com o ambiente por meio de avatares. Quatro ferramentas foram propostas: mangueria de nível, prumo, fita métrica e quadro de esboço, todas baseadas na intenção de simular as ações e equipamentos do mundo físico.

O sistema foi produzido no *software* Unity, com destino para os óculos Metaquest 2. Entre os recursos utilizados, menciona-se que a navegação ocorre por meio do teletransporte, os avatares foram suportados pelo sistema Meta Avatar 2.0 e a rede online foi baseada no sistema Photon Pun 2, que permite conectar dados online pelo próprio Unity. Essa aplicação se aproxima da proposta da presente tese, com fluxo de trabalho e sistema de comunicação online semelhantes, visando, entre outros objetivos, obter-se elevados níveis de engajamento dos alunos nas aulas.

3.1.4. Aplicações disponíveis no mercado profissional

Além das aplicações mencionadas, há *softwares* e *plugins* no mercado que convertem modelos 3D em experiências de realidade virtual. Esses programas oferecem recursos como modelagem em tempo real e colaborativa. Porém, são voltados principalmente para o mercado profissional, não atendendo completamente às necessidades educacionais. Dois exemplos são: a) VRSketch, plugin para Trimble SketchUp e b) Arkio, compatível com vários modeladores virtuais, como Autodesk Revit e Rhinoceros.

Ambos utilizam renderização não realística com sombreamento aprimorado e incluem ferramentas de navegação, modelagem em tempo real e recursos colaborativos por meio de avatares. São multimodais, permitindo edição em realidade virtual e em outros dispositivos, como computadores desktop. Entre os pontos positivos, eles são colaborativos, multiplataforma, intuitivos, gratuitos para estudantes e possuem diversas ferramentas pré-configuradas. Entretanto, não viabilizam, por exemplo, viagens virtuais no tempo, controles específicos para professores e alunos, incorporação de contexto sonoro e acabamento realístico, itens desejáveis para o ensino de disciplinas no campo da história da arquitetura e urbanismo.

Embora sejam aplicações profissionais que oferecem diversos recursos úteis para a prática da arquitetura com realidade virtual, elas não são projetadas especificamente para o ambiente educacional. Dependendo do contexto, isso pode resultar em limitações relevantes. Por exemplo, a abundância de ferramentas visualmente disponíveis pode distrair os alunos durante as aulas, especialmente quando o conteúdo é predominantemente teórico, como no ensino de história da arquitetura. Em um teste preliminar realizado pelo autor com um dos *softwares* disponíveis no mercado, foi observado que durante uma imersão coletiva e em meio às explicações teóricas do professor, alguns alunos se distraíram com os variados botões do painel virtual de controle do *software*, ignorando assim o conteúdo da aula. Este episódio demonstrou o quanto o excesso de ferramentas, embora visualmente atraentes e interessantes, pode ser inadequado para o contexto do ensino.

Além disso, é importante considerar as limitações gráficas dessas aplicações, que, geralmente, não são realistas. Como já mencionado acima, embora alguns autores argumentem que o realismo visual pode ter pouca influência nos níveis de presença (SLATER et al., 2009), tal recurso gráfico é fundamental para a compreensão de muitas decisões contidas nas obras arquitetônicas, especialmente quando se discute os efeitos de luz e sombra nas superfícies das construções. Por esta razão, aplicações educacionais personalizadas podem ser mais adequadas para atender às necessidades específicas das salas de aula e proporcionar uma experiência de aprendizado mais eficaz.

Um outro *software* semelhante, também colaborativo, mas não voltado à modelagem é o Irisvr Prospect, com diversas funcionalidades voltadas ao campo da visualização arquitetônica, com recursos como trocar de escala, medir distâncias com uma trena, entre outros. De forma semelhante aos anteriores, ele não possui render realístico e está voltado ao mercado profissional, podendo ser utilizado no campo da educação, mas sem ferramentas dedicadas especificamente a isso.

É válido também mencionar a existência de programas como Enscape e Twinmotion, *softwares* voltados à produção de maquetes eletrônicas realísticas, e que junto a isso, possibilitam o modo imersivo a partir de simples configurações. Estes programas são frequentemente considerados intuitivos pelos alunos, e sua opção de realidade virtual já possui diversas configurações pré-estabelecidas. Entre os pontos positivos estão a interface simplificada de uso e o realismo. Entre as limitações para aplicação em uma aula imersiva, menciona-se a necessidade de uso de um computador de alta performance para cada utilizador, pois a renderização é feita em tempo real. Não funcionam com equipamentos do tipo *standalone* (sem a necessidade de PC) e não aceitam o uso colaborativo quando em modo de realidade virtual.

3.2. Métodos

O desenvolvimento da ferramenta adotou uma abordagem metodológica sequencial, dividida em seis etapas:

Etapa 01: Definição de recursos para a ferramenta imersiva

Nesta etapa, elaborou-se inicialmente uma lista preliminar de recursos desejáveis, fundamentada nas referências bibliográficas abordadas no capítulo anterior. Buscando aprimorar essa relação de itens, foram conduzidas entrevistas semiestruturadas com professores especializados em história

da arquitetura. A combinação dos *insights* obtidos dessas entrevistas com a lista preliminar resultou na definição da lista final de requisitos.

Etapa 02: Escolha de *hardware* e *software*

Com base nas referências bibliográficas e na experiência do autor, definiram-se seis critérios para avaliar diferentes *hardwares* de imersão. Três tecnologias disponíveis no mercado foram analisadas através de uma matriz comparativa. No contexto do *software*, cinco critérios de avaliação foram estabelecidos para comparar três *softwares* candidatos. Testes práticos foram conduzidos com cada programa para avaliar sua conformidade com os critérios propostos.

Etapa 03: Escolha do ambiente histórico

Usando uma abordagem semelhante à etapa anterior, definiram-se três critérios principais, novamente baseados em referências literárias e nas experiências acumuladas do autor. Com esses critérios em mãos, prosseguiu-se à busca por espaços históricos adequados às necessidades da presente pesquisa.

Etapa 04: Retopologia e modelagem do cenário

A retopologia, no contexto da modelagem 3D, refere-se ao processo de reorganizar a malha virtual de um modelo, otimizando-a para diferentes aplicações e tornando-a mais eficiente. Dada sua relevância para garantir modelos 3D de alta qualidade, que sejam ao mesmo tempo computacionalmente eficientes, foi dedicada uma etapa específica para abordar técnicas de retopologia.

Nesta fase, conduziu-se uma revisão de literatura especializada, englobando técnicas de retopologia e modelagem, bem como uma visita a tutoriais online. As informações recolhidas nesse processo levaram à proposição de um fluxo de trabalho específico para a modelagem de cenários históricos. Este fluxo, posteriormente, foi submetido a uma análise comparativa com abordagens descritas em estudos anteriores, particularmente os focados no campo da arquitetura e urbanismo, com ênfase em edificações históricas que não mais existem.

Etapa 05: Roteiro da aula para o teste piloto

Baseado nas referências pesquisadas e nas experiências didáticas do autor, delineou-se o roteiro de uma aula piloto, com vistas a nortear e implantar a plataforma imersiva em pauta. Este roteiro especificou o conteúdo, os deslocamentos e os recursos a serem explorados, com cada época sendo representada de forma esquemática em mapas representativos das épocas visitadas.

Etapa 06: Desenvolvimento da plataforma

A Etapa 06 consistiu no desenvolvimento da plataforma em si. O processo iniciou-se com a configuração do *software* base, identificado na Etapa 02. Esse *software* serviu como alicerce para a integração e organização de todos os componentes e funcionalidades da plataforma. Com o intuito de alinhar a ferramenta aos recursos especificados na Etapa 01, além de se utilizar dos scripts padrões disponibilizados pelo *software* base, desenvolveram-se scripts personalizados. Em continuação, os mecanismos que permitem o modo colaborativo online foram estabelecidos, visando proporcionar a capacidade de interações em tempo real entre os usuários.

O passo seguinte foi a inserção da modelagem que resultou da Etapa 04. Esta inserção é de particular relevância, visto que representa um componente modular, podendo ser substituída ou adaptada para diferentes aulas imersivas.

Uma vez que a modelagem foi integrada ao ambiente do *software*, aplicaram-se sobre ela os scripts, incluindo-se os personalizados, além de uma iluminação adequada, com os recursos disponíveis no *software* base.

Concluindo a etapa, um arquivo de exportação foi gerado, otimizado especificamente para dispositivos de realidade virtual selecionados na Etapa 02, possibilitando assim que o aplicativo seja carregado e experimentado nos óculos VR.

3.3. Resultados e discussões:

3.3.1. Etapa 01 – Definição dos recursos desejáveis

No Item 2.4, do capítulo anterior, conduziu-se uma análise em cada trabalho selecionado, buscando identificar os recursos virtuais empregados nas experiências imersivas aplicadas ao contexto educacional em questão. À medida que tais recursos eram descritos nos artigos, registravam-se os dados em uma planilha do Excel, até que todos os trabalhos fossem analisados. Adotou-se o mesmo procedimento para as aplicações imersivas profissionais disponíveis no mercado. Embora tais *softwares* ofereçam uma ampla gama de ferramentas, optou-se, para manter o foco na questão educacional, discutindo-se apenas itens relevantes para o tema. A fim de sintetizar os resultados, a Tabela 2 apresenta uma matriz de inter-relações, classificando os recursos imersivos por artigo.

Durante a revisão dos trabalhos e a classificação dos recursos, alguns itens foram agrupados por estarem intrinsecamente interligados. É o caso do teletransporte e da caminhada real, que em sistemas 6DoF, normalmente compõem uma mesma solução. A caminhada física é útil para

deslocamentos curtos (geralmente até 3 metros), enquanto o teletransporte é aplicado para cobrir distâncias maiores. Ambos costumam ser fornecidos por variados fabricantes em um único pacote de programação.

Optou-se também por diferenciar componentes que, apesar de suas semelhanças, possuem variações notáveis em sua implementação prática. Por exemplo, a 'navegação por mira' e o 'teletransporte'. Embora a primeira seja também uma forma de teletransporte, tanto a programação quanto a experiência de uso de ambos é bastante distinta. Isso porque, geralmente, a navegação por mira é utilizada em equipamentos do tipo 3DoF, que são limitados à rotação da cabeça do usuário, enquanto o recurso 'teletransporte' está frequentemente associado a equipamentos 6DoF, que permitem movimentação livre do corpo, especialmente mãos e cabeça.

No item som 'ambiente e/ou por voz' optou-se por incluir os sistemas que se utilizaram de recursos de áudio para ambientar ou informar o usuário acerca de algum elemento relevante no cenário, a exemplo dos trabalhos de Chan (2022) e Ibrahim (2021). Foram excluídos deste item recursos de chat por voz, os quais ficaram incluídos em 'colaboração'.

No item 'troca entre cenas', foram incluídos trabalhos que realizam algum tipo de alteração relevante no ambiente através das interações do sistema. Nos casos de Vilas Boas (2018) e Walmsley (2019), este procedimento foi utilizado para realizar a viagem virtual no tempo.

Alguns artigos não foram incluídos na matriz por não demonstrarem com clareza os recursos imersivos que utilizaram, por exemplo, Agirachman (2017), que embora tenha detalhado seus procedimentos e métodos de análise das experiências realizadas com os alunos, não deixou claro qual foi o método de navegação, se utilizou joystick, teletransporte ou algum sistema distinto.

Alguns *softwares/ plugins* profissionais de realidade virtual não foram incluídos na pesquisa por não atenderem aos objetivos estabelecidos. Dentre esses, menciona-se o Sketchup VR e o Eyecad VR, pois embora ambos possuam recursos de visualização imersiva e coletiva, eles não são compatíveis com equipamentos *standalone* para experiências 6DoF, exigindo a presença constante de um PC integrado aos óculos. Essa limitação resulta em custos elevados e maior demanda de espaço físico e infraestrutura, o que dificulta a sua aplicação em uma sala de aula convencional, com vários alunos.

Abaixo segue a matriz de interrelações que combina os artigos e as aplicações verificadas. A coluna inicial da matriz categoriza os artigos e aplicações conforme a quantidade de recursos disponíveis, realçando os trabalhos que disponibilizam um maior número de ferramentas. De forma análoga, a primeira linha classifica, em ordem decrescente, os recursos mais recorrentemente empregados. As

seções de totais, destacadas em vermelho, fornecem respectivamente o número total de recursos e a frequência de sua utilização nos trabalhos analisados. Em amarelo destacam-se as aplicações voltadas ao mercado profissional avaliadas nesta pesquisa.

Tabela 2 - Matriz de interrelações - frequência de recursos imersivos em trabalhos científicos de história da arquitetura e urbanismo e em aplicações profissionais de realidade virtual, com versões educacionais.

	Principais autores/ Aplicações profissionais	Recursos																			TOTAL DE RECURSOS				
		Navegação por teleporte/ caminhada real	Navegação por mira/ giro da cabeça	Colaboração online	Câmera fotográfica	Pontos de informação (textos/imagens)	Navegação por mapa	Trena	Som ambiente e/ou por voz	Troca entre cenas / Modelos	Corte (fatiar)	Troca entre escalas	Modelagem em tempo real	Navegação por voo	Dimen. objetos	Caneta 3D/ Borracha	Avatar humanizado	Navegação por joystick	Interação por garra	Nível		Quadro de rascunho	Prumo	Navegador de banco de dados de imagens	Modelagem paramétrica urbana
Aplicações	Arkio	1		1	1	1	1	1		1	1	1		1	1	1		1							12
	VRSkectch	1		1	1		1			1	1	1	1	1	1										10
	Propect	1		1	1		1			1	1		1		1										8
Artigos	Ozacar, Kasim, A., 2023	1		1			1									1			1	1	1				7
	Moloney, Jules, 2017		1		1		1		1								1					1			6
	Ben, Yuqiang, 2017	1				1	1			1					1			1							6
	Mateus, Daniel, 2015	1									1					1							1		4
	Klerk, Rui De, 2019	1		1							1	1													4
	Puggioni, Mariapaola., 2021		1			1	1																		3
	Walmsley, A., 2019	1				1			1																3
	Ibrahim, Anwar, A., 2021	1				1			1																3
	Silcock, David, 2018								1				1												2
	Wendell, Augustus, 2017	1			1																				2
	Gaafar, Ashraf A, 2021	1						1																	2
	Boas, 2018		1						1																2
	Chan, Chiu-Shui, A., 2022	1						1																	2
	Ghani, Izhama, 2016																	1							1
	Gomes, Emerson, 2018	1																							1
	Carrasco-Walburg, 2022		1																						1
	Sooai, Adri Gabriel 2018		1																						1
	Souza, Thiago Leitão de 2020		1																						1
	Cardoso, Daniel. 2010								1																1
FREQUÊNCIA DOS RECURSOS	13	6	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	

Fonte: o autor, 2023.

No gráfico da Figura 8 apresentado abaixo, observa-se que o teletransporte é o método dominante de navegação, tanto em trabalhos acadêmicos quanto em aplicações profissionais. Sobre estas aplicações, as três investigadas adotam exclusivamente o teletransporte, sugerindo uma tendência predominante quanto à escolha da ferramenta. A colaboração online e a câmera fotográfica aparecem apenas em 11% das investigações científicas, mas estão presentes em 100% das aplicações profissionais.

Outros itens que chamam a atenção são a trena, o corte (fatiar) e a troca de escalas, que embora estejam em 100% das aplicações profissionais, aparecem apenas em 6% dos artigos. O inverso

ocorre com ‘pontos de informação (imagens/ textos)’ que estão presentes em quatro artigos, mas apenas um dos aplicativos possui o recurso. ‘Som ambiente’ também foi utilizado em quatro investigações científicas, mas nenhuma aplicação profissional investigada ofereceu tal opção.

Frequência de uso dos recursos imersivos

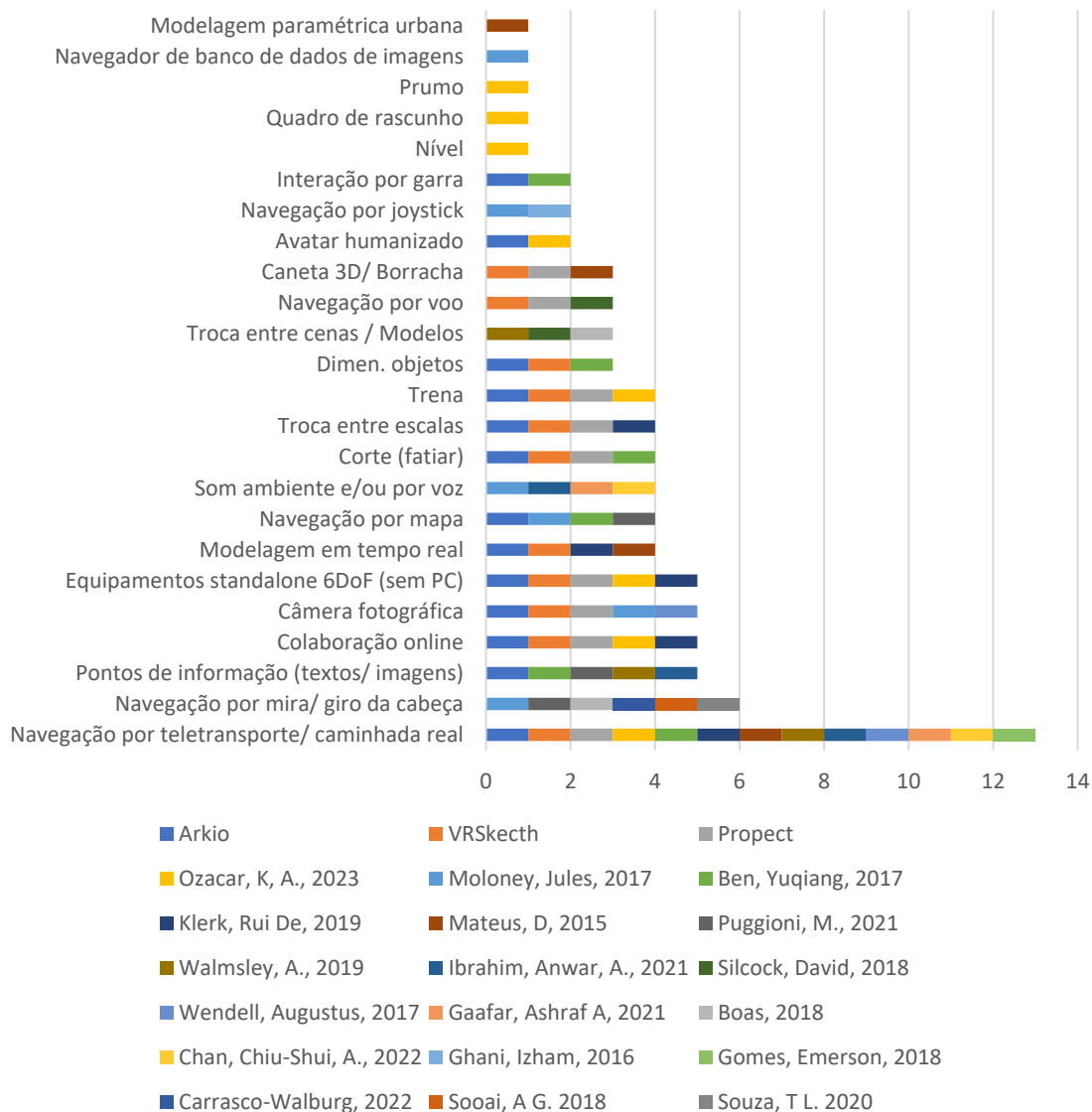


Figura 8 -Frequência de uso dos recursos imersivos, em acordo com as publicações e com as aplicações profissionais investigadas.
 Fonte: o autor, 2023.

De posse dos recursos imersivos identificados nas referências bibliográficas e nas aplicações profissionais, seguiu-se para o segundo passo, a realização de entrevistas semiestruturadas com professores especialistas na área de história da arquitetura.

De modo geral os entrevistados concordaram com a maioria das ferramentas sugeridas. Exceção ficou para o “nível”, o “prumo” e os “sistemas de modelagem”, os quais, para os professores, não pareceram se enquadrar adequadamente no contexto do ensino de história da arquitetura. A alteração da escala dos objetos foi vista como positiva apenas por um professor, que sugeriu utilizá-lo para inserir edificações históricas em contextos diferentes do seu original, solicitando que os alunos a analisem desta forma.

Entre as principais sugestões, mencionou-se que a câmera fotográfica poderia estar conectada às redes sociais dos estudantes, assim eles poderiam tirar fotos ou fazer filmagens do lugar virtual visitado, podendo em seguida postar nas suas redes, inclusive exibindo seus avatares. Acredita-se que isso pode colaborar para a melhoria do engajamento do aluno nas aulas imersivas. Criar uma ficha de andamento da aula, informando as etapas que passaram e as que ainda faltam poderia ser positivo para nortear todos acerca do conteúdo ministrado.

Acessibilidade também foi sugerida, de modo que o maior número possível de pessoas possa assistir às aulas imersivas. Por fim, outra sugestão foi a respeito dos sentidos, especialmente o olfato, que, na medida do possível, ajudaria bastante na melhoria da experiência. O roteiro das entrevistas consta no Anexo III.

Diante disso, formulou-se uma segunda lista de requisitos para a aplicação imersiva em pauta. Partindo-se dos recursos constantes na matriz da Tabela 2, foram eliminados os itens relativos às experiências 3DoFs, por exemplos, ‘navegação por mira’ e ‘navegação por joystick’. Também foram excluídos o ‘Nível’, ‘Prumo’, ‘Redimensionamento de objetos’ e as ‘Modelagens em tempo real e ‘paramétrica’, por serem consideradas, nas entrevistas, como de pouca aplicabilidade no contexto a que se propõe a tese.

Como acréscimo, as entrevistas sugeriram incluir as opções de login e upload das fotografias e filmagens para as redes sociais, bem como melhorar as condições de acessibilidade, procurando, por exemplo, acionar todos os comandos a partir de qualquer uma das mãos, de modo que uma pessoa com deficiência em um dos membros, possa participar igualmente das aulas.

A lista consolidada dos itens desejáveis está apresentada abaixo, na Tabela 3.

Tabela 3 - Lista de requisitos desejáveis

Classificação	Item	Recurso
Sistemas de navegação	1	Navegação por teletransporte/ caminhada física (6DoF)
	2	Navegação por voo
	3	Colaboração online

Recursos de colaboração online	4	Equipamentos <i>standalone</i> 6DoF (sem PC)
	5	Link para as redes sociais
Recursos de visitação em grupo	6	Gráficos realistas
	7	Viagem no tempo
	8	Fusão temporal
	9	Som ambiente e/ou por voz (exceto chat)
	10	Câmera fotográfica
	11	Interação com as mãos
	12	Banco de dados de imagens
	13	Pontos de informação (textos/ imagens)
Recursos de desenho e análise	14	Controle de andamento da aula
	15	Troca entre escalas
	16	Caneta 3D/ Borracha
	17	Plano de corte (fatiar)
	18	Quadro de rascunho
Acessibilidade/ inclusão	19	Fita métrica
	20	Todos os comandos em um mesmo controle

Fonte: o autor, 2023.

Abaixo estão descritos os itens da lista, de modo a esclarecer cada um.

3.3.1.1. Descrição dos recursos:

- 1- Navegação por teletransporte/caminhada física (6DoF)** – Ambos os métodos se referem ao deslocamento. Na caminhada real, o usuário realiza os movimentos no mundo físico, e isso é replicado precisamente no ambiente virtual. A caminhada é geralmente limitada a uma pequena área, algo que pode se aproximar de 9 a 12m². Para distâncias maiores, usa-se o teletransporte, um meio de deslocamento em que o usuário aponta suas mãos para uma direção e, ao pressionar um dos botões, é transportado para o local indicado. Com isso, é possível percorrer grandes distâncias em um curto espaço de tempo e com pouco esforço, mesmo que o usuário esteja navegando na escala real.
- 2- Navegação por voo** – Neste modo, o usuário, ao pressionar o botão direcional, se desloca em velocidade constante, normalmente na direção em que sua cabeça estiver apontada. Assim, se olhar para cima, vai subir; se olhar para baixo, vai descer, e assim por diante. Esta é uma ferramenta que requer cuidado, pois, se utilizada de forma inadequada, por exemplo, muito próximo de grandes objetos como longas paredes ou em ambientes fechados e pequenos, pode causar tonturas ou outros sintomas relacionados à doença do simulador.
- 3- Colaboração online** – Este recurso visa possibilitar a comunicação com os demais colegas através de avatares. Assim, os movimentos do corpo humano, como caminhar, mexer a cabeça, erguer as

mãos e até falar, são replicados no mundo virtual. Este recurso é destinado a permitir que os participantes possam dialogar e interagir entre si acerca da situação vivenciada no ambiente virtual.

4- Equipamentos *standalone* 6DoF (sem PC) – Este item refere-se à importância de utilizar equipamentos de realidade virtual que não necessitem de conexão com um computador, ou seja, apenas os próprios óculos e controles nas mãos. Tais equipamentos são discutidos com maior profundidade no Item 3.3.2.1.

5- Links para as redes sociais – Este recurso permite a integração com plataformas de redes sociais, oferecendo a possibilidade de compartilhar imagens ou vídeos da experiência imersiva. A incorporação desse recurso aponta para a crescente relevância da socialização virtual nas experiências educacionais.

6- Gráficos realistas – Embora seja um recurso menos comum nas aplicações profissionais, ele foi apontado como de grande relevância pelos professores entrevistados. Refere-se à qualidade visual da simulação. Detalhes como textura e sombreamento devem ser meticulosamente projetados para aproximar o ambiente virtual da realidade, potencialmente aumentando o nível de imersão e melhorando a percepção dos espaços arquitetônicos, especialmente quanto à luz e sombra nas superfícies.

7- Viagem no tempo – Este recurso permite a transição entre diferentes períodos históricos no mesmo ambiente virtual. A implementação de tal funcionalidade pode oferecer interpretações valiosas sobre mudanças temporais ocorridas nos espaços urbanos ou arquitetônicos.

8- Fusão temporal – Recurso destinado a mesclar diferentes épocas. Permite, por vezes, realizar comparações com elevada clareza, pois exibe distintos períodos temporais simultaneamente. Deve ser utilizado apenas pontualmente, quando o professor entender que a sobreposição de diferentes épocas pode beneficiar a realização de comparações.

9- Som ambiente – Este recurso adiciona uma camada sonora ao ambiente virtual. Ele tem o objetivo de aumentar o realismo e a imersão através da simulação de sons ambientais típicos do local, como o canto dos pássaros e o farfalhar das folhas.

10 – Câmera fotográfica – Este recurso simula a funcionalidade de uma câmera dentro do ambiente virtual, permitindo ao usuário capturar imagens ou vídeos para análise posterior. Trata-se de algo semelhante ao que o usuário faria com *smartphone* em uma visita de campo no mundo físico.

11- Interação com as mãos – Este recurso oferece a capacidade de interagir manualmente com objetos dentro do ambiente virtual, proporcionando uma camada adicional de realismo e engajamento, permitindo, por exemplo, segurar um copo, abrir uma porta, entre outros.

12 - Banco de dados de imagens – Este é um repositório acessível dentro do ambiente virtual onde imagens capturadas podem ser armazenadas e recuperadas para análise subsequente. É como um navegador de imagens no qual o usuário pode acessar as fotos que tirou ou outras figuras que o professor queira disponibilizar.

13 - Pontos de informação – São pontos específicos de informação espalhados pelos cenários. Este recurso exige que o professor, antes do início da experiência, demarque os pontos de informação e escreva seu conteúdo. Assim, os alunos poderão observar um ícone e, ao apontar o controle para ele, as informações textuais ou imagens serão exibidas.

14 – Controle de andamento da aula – Este recurso é uma lista de verificação interativa que auxilia no acompanhamento do progresso da atividade educacional. Deve funcionar como um check-list destinado a informar o andamento da aula.

15 – Troca entre escalas – Este recurso permite aos usuários ajustar a escala de visualização do ambiente, fornecendo diferentes perspectivas que podem ser úteis para análise. Isto é particularmente relevante para observar o ambiente como uma maquete física, oferecendo novos pontos de vista.

16 – Caneta 3D – Este recurso permite realizar rabiscos e anotações em três dimensões dentro do ambiente virtual, o que pode ser útil para demonstrações ou esboços rápidos.

17 – Plano de corte – É um recurso que permite realizar seções nos modelos tridimensionais, exibindo-os em formato de planta baixa ou cortes. Isso pode ser particularmente útil nas visualizações em escalas como 1:100 e 1:50.

18 – Quadro de rascunho – Semelhante à caneta 3D, mas ao invés do desenho tridimensional no ar, os usuários podem desenhar em 2D sobre um quadro branco flutuante.

19 – Fita métrica – Funciona para medir os espaços visitados, similarmente ao que se pode fazer com uma fita métrica no mundo físico.

20 - Todos os comandos em um mesmo controle – Refere-se à acessibilidade. Neste caso, a diretriz escolhida para ampliar a inclusão de usuários foi manter todos os comandos em um único controle, permitindo assim que pessoas com limitações motoras em uma das mãos possam participar.

De posse da lista consolidada, a etapa seguinte foi a escolha do *hardware* e do *software*, conforme tópico a seguir.

3.3.2. Etapa 02- Escolha do *hardware* e *software*

Nesta etapa encontram-se os critérios que levaram à escolha do *software* e *hardware* destinados à produção do método proposto nesta pesquisa. O *software* Unity e os óculos Metaquest 2 foram os selecionados, conforme resultados abaixo.

3.3.2.1. Seleção do *hardware*

Para a seleção do *hardware*, foram estabelecidos seis critérios de avaliação, conforme apresentado na Tabela 4. Realizou-se a análise de três categorias de dispositivos: a) HMDs para *smartphones*, b) HMDs que requerem conexão a um computador e c) HMDs autônomos. Os critérios estabelecidos buscam identificar a tecnologia imersiva mais apropriada para o contexto de sala de aula, onde vários alunos e o professor possam interagir de forma colaborativa através de avatares. Elementos como o espaço necessário, os níveis de imersão e o custo de aquisição foram levados em consideração e estão justificados na Tabela 4.

Na análise, também foi incluída a quantidade de componentes adicionais necessários para o funcionamento de cada tecnologia, tendo em vista o impacto tanto no fluxo de trabalho quanto na infraestrutura exigida. Por exemplo, dispositivos de realidade virtual como o HTC Vive Pro e o Valve Index, considerados de alta qualidade no mercado atual, necessitam de estações de captura de movimento para seu funcionamento, além de instalações elétricas específicas para essas estações e para os óculos. Adicionalmente, estes dispositivos requerem ainda a conexão com um computador, podendo ser via cabo ou sem fio. Devido aos equipamentos e instalações adicionais exigidos, modelos com tais requisitos foram considerados desfavoráveis para o ambiente de sala de aula. Esta avaliação foi realizada através do critério aqui denominado 'Fluxo de Trabalho Simplificado', o qual objetiva maximizar a praticidade na implementação de tecnologias imersivas em ambientes educacionais de arquitetura, conforme Tabela 4.

Com isso, produziu-se uma matriz de interrelações, indicando a compatibilidade entre os equipamentos selecionados e os critérios acima listados, conforme a Figura 9.

Tabela 4 - Critérios para escolha para o tipo de equipamento de imersão virtual.

ITEM	CRITÉRIO	JUSTIFICATIVA
1	Compatibilidade com experiências colaborativas	Permitir a inclusão simultânea de alunos e professores por meio de avatares.
2	Oferecimento de experiências imersivas com seis graus de liberdade (6DoF)	Obter elevados níveis de imersão.
3	Alta capacidade de processamento	Possibilitar a vivência de ambientes com detalhes realistas de alta qualidade.
4	Fluxo de trabalho simplificado	Facilitar o uso diário do equipamento por alunos e professores.
5	Ocupação mínima de espaço no ambiente	Possibilitar o maior número possível de usuários.
6	Baixo custo de aquisição	Possibilitar o maior número possível de usuários.

	HMD Standalone	HMD ligado ao PC	HMD de smartphone	
	●	●	×	Seis graus de liberdade (6DoF)
	●	●	○	Colaborativo online (com avatares)
	●	×	×	Não necessitam de computador
	○	●	×	Alto poder de processamento
	●	●	○	Alto nível de imersão
	●	○	●	Fluxo de trabalho simplificado
	○	×	●	Baixo custo de aquisição

LEGENDA:
 COMPATIBILIDADE TOTAL ●
 COMPATIBILIDADE PARCIAL ○
 INCOMPATÍVEL ×

Figura 9 - Matriz comparativa entre HMDs disponíveis no mercado e critérios vantajosos para uso em sala de aula. HMDs de smartphones são os mais simples; os ligados a PCs são os que possuem maior poder de processamento, portanto, podem fornecer experiências mais detalhadas. Os do tipo Standalone, embora não sejam tão poderosos, possuem mais compatibilidade com os critérios estabelecidos.

Fonte: o autor, 2023.

Observando-se os resultados ilustrados na Figura 9, percebe-se que, apesar de não ser o mais acessível economicamente e ter uma capacidade de processamento limitada, o HMD *Standalone* (autônomo) se destaca como o mais compatível com os critérios elencados na Tabela 4. O conectado

ao PC posiciona-se em segundo lugar, devido, entre outros, ao alto custo, tanto para a aquisição dos óculos como do computador, que precisa ter alta capacidade de processamento gráfico. Em último lugar, ficaram os óculos de *smartphone*, que, mesmo sendo a opção mais econômica, é a que apresenta maiores restrições para as experiências imersivas.

Após selecionar o tipo de equipamento, observou-se a necessidade de definir o modelo e o fabricante. Isso se justifica devido à etapa de programação, que se dá de forma diferente para cada *hardware*. Levando isso em conta, optou-se pelo Metaquest 2, sendo este o *Standalone* de menor custo no mercado atual, além de contar com ampla distribuição global, o que pode potencializar a disseminação futura da pesquisa, que poderá ser aplicada em outros contextos.

O Metaquest 2 é um dispositivo que, mesmo não tendo alta capacidade de processamento no modo *standalone*, tem mostrado eficácia em aplicações imersivas robustas. Dessa forma, configura-se como um equipamento de alta qualidade gráfica, baixo custo e independência de outros *hardwares*, o que minimiza a necessidade de espaço físico para armazenagem e uso. Adicionalmente, ele apresenta um fluxo de trabalho simplificado, eliminando a necessidade de conexões por cabos ou a implementação de outros sistemas operacionais.

3.3.2.2. Seleção do *software*

Após a definição do *hardware*, a investigação se voltou para o *software* no qual os recursos da ferramenta imersiva seriam desenvolvidos. Os *softwares* Unity, Unreal e VRLab foram comparados, com ênfase na compatibilidade com o *hardware* Metaquest 2. Para estes testes, foi utilizado um modelo de cenário preliminar, sem otimizações.

Os critérios de análise foram:

- a) eficiência na importação do modelo,
- b) aplicação de materiais,
- c) exportação para o Metaquest 2,
- d) desempenho em FPS⁸ nos óculos;
- e) implementação do modo *multiplayer*.

⁸ FPS é a sigla para '*Frames per Second*', traduzido como de forma direta como 'quadros por segundo'. Essa métrica indica quantos quadros (ou imagens) um dispositivo exibe por segundo. Valores elevados de FPS proporcionam uma experiência visual mais fluida e realista. Por outro lado, taxas baixas podem causar falhas visuais e, em realidade virtual, conduzir ao desconforto ou desorientação do usuário, fenômeno conhecido como 'doença do simulador', detalhada no Item 4.3.4.

No critério de importação do modelo, o VRLab mostrou-se o mais eficiente, permitindo a importação instantânea e sem falhas visíveis, através de uma simples ação de arrastar e soltar, concluída em apenas alguns segundos. O Unreal também foi bem-sucedido já na primeira tentativa, embora tenha requerido a intermediação do *software* Twinmotion e do plugin DataSmith, ambos fornecidos pelo fabricante, mas instalados separadamente. O Unity, no entanto, mostrou dificuldades nesta etapa, com várias falhas na importação direta do modelador (neste caso, o Sketchup). Este problema só foi resolvido após a introdução do Blender como *software* intermediário.

Na aplicação de materiais, o Unreal foi superior, devido à extensa biblioteca fornecida pelo fabricante, que se mostrou muito útil durante os testes. O Unity foi a segunda opção, exigindo a pesquisa de bibliotecas gratuitas produzidas por terceiros e disponíveis na loja do fabricante. O VRLab, por outro lado, ainda não possuía, à época dos testes, uma biblioteca consolidada, tornando necessário a criação individual de muitos materiais.

No processo de exportação para o Metaquest 2, o VRLab foi mais direto e rápido, demandando apenas alguns passos para concluir o envio. O Unity e o Unreal, por sua vez, exigiram a visualização de alguns tutoriais, ajustes específicos e instalação de alguns recursos para tornar a exportação possível. Embora esta não fosse uma tarefa simples, após as devidas configurações, as exportações foram eficazes.

O teste de FPS foi conduzido utilizando o sistema OVR Metrics, oferecido gratuitamente pelo fabricante do *hardware* dos óculos. A análise envolveu a imersão e exploração do cenário, observando-se com maior atenção locais que possuíam grande quantidade de triângulos no modelo, ou seja, onde os FPSs tendem a decair. Unity e Unreal tiveram desempenhos similares, atingindo aproximadamente 40 FPS nos pontos mais exigentes do teste. O VRLab, no entanto, apresentou uma quantidade muito baixa de FPS, prejudicando seriamente a experiência, atingindo apenas cerca de 15 FPS nos pontos críticos. Apesar de várias tentativas de reconfiguração do programa para resolver o problema, a questão persistiu, levando ao término dos testes com o VRLab.

O último item de teste foi a implementação do modo *multiplayer*, que se mostrou mais eficaz no Unity, utilizando o sistema PhotonPUN2, um conjunto de scripts e servidor online gratuitamente disponibilizado pelo fabricante e abordado em vários tutoriais na internet. Assim, as primeiras tentativas do sistema *multiplayer* no Metaquest 2 já apresentaram resultados eficientes. O Unreal possui um sistema similar, também gratuito. Entretanto, o código básico de programação fornecido

pelo fabricante não foi eficaz no Metaquest 2, apresentando diversas falhas de navegação. Após diversas buscas por fóruns e tutoriais, não foi encontrada uma solução definitiva dentro do prazo estipulado para esta etapa. Diante desse desafio, decidiu-se encerrar o teste com o Unreal.

Com base nos parágrafos acima, o Unity mostrou-se o mais adequado para o desenvolvimento do sistema de imersão proposto nesta pesquisa, considerando os objetivos estabelecidos.

3.3.3. Etapa 03- Escolha do ambiente histórico

A primeira parte desta etapa envolveu o estabelecimento dos critérios para a seleção do cenário histórico, fundamentados tanto na experiência prévia do pesquisador quanto nas literaturas consultadas. Sob esse alicerce, os critérios definidos são os seguintes:

- a) Ser um local cujo passado e presente tenham relevância didática para o ensino de urbanismo e arquitetura;
- b) Ser um ambiente que não esteja presente na grade curricular das faculdades, a fim de evitar a repetição de assuntos já conhecidos pelos alunos;
- c) Ser um lugar que possua registros suficientes do passado para sua reconstrução digital ou cuja modelagem já tenha sido previamente produzida e esteja disponível para esta pesquisa;

Diante disso, escolheu-se o Largo de Nazaré, uma praça pública situada na cidade de Belém, no Norte no Brasil. O espaço em pauta é palco da maior procissão religiosa do Brasil e uma das maiores do mundo, onde ocorre as festividades do Círio de Nazaré⁹. Trata-se de um ambiente urbano cuja arquitetura e espaços de convívio sofreram atualizações relevantes nos últimos séculos, e cuja influência cultural e religiosa marcaram a história, a política, a cultura e o desenvolvimento urbano e arquitetônico do bairro e até mesmo da cidade, o que satisfaz o primeiro critério de seleção.

Embora o lugar seja de relevância para a discussão de conteúdos urbanos e arquitetônicos, especialmente no contexto histórico, o Largo não faz parte dos ambientes comumente ensinados nos cursos de arquitetura e urbanismo das faculdades locais, e isso o habilita no segundo critério de escolha.

O ambiente em tela, no tocante ao seu passado, foi modelado virtualmente em trabalhos anteriores (ARAUJO, 2019; BASSALO, 2019). Araújo pesquisou e digitalizou tridimensionalmente o Largo de Nazaré de 1910 e 1950, já Bassalo reconstruiu a edificação denominada Super Cliper, que existiu no

⁹ O evento chamado Círio de Nazaré, cuja origem remonta à fundação do local em estudo, atualmente se traduz na maior procissão religiosa do país, e uma das maiores do mundo, atraindo, em uma mesma manhã, mais de 2,5 milhões de pessoas para as ruas da cidade. Em 2013 foi inscrito na Lista Representativa do Patrimônio Cultural Imaterial da Humanidade, da UNESCO (IPHAN, 2006b; UNESCO, 2013; NETO, 2022).

Largo na década de 1950. Tais modelos digitais também já foram utilizados em publicações em parceria com o presente pesquisador (GOMES et al., 2020, 2021). Neste sentido, os autores da modelagem original concordaram em ceder gentilmente o cenário para a presente pesquisa. Com isso o local satisfaz o terceiro e último critério de seleção. O cenário da década atual não estava modelado e foi produzido no âmbito desta tese.

Acerca das duas épocas que já se encontravam digitalizadas em 3D, a década de 1910 reflete a cidade de Belém em seu auge financeiro, figurando entre as capitais mais ricas do Brasil, graças ao período conhecido como “ciclo da borracha”, quando a região era exportadora do Latex, matéria prima utilizada pela indústria automobilística para a produção de pneus (SARGES, 2002). Neste momento, em Belém, predominavam os estilos arquitetônicos coloniais e ecléticos (ARAUJO, 2019).

Já na década de 1950, a cidade já contava com fortes influências do modernismo e do art-déco. Embora o ciclo da borracha tivesse entrado em declínio após 1910, a cidade permaneceu economicamente ativa, com importantes intervenções nos espaços urbanos e nas edificações, inclusive no Largo de Nazaré (ARAUJO, 2019).

3.3.4. Etapa 04- Modelagem do cenário

Uma vez escolhido o local e as épocas de investigação, bem como definidos o *hardware* e o *software* de produção, o passo seguinte foi a elaboração e o tratamento da modelagem 3D, para que ela se adeque aos objetivos da pesquisa, que incluem o uso de tecnologias tipo *standalone*, e colaboração em tempo real através de avatares.

O passo inicial envolveu a harmonização entre a capacidade de processamento do *hardware* e o grau de complexidade do modelo 3D, mensurado pelo número de triângulos¹⁰. Neste sentido, Arowosegbe (2021) sugeriu a quantidade máxima de 300.000 triângulos, o mesmo foi verificado nas instruções do aplicativo VRSketch (VR SKETCH, 2023). Esta recomendação representou um desafio substancial, uma vez que o modelo inicial de um único período, 1950, já continha cerca de 4 milhões de faces.

Na busca por métodos automáticos de redução de polígonos, diversas técnicas foram experimentadas, mas nenhuma delas ofereceu resultados satisfatórios. Com base em tutoriais

¹⁰ O número de triângulos é um dado estatístico que informa quantas faces possui um determinado modelo, de modo que quanto maior o número de faces, mais detalhado ele tende a ser e conseqüentemente, maior será a exigência de processamento do *hardware*. Neste sentido, para equipamentos de menor capacidade, como é o caso dos óculos *standalone*, convém ter cenários com poucas triangulações.

online, como Pixxo 3D (2021) e Primitive CG (2022), além de literaturas relevantes ao tema, como Ferreira (2021) e D'Agostino et al. (2020), e com a experiência acumulada nos laboratórios ErgoUX (Ulisboa) e LAURD/PROURB (UFRJ), estabeleceu-se uma metodologia que permitiu não apenas a adequação do número de polígonos, mas também a modelagem eficiente¹¹ e realista¹² do cenário correspondente ao período de 2020.

3.3.4.1. Retopologia¹³/modelagem manual por imagem.

A tarefa de modelagem 3D é geralmente vista como meticulosa, algo que consome bastante esforço e tempo, mesmo para artistas 3D habilidosos, especialmente quando se busca o realismo como resultado, o que requer considerável atenção nos detalhes do ambiente virtual. Nas produções que utilizam modelagens profissionais, por exemplo, jogos tipo AAA¹⁴, o processo artístico é uma das etapas mais demoradas e caras de toda a produção (SILVA JUNIOR et al., 2018) e não raramente contam com a atuação de arquitetos (CRUZ, 2023).

No campo da modelagem para experiências em realidade virtual, especialmente em ambientes que buscam cenas realistas, é essencial adotar um fluxo de trabalho cuidadoso para evitar sobrecarregar o processador¹⁵. Neste sentido, produzir tais cenas para as aplicações em VR pode ser um desafio, especialmente em ambientes de grande extensão (como espaços urbanos), onde cada local necessita estar detalhado o suficiente para parecer realista. Assim, cada elemento deve possuir um nível adequado de detalhamento para que a experiência seja convincente. Portanto, um metucioso tratamento dos detalhes contribui para elevados padrões de realismo. No entanto, essa complexidade afeta inversamente o desempenho do *hardware*, demandando maior poder de processamento para cada incremento na riqueza dos detalhes.

¹¹ O termo 'eficiente' aqui foi aplicado no sentido de ser mais veloz que o processo de modelagem convencional.

¹² O termo 'realista' aqui foi aplicado no sentido de semelhança com as fotografias do lugar.

¹³ Retopologia é o processo de reorganizar a malha de polígonos de um modelo 3D para melhorar a eficiência do modelo. Isso é frequentemente necessário ao criar ambientes para jogos e experiências imersivas, onde a malha de polígonos eficiente reduz a necessidade de processadores de alto desempenho (SECCI et al., 2019)

¹⁴ 'AAA' ou 'Triple A' é a forma como são chamados os jogos blockbusters (de grande sucesso de público), que normalmente possuem orçamento de milhões de dólares e são desenvolvidos por grandes estúdios de videogames (SILVA JUNIOR et al., 2018; JACKSON et al., 2022). O termo geralmente considera altos padrões de qualidade gráfica, inclusive do cenário.

¹⁵ Nas aplicações imersivas, o processamento gráfico é duplicado devido à renderização separada para cada olho nos óculos de VR, que possuem duas telas distintas. Isso significa que o processador precisa gerar uma imagem diferente para cada tela, demandando uma capacidade gráfica maior em comparação com produções não imersivas.

A questão tratada no parágrafo acima é ainda mais crítica quando se refere aos equipamentos tipo *standalone*, pois neles a capacidade do processador é geralmente bastante reduzida em relação às placas de vídeo de computadores, tornando a necessidade de cuidados durante a modelagem algo fundamental e ainda mais meticuloso.

Esse problema entre o nível de detalhe e processamento não é algo novo, e há diversas ferramentas automáticas no mercado que procuram atenuar a questão, inclusive nos próprios *softwares* de modelagem (SECCI et al., 2019).

No caso em questão, o espaço focalizado abrange o quarteirão da praça e áreas adjacentes, situando-se em uma escala urbana. Contudo, a experiência será conduzida em uma escala arquitetônica, permitindo ao usuário observar elementos situados a meros centímetros de distância. Tal necessidade de detalhamento intensifica o desafio, especialmente considerando as limitações de processamento dos equipamentos autônomos. Para resolver essa questão, é imprescindível restringir o número de faces visíveis nas telas; caso contrário, a qualidade da experiência imersiva pode ser significativamente afetada ou até inviabilizada.

Por esta razão o presente tópico discute uma metodologia de modelagem não automatizada que permite obter-se resultados com baixíssima quantidade de triângulos e elevado nível de realismo, em um espaço de tempo relativamente curto em relação aos métodos mais frequentemente utilizados para modelar ambientes arquitetônicos. Tal procedimento foi aplicado na modelagem da experiência em pauta, cujo resultado possibilitou manter um bom grau de realismo, sem quedas perceptíveis de processamento.

O desafio mirou dois alvos principais, o primeiro foi o de reduzir a quantidade de triângulos dos modelos produzidos por outros autores, referentes às décadas de 1910 e 1950, sem perder drasticamente a qualidade gráfica, e o segundo foi a modelagem do cenário de 2020, ou seja, dos dias atuais, com baixo nível de detalhes, mas sem deixar de oferecer boa sensação de realismo.

Diante disso, tinha-se que os dois cenários fornecidos (1910 e 1950) possuíam, somados, mais de 7 milhões de faces, e para não afetar o desempenho, deveriam ter, quando adicionados ao cenário de 2020, algo próximo de 300.000 faces.

3.3.4.2. Revisão literária

A obtenção de realismo nos cenários virtuais não é um tema novo (WANG et al., 2002). Grande parte das pesquisas recentes sobre o assunto focam em métodos de modelagem automatizados, por exemplo, Silva Junior (2018), que propõe um algoritmo para desenvolver modelos 3D a partir

de projeções ortográficas. Barruezo-Vaquero et al (2022) utilizaram modelagem automatizada por foto para criar uma experiência imersiva de mergulho no fundo do oceano.

Nesta mesma linha, Hyeon et al (2022), sugere um método automatizado de redução de complexidade geométrica para modelagens fotorrealistas de espaços internos. Embora o trabalho de Hyeon apresente resultados significativamente positivos em relação à redução de triângulos e à automatização da modelagem, ele ainda é um recurso experimental que possui limitações quanto à espaços com certas características, inclusive padrões das texturas, além de dedicar-se especificamente aos espaços de interior.

No campo arquitetônico, há diversas publicações que fazem referência a métodos de modelagem, especialmente no caso de ambientes históricos, como é o caso do trabalho de Canuto (2016), que utilizou recursos de escaneamento a laser para a modelagem de patrimônios históricos, com vistas à experimentações em realidade virtual e aumentada. D'Agostino et al (2020), utilizou a retificação das imagens, em seguida digitalizou em *software* CAD para, por fim, gerar as modelagens tridimensionais. Agirachman et al (2017) descreveu um método de modelagem dos dias atuais para cenários urbanos a partir de fotografias obtidas no *software* Google Earth.

Nos estudos mencionados anteriormente, foi identificado um padrão recorrente, principalmente nos que abordaram procedimentos de modelagem tradicional, ou seja, sem o uso de sistemas automatizados. Nesses casos, o processo de produção segue uma sequência na qual a estrutura do cenário é criada primeiramente, por meio de modelagem baseada em medidas conhecidas, e posteriormente as texturas são aplicadas.

Propomos então, neste tópico, para o desenvolvimento do ambiente virtual, uma inversão desse procedimento convencional. Em vez de modelar primeiro e depois aplicar as texturas, sugerimos aplicar a textura antes em uma superfície lisa e, em seguida, iniciar a modelagem. Essa abordagem, relativamente simples, resultou em exemplos que apresentaram maior realismo, quantidade de polígonos significativamente menor e maior velocidade de produção.

Este procedimento exige que, antes da aplicação da textura, a imagem seja planificada, ou seja, os eixos x e y da perspectiva da foto devem ser distorcidos para que a fachada exibida fique totalmente alinhada ao plano bidimensional da tela, ou seja, uma das faces da edificação ficará ajustada ao plano ortogonal frontal, assemelhando-se a um desenho técnico. Embora isso possa parecer

complexo, há no mercado profissional ferramentas automáticas¹⁶ destinadas especificamente a realizar tais distorções, facilitando consideravelmente a tarefa.

O desenvolvimento de modelos a partir de imagens planificadas não é, em si, inovador. Isso é evidenciado por diversos tutoriais online que abordam a modelagem de estruturas tanto orgânicas quanto inorgânicas. No campo acadêmico, o estudo de Silva Junior (2018), por exemplo, utiliza vistas ortogonais planificadas em seu sistema automático. Contudo, essa abordagem é experimental e apresenta modelos de complexidade relativamente simples, ainda distantes do nível de detalhamento e realismo necessários à presente pesquisa. De maneira similar, mas em uma abordagem não automatizada, o trabalho de D'Agostino et al. (2020) utiliza fotografias planificadas para extrair medidas necessárias à modelagem. No entanto, o estudo não especifica se essas fotos foram usadas como texturas, sugerindo que a texturização pode ter ocorrido após a modelagem.

Diante do exposto, o objetivo do presente tópico é propor um fluxo de trabalho de modelagem de cenários urbanos que ofereça bons níveis de realismo e baixa quantidade de polígonos, podendo ser aplicado tanto na criação da modelagem da década de 2020, quanto na retopologia dos cenários fornecidos de 1910 e 1950, visando atingir a quantidade de faces adequada para realizar a experiência imersiva com os equipamentos *standalone*.

3.3.4.3. Descrição do Fluxo de trabalho proposto:

O fluxo de trabalho adotado inicia-se com a coleta das imagens que exibem as fachadas das edificações, bem como de algumas medidas fundamentais, como largura da edificação e, quando viável, a altura. Informações adicionais sobre a profundidade dos volumes do edifício também são pertinentes. Estas imagens são então processadas em um *software* especializado para retificação, isto é, para ajustá-las de forma que se assemelhem a desenhos bidimensionais ortogonais.

Após a retificação da imagem, esta é importada para uma ferramenta de modelagem 3D, como o Trimble SketchUp ou Blender. Inicialmente, cria-se um '*box*' com dimensões precisas de largura e altura. Em seguida, a imagem retificada é aplicada a esse '*box*' na qualidade de textura, de forma a preencher completamente uma das faces do cubo.

Em seguida, realiza-se a exclusão das partes externas da edificação, como céu, nuvens, ruas, etc. Dependendo do grau de detalhe da fotografia, um resultado preliminar já pode ser observado neste estágio. Com isso, a etapa seguinte é identificar os elementos mais relevantes que marcam as

¹⁶ *Softwares* como Adobe Photoshop ou Corel Photopaint possuem recursos dedicados especialmente à realização de distorção e ajustes na perspectiva das fotos, o que automatiza o processo em pauta.

características do prédio, desenhando-se a geometria sobre a foto e fazendo as devidas extrusões, com o cuidado para que isso ocorra apenas onde seja absolutamente necessário, buscando-se o menor número possível de faces.

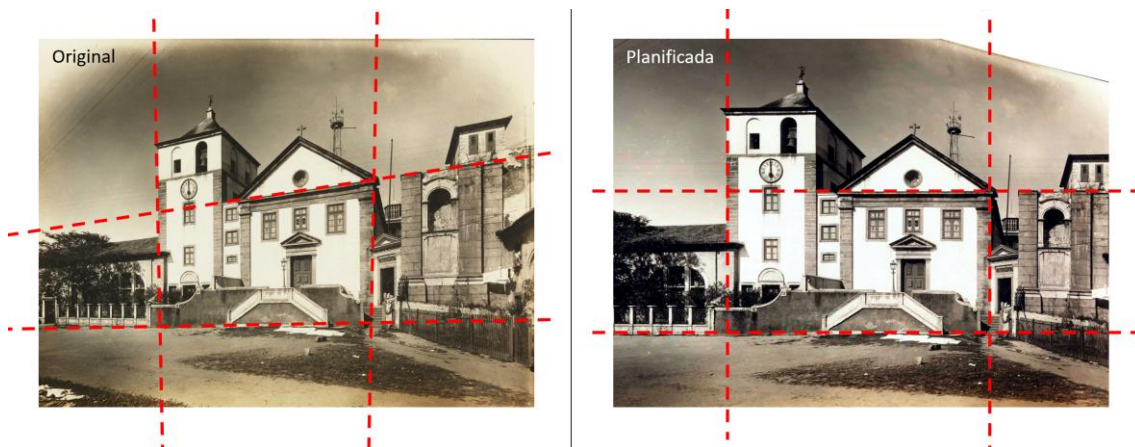


Figura 10 - Igreja dos Jesuítas, situada no Morro do Castelo, Rio de Janeiro. Demolido por ocasião da derrubada do Morro, na primeira metade do séc. XX. À esquerda consta a imagem original, com as linhas vermelhas ressaltando a perspectiva da imagem. À direita, a mesma foto, após o tratamento de planificação da perspectiva, tornando a fachada plana, semelhante a um desenho técnico bidimensional. Fonte: imagem original Biblioteca Nacional (2023). Imagem planificada, o autor, 2023.

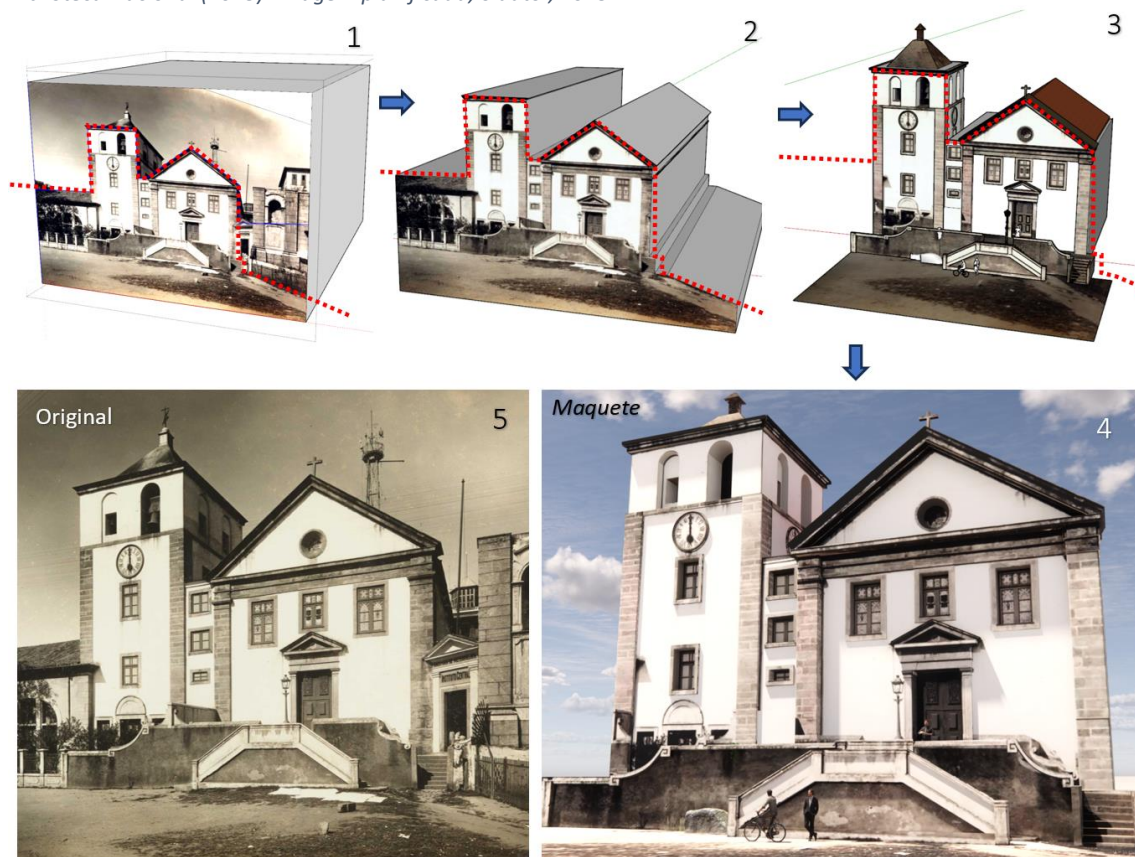


Figura 11 - Sequência de imagens demonstrando o processo proposto, onde a textura é primeiramente aplicada e em seguida, sobre ela, inicia-se a modelagem. Deste modo, a própria fotografia torna-se a textura dos diversos elementos da maquete atribuindo elevado realismo. Na sequência, a imagem de número 4 exibe a maquete finalizada, que pode ser comparada com a fotografia original ao lado, imagem de número 5. Fonte: Imagens 1, 2, 3 e 4, o autor, 2023. Imagem 5, Biblioteca Nacional (2023).

No exemplo acima, Figura 10 e Figura 11, uma edificação experimental foi usada para testar a eficácia do fluxo de trabalho proposto, tanto em termos de baixa contagem de triângulos quanto de eficiência temporal, além do realismo gráfico. Especificamente, o modelo é da Igreja dos Jesuítas, localizada no antigo Morro do Castelo no Rio de Janeiro, demolido na primeira metade do século XX (ANDREATTA; VILAS BOAS, 2021). Utilizando o *software* Adobe Photoshop, a técnica de planificação foi aplicada à imagem original. Subsequentemente, procedeu-se com as etapas de modelagem anteriormente descritas, empregando o *software* Trimble Sketchup para esse fim. Os resultados obtidos com o teste preliminar foram satisfatórios, alcançando-se poucos triângulos em um curto espaço de tempo, bem como atingindo um grau de realismo aceitável para os objetivos da pesquisa, conforme demonstrado na Figura 11.

A partir disso, iniciou-se a verificação quanto à capacidade de redução de triângulos, com vistas a saber se tal procedimento poderia ser utilizado para obter-se modelos de gráfico realista e com faces otimizadas. Para tal, escolheu-se a Basílica de Nazaré, uma edificação presente tanto nos anos 1950 quanto na atualidade. Dessa forma, caso a remodelagem dessa estrutura se mostrasse eficaz, o fluxo de trabalho poderia então ser utilizado para reduzir a quantidade de triângulos dos cenários originais de ambos os períodos, 1950 e 2020.

3.3.4.4. Retopologia da Basílica de Nazaré

Como trata-se de uma edificação complexa e de grandes dimensões, com partes que não são visíveis a partir de fotografias obtidas na altura do ser humano, utilizaram-se dois recursos adicionais, um drone para a obtenção de texturas que estão em cotas elevadas e o próprio modelo fornecido por Araújo (2019) para a obtenção de vistas ortogonais e medidas básicas. A Figura 12 ilustra as vistas ortogonais utilizadas como base para a nova modelagem da Basílica.

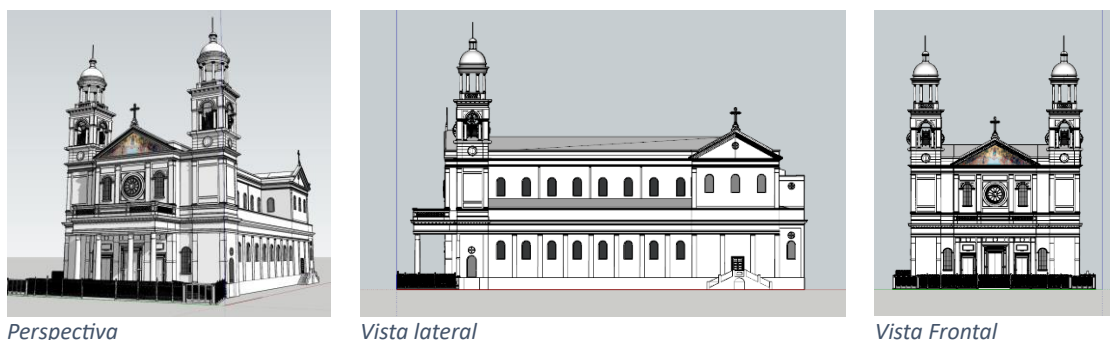


Figura 12 – Basílica de Nazaré, sequência de imagens obtidas através do modelo fornecido por Araújo.
Fonte: o autor, 2023, a partir da modelagem de Araújo, 2019.

O modelo produzido por Araújo é altamente detalhado, com uma riqueza de elementos impressionante, apresentando cerca de 380 mil faces. Apenas o modelo deste edifício já ultrapassa

o limite de triângulos sugerido por Arowosegbe (2021) para experiências no Metaquest. Diante disso, procurou-se, ao máximo possível, trabalhar de forma que apenas os volumes mais marcantes da igreja fossem destacados, evitando-se detalhar geometrias pouco visíveis, partindo-se do princípio de que as texturas geradas a partir das fotografias da fachada seriam suficientes para criar a ilusão de realismo.

A retopologia da edificação, resultou em uma redução de 380 mil para cerca de 18 mil faces. Diversos elementos antes detalhados agora estão unificados em uma única superfície lisa, e são perceptíveis tão somente através das texturas. Os capitéis das colunas do pátio foram alguns dos poucos elementos que se mantiveram com certo nível mais elevado de detalhe, os demais capitéis restringiram-se apenas à própria fotografia aplicada na superfície plana. O guarda-corpo da varanda também foi planejado. A Figura 13 e Figura 14 ilustram a diferença de nível de detalhes das fachadas, com quase todos os elementos simplificados nas superfícies planas. A Figura 16 e Figura 17 ilustram o modelo original e o novo, com suas texturas. A Figura 18 e Figura 19 comparam a maquete que sofreu a retopologia com uma fotografia original.

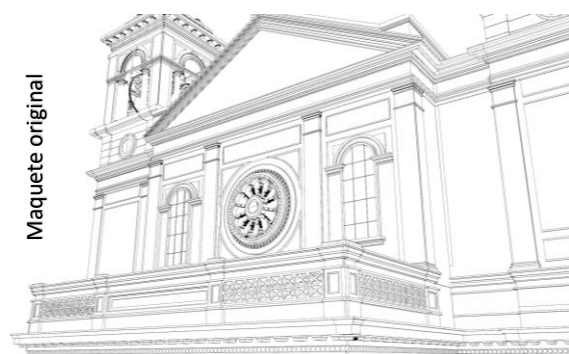


Figura 13 - Basílica de Nazaré, com cerca de 380 mil faces. Detalhe da sacada, produzido por Araújo. Fonte: o autor, 2023, a partir da modelagem de Araújo, 2019.

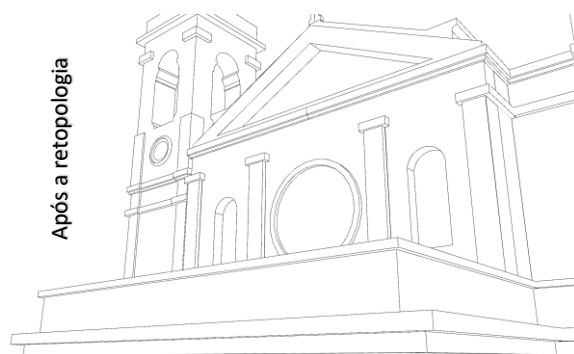


Figura 14 - Basílica de Nazaré, remodelada, com cerca de 18 mil faces. Detalhe da sacada. Retopologia realizada pelo autor. Fonte: o autor, 2023.

Como a Basílica possui uma geometria mais complexa que a maioria das demais edificações, foi necessário realizar diversos recortes separados das texturas. Um exemplo da planificação de uma parte do prédio está ilustrado na Figura 15, assim como uma amostra das texturas utilizadas, todas resultantes de recortes das fotografias do local. Como a textura é a própria imagem do prédio (mundo físico), isso reduziu a necessidade de ajustes nas configurações do renderizador para obter-se resultados realistas.

Ao final, o modelo 3D se mostrou suficientemente realista e com uma contagem de faces apropriada para o objetivo da pesquisa. Embora alguns elementos tenham sido eliminados ou significativamente simplificados - como os anjos no frontão - a combinação de todos os elementos

no novo modelo da Basílica resultou em um nível de realismo aceitável. Isso valida a viabilidade do método para sua aplicação nas outras edificações do Largo de Nazaré. As imagens a seguir comparam o modelo com uma fotografia original, ambas capturadas a partir do mesmo ângulo de visão.

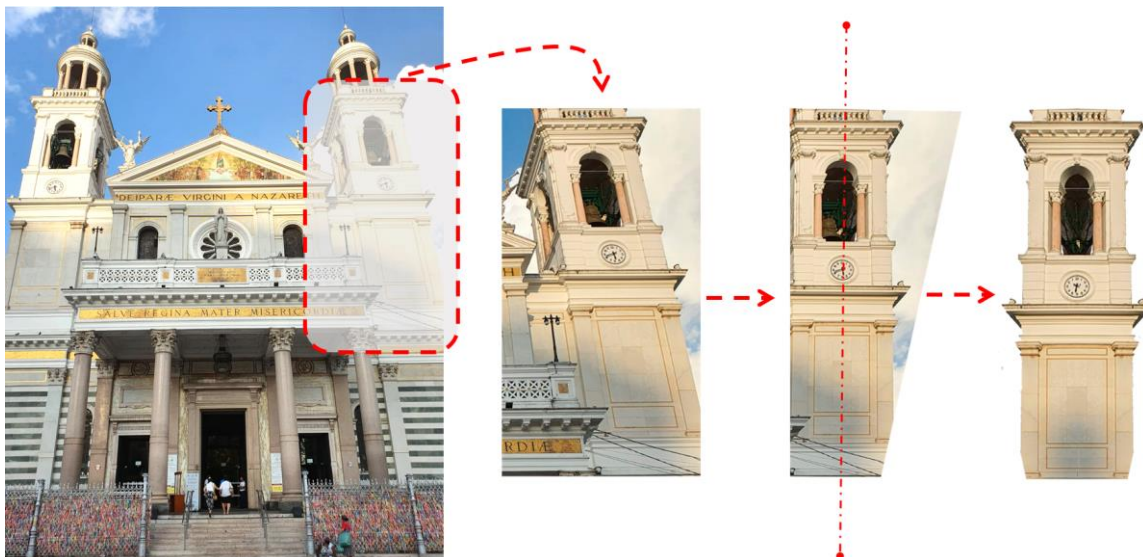


Figura 15 - Exemplo de textura planificada, extraída de uma fotografia.

Na imagem acima um trecho foi recortado, em seguida distorcido e ligeiramente rotacionado para alinhá-la ao eixo vertical. Posteriormente realizou-se um espelhamento para formar a imagem final, que serviu como textura das superfícies da maquete. O software Adobe Photoshop foi utilizado neste procedimento. Fonte: o autor, 2023.



Maquete original

Figura 16 - Basílica de Nazaré, com cerca de 380 mil faces. Vista superior, produzido por Araújo. Fonte: Araújo, 2019.



Após a retopologia

Figura 17 - Basílica de Nazaré, remodelada, com cerca de 18 mil faces. Vista superior. Retopologia realizada pelo autor. Fonte: o autor, 2023

Após verificar a validade do procedimento, ele foi empregado na construção completa do cenário de 2020, utilizando fotos extraídas no local e a partir do Google Street View. As dimensões foram obtidas tanto da maquete dos anos anteriores (quando pertinente) quanto do *software* Google Earth.



Figura 18 – Basílica de Nazaré, versão com retopologia – 18 mil faces.

Fonte: o autor, 2023.

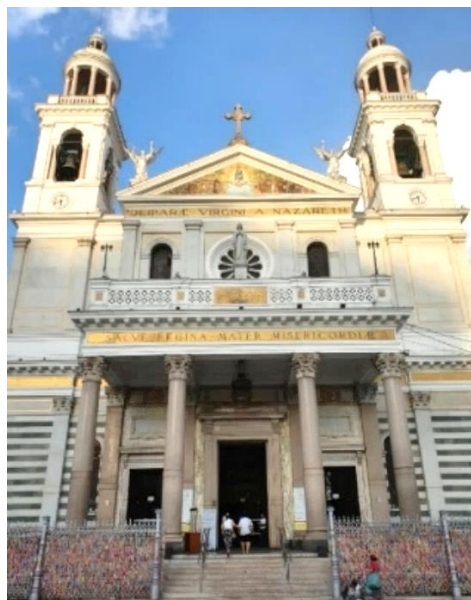


Figura 19 – Basílica de Nazaré, fotografia real.

Fonte: o autor, 2023.

Após concluir o cenário de 2020, deu-se início ao processo de retopologia das versões de 1910 e 1950, seguindo os mesmos passos, em que a modelagem foi realizada após a aplicação da textura. Para essas duas épocas, devido à escassez de fotografias, a maior parte das imagens das fachadas foi obtida por meio da renderização das maquetes originais. Dessa forma, cada edifício teve sua imagem individual utilizada como textura durante o processo de retopologia, seguindo o fluxo de trabalho mencionado anteriormente. A quatro figuras abaixo exemplificam isso.



Figura 20 - Modelagem original de uma edificação do Largo de Nazaré.

Fonte: Araújo, 2019.



Figura 21 - Modelagem da mesma edificação, com retopologia.

Fonte: o autor, 2023.



Figura 22 – Textura da fachada, renderizada a partir da modelagem original.

Fonte: Araújo, 2019 e o autor, 2023.



Figura 23 – Edificação remodelada, inserida no cenário de 1950. Retopologia realizada a partir da renderização da fachada da maquete original.

Fonte: o autor, 2023.

Após concluir todas as modelagens, e visando comparar a quantidade de triângulos obtidos com a dos modelos fornecidos, verificou-se que originalmente havia aproximadamente 7,5 milhões de triângulos nas épocas referentes aos modelos fornecidos, ou seja, excluindo-se os dias atuais. Após o procedimento, a quantidade total de faces resultante para a somatória de todas as três épocas foi de aproximadamente 190 mil, tornando a experiência viável. Abaixo está uma imagem dos três cenários.

1910



Figura 24 - Cenário de 1910, após a retopologia.

Fonte: o autor, 2023.

1950



Figura 25 - Cenário de 1950, após a retopologia.

Fonte: o autor, 2023.

2020



Figura 26 - Cenário de 2020, após a retopologia.

Fonte: o autor, 2023.

3.3.4.5. Considerações e limitações sobre a modelagem do cenário

O procedimento adotado, no qual a textura passa a ser aplicada primeiro e a modelagem é iniciada posteriormente, mostrou-se eficaz para as necessidades deste trabalho, resultando em uma redução na quantidade de polígonos sem comprometer a qualidade realista. É perceptível a diferença de realismo entre os modelos dos períodos passados e o período atual, devido ao uso de fotografias como base para a modelagem no presente, enquanto nas outras duas épocas a modelagem foi principalmente derivada de imagens renderizadas da maquete original.

No entanto, existem algumas limitações a serem consideradas, por exemplo, os fluxos utilizados não foram eficientes para edificações que possuíam formas predominantemente curvilíneas, como o Pavilhão Vesta. Com isso, o que se observou é que eles foram tão mais eficazes quanto mais plana era a fachada. Outrossim, ao aproximar-se de certos detalhes, ou ao trocar drasticamente o ângulo de visão, os efeitos de profundidade provocados pelas fotos tornam-se ineficientes, deixando claro que algo não parece coerente. Este problema somente aparece em pontos específicos do cenário, e fica mais acentuado se o usuário estiver a menos de 1 metro de distância de determinados elementos como os capitéis da Basílica.

É relevante mencionar a ausência de postes em todos os cenários modelados. Essa decisão foi tomada porque os postes, especialmente os de épocas passadas, apresentavam um nível de detalhamento elevado, tornando todas as tentativas de retopologia ineficazes. Dado que esses elementos, embora importantes, não são cruciais para a experiência ou para o conteúdo da aula, optou-se por excluí-los dos cenários. É importante notar que o total de aproximadamente 7,5 milhões de triângulos observados nos modelos originais para 1910 e 1950 já excluía a presença de postes, buscando-se assim uma comparação mais precisa.

3.3.5. Epata 05- Roteiro da aula para o teste piloto

Nesta fase da pesquisa, definiu-se um roteiro demarcando o tempo destinado à aula, as caminhadas e os principais pontos de interesse a serem apresentados pelo professor. Os resultados dessa etapa guiaram tanto a produção da modelagem quanto a programação dos recursos, bem como, por conseguinte, os experimentos descritos no capítulo 5.

3.3.5.1. Roteiro da aula

O roteiro desenvolvido visa permitir ao professor conduzir os alunos em um passeio exploratório pelo Largo. O trajeto engloba a observação de diversas edificações, o compartilhamento de curiosidades e da história do local, além da discussão sobre pontos positivos e negativos das

diversas intervenções realizadas ao longo do tempo. Inspirando-se nas aulas práticas de visitas de campo, o percurso foi delineado para promover uma progressão gradual de aquisição de conhecimento. Para uma melhor compreensão, ele está estruturado em seis partes distintas:

- a) Parte 1: Sala de treinamento
- b) Parte 2: O largo de 1910
- c) Parte 3: O largo de 1950
- d) Parte 4: O largo de 2020
- e) Parte 6: Troca de escalas

3.3.5.1.1. Parte 1: Sala de treinamento

Para o início da experiência, foi criado um ambiente fechado chamado "sala de treinamento", onde os estudantes, por meio de avatares, se encontram pela primeira vez. Nesse local, recebem as orientações e treinamentos sobre os comandos básicos do sistema imersivo, incluindo movimentação, uso da câmera fotográfica, caneta 3D, entre outros.

Este ambiente é voltado para familiarizar os estudantes com a realidade virtual, incluindo seus modos de navegação e a física simulada. É também neste local que são compartilhadas as primeiras informações sobre o tema da aula, a importância do local para a cidade, suas origens, além de outras informações relevantes que auxiliam o estudante a entender o contexto da matéria.

A sala de treinamento é um espaço amplo, com pé-direito triplo e uma única porta dupla ao fundo, este ambiente foi inspirado no modelo futurista de Nathanael (NATHANAEL, 2022). Nela os estudantes descobrem e treinam o teletransporte, bem como o giro para a esquerda ou direita a partir do toque no botão do controle. O espaço é dimensionado para ensinar os alunos a fazerem deslocamentos em pequenas e longas distâncias (acima de 5m). A Figura 27 e Figura 28 ilustram este espaço.

A sala também conta com três recursos adicionais. O primeiro é um teclado virtual onde o usuário pode inserir seu nome ou apelido. Uma vez inserido, o texto aparecerá flutuando sobre o avatar, facilitando sua identificação pelos demais participantes. Ao lado do teclado, há um espelho acompanhado de uma paleta de cores que permite ao utilizador visualizar-se, ler seu nome e mudar sua cor. A porta ao fundo da sala está semiaberta e revela inicialmente apenas um cenário vazio do lado de fora, com a intenção de despertar a curiosidade sobre o que está além dela. Esta porta será usada somente ao final desta seção da aula. A Figura 29 e Figura 30 mostram esses recursos.

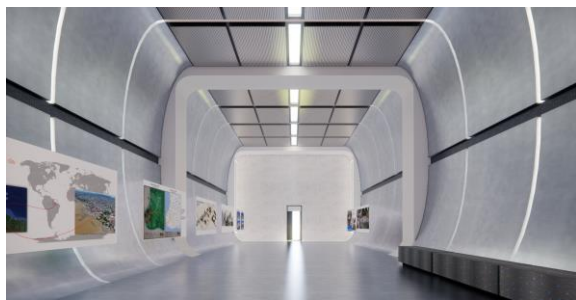


Figura 27 -Sala de treinamento - Vista geral. À direita os quadros para auxílio às explicações sobre o tema da aula e ao fundo a única porta da sala.

Fonte: o autor, 2023.



Figura 28 - Quadros flutuantes destinados a simular os slides frequentemente utilizados nas aulas.

Fonte: o autor, 2023.



Figura 29 - Teclado virtual para inserção do nome ou apelido.

Fonte: o autor, 2023.



Figura 30 - Dispositivo de reflexo para observação do avatar, acompanhado de um quadro adjacente para seleção da cor representativa.

Fonte: o autor, 2023.

Os dois primeiros quadros posicionados no cenário servem para elucidar as origens do local e sua relevância, apresentando matérias recentes sobre o Círio de Nazaré, um evento cultural e religioso anual que já conta com mais de dois séculos de história, conforme Figura 31. Este evento é hoje a maior procissão religiosa do Brasil e uma das maiores do mundo, tendo um vínculo intrínseco com o Largo, devido a uma lenda do século XVII.

Nessa lenda, um caboclo chamado Plácido teria encontrado uma imagem de madeira retratando Nazaré, a mãe de Jesus Cristo. Ele levou a imagem para casa, mas ela misteriosamente retornou ao local onde foi encontrada originalmente. Em resposta, Plácido construiu uma pequena ermida para a imagem no local de origem. Esta história ganhou popularidade e a Prefeitura decidiu levar a

estátua para a sede do Governo, que ficava no centro urbano, relativamente distante daquele local. No entanto, a imagem teria novamente retornado de forma misteriosa ao seu local de origem, levando as autoridades a demolirem a ermida e construir uma igreja no lugar (IPHAN, 2006a). Atualmente, este espaço é conhecido como Largo de Nazaré, e a estrada que o conecta ao centro da cidade também foi nomeada como Estrada de Nazaré, hoje, Avenida Nazaré.

<https://g1.globo.com/pa/para/cirio-de-nazare/2017/noticia/procissao-numero-225-do-cirio-de-nazare-leva-2-milhoes-de-pessoas-as-ruas-de-belem.shtml>



FOLHA DE S. PAULO

educação coronavirus saúde ambiente mobilidade mortes

Círio de Nazaré reúne 2,5 milhões de fiéis em Belém (PA)

Celebração foi retomada após dois anos suspensa em razão da pandemia



<https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-brasil/2020/10/09/cirio-de-nazare-adaptado-comeca-hoje-em-belem.htm>

Figura 31 - Quadro 01, exibido na primeira parte da aula, com o intuito de situar o aluno acerca da relevância cultural e religiosa do Largo de Nazaré.

Fonte: (UNESCO, 2013; NETO, 2022).

O relato mencionado anteriormente é brevemente apresentado no início da explanação do professor, quando todos os alunos estão diante do primeiro quadro, Figura 31. O quadro seguinte representa a localização geográfica da cidade. Na Figura 32, exibindo o quarto quadro, há dois mapas: um datado de 1800 (FAU ITEC UFPA, 2014a) e outro contemporâneo (Google Earth, 2023). Este último destaca aos alunos que as únicas áreas da cidade que permaneceram ao longo da expansão urbana foram o centro da cidade (agora conhecido como cidade velha), a Estrada de Nazaré (atualmente Avenida) e o Largo de Nazaré. Em outras palavras, além da linha vermelha indicada no mapa, que demarca a cidade velha, todas as outras partes do desenho urbano de Belém foram modificadas, exceto o Largo e a Avenida Nazaré. A Figura 32 exhibe a comparação entre os mapas.

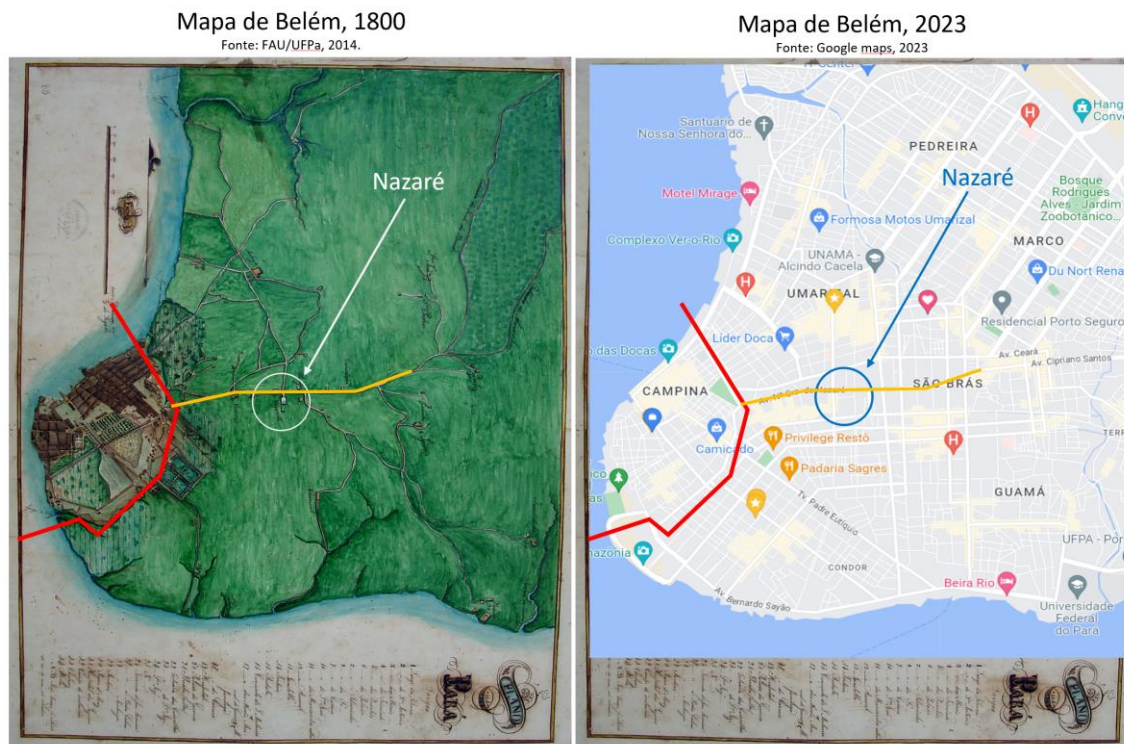


Figura 32 - Quadro 04 - Demonstração de que, além do atual Centro Histórico (hoje Bairro da Campina), apenas a Avenida Nazaré e o Largo de Nazaré resistiram ao crescimento urbano da cidade, ocorrido nos últimos séculos. A linha vermelha demarca o centro histórico de Belém, a linha amarela mostra a Avenida Nazaré e o círculo informa a localização do Largo de Nazaré. Fontes: FAU ITEC UFPA (2014a) e Google Earth (2023). Adaptado.

O quadro de número 5 apresenta um mapa de 1881, adaptado por este autor, conforme Figura 33. Esta imagem tem como objetivo demonstrar que, nessa época, o espaço já havia sido retificado e estava agora cercado por vias nos quatro lados, com diversos acessos, além da própria Avenida Nazaré. As estruturas em 3D do quadro ilustram a provável localização da primeira igreja construída pela prefeitura no século XVII, cuja fachada voltava-se para a via principal, e a segunda igreja, erguida no século XIX, que teve sua fachada principal voltada para a praça, em vez da rua, como era sua antecessora. As possíveis estratégias espaciais usadas para determinar a localização e orientação da segunda igreja, são discutidas durante a aula.

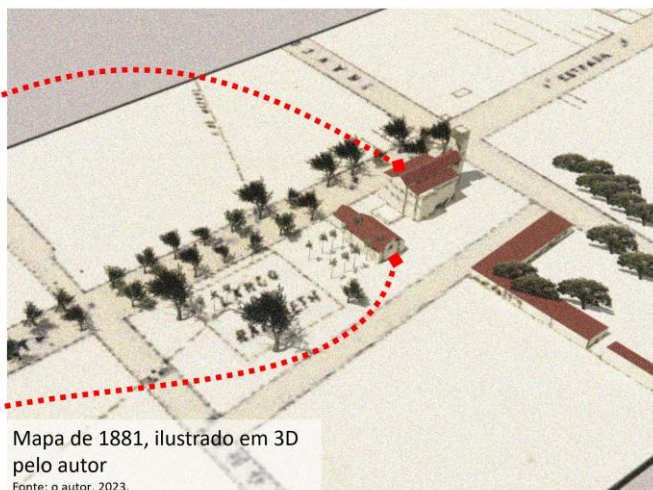
O quadro seguinte, Figura 34, exhibe as três versões da igreja local, incluindo a atual, refletindo o estilo arquitetônico de cada época, bem como os materiais e o contexto econômico da cidade. Neste momento, é mencionado aos alunos que, embora a igreja seja normalmente considerada o ambiente mais sagrado de seus sítios religiosos, no caso específico do Largo de Nazaré, tal edificação foi demolida e reconstruída três vezes, enquanto a localização do Largo permaneceu inalterada na escala urbana.

Igreja de Nazaré do Desterro

Fonte: Baleixe, 2010.



1ª Igreja,
construída após a
demolição da
ermida



Mapa de 1881, ilustrado em 3D
pelo autor
Fonte: o autor, 2023.

Figura 33 - Mapa de 1881, adaptado pelo autor, exibindo a localização da primeira e segunda igreja.
Fonte: Baleixe (2010) e o autor (2023).



Figura 34 – Quadro 6, no qual as imagens ilustram as três igrejas construídas em diferentes épocas no Largo de Nazaré, refletindo o momento econômico, político e religioso da cidade em diferentes momentos.
Fonte: Baleixe (2010) e o autor (2023).

O último quadro faz referência a uma das edificações mais marcantes que já ocupou o Largo de Nazaré, chamada de Pavilhão Vesta, que desabou em meados do século passado, sendo substituída por outra, agora modernista, denominada Santuário de Nazaré. O pavilhão em pautas foi construído em meados do séc. XIX, com características neoclássicas. Seu nome, dá-se possivelmente pela similaridade com o templo à Deusa Vesta, de arquitetura clássica greco-romana, que existiu no Foro de Roma até o século IV antes de Cristo. A Figura 35 exibe um comparativo entre as reconstruções virtuais das duas edificações.

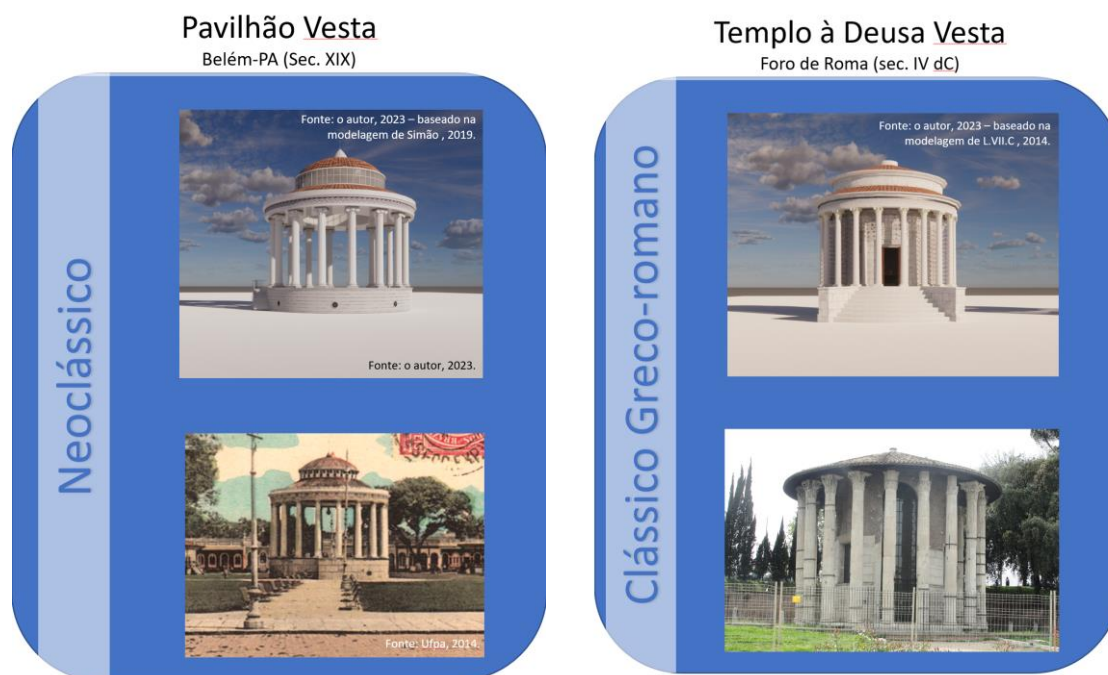


Figura 35 – Quadro 7, exibindo o Pavilhão Vesta, no Largo de Nazaré, construído no final do Séc. XIX, e o Templo à Deus Vesta, que existiu no Foro de Roma até o Séc. IV d.C. Especula-se que o pavilhão Vesta tenha sido inspirado no Templo à Deusa Vesta em razão no nome e das semelhanças arquitetônicas entre ambos.
Fontes: FAU ITEC UFPA (2014) e o autor (2014).

Com isso, as atividades na sala de controle terminam. É previsto então que o professor oriente os alunos a se agruparem próximo à única porta do ambiente, preparando-se para avançar à segunda parte da aula.

3.3.5.1.2. Parte 2 – O Largo de 1910

Uma vez habituados às formas de locomoção, bem como já devidamente ambientados sobre o assunto da aula, o professor pressiona um botão e o cenário e os sons da praça passam a ser vistos pela porta que está entreaberta, Figura 36. Com isso, os estudantes são convidados a saírem da sala de treinamento para conhecerem o largo de Nazaré de 1910. As casas, as árvores, os coretos, os pássaros voando, os bondes e outros são agora visíveis para os alunos, além das marcantes edificações Pavilhão Vesta e Igreja de Nazaré do Desterro (a segunda versão da Igreja), conforme Figura 37.



Figura 36 - Porta da sala de treinamento, entreaberta, exibindo ao fundo o Largo de Nazaré de 1910.

Neste momento, os alunos são convidados a passarem pela porta e visitarem o lugar.

Fonte: o autor, 2023.

Inicialmente, os alunos são convidados a se reunirem à sombra de uma árvore,

que se torna o primeiro ponto de encontro. Posteriormente, o grupo segue para o coreto mais próximo, designado como o segundo ponto. Ali, são observados os detalhes da arquitetura de ferro do coreto, o nível do piso e a vista panorâmica oferecida. O professor esclarece então que existem mais três coretos semelhantes situados nos cantos da praça. A Figura 39 apresenta um mapa que indica os pontos de encontro e o percurso da visita virtual em 1910.

O terceiro ponto de encontro destina-se à caminhada até o Pavilhão Vesta, claramente um dos equipamentos urbanos que mais chama a atenção na praça, conforme Figura 38. Aqui são discutidos assuntos como a centralidade espacial, seu estilo e características arquitetônicas, bem como sua imponência e relevância para o lugar. Também se discute a disposição e proximidade dos bancos que estão no passeio, voltados um de frente para o outro, mas muitos longe das sombras das árvores, o que, no clima quente da cidade de Belém, não soa agradável na maior parte do dia.



Figura 37 - Vista da praça, obtida por quem está passando pela porta de saída da sala de treinamento. No primeiro plano um dos coretos e os bancos da praça, na lateral esquerda e ao fundo, os bondes e as edificações que circundam o Largo. No céu, os pontos escuros são pássaros, simulando os periquitos da praça. Fonte: modelagem original - Araújo, 2019. Retopologia, textura e renderização - o autor, 2023.

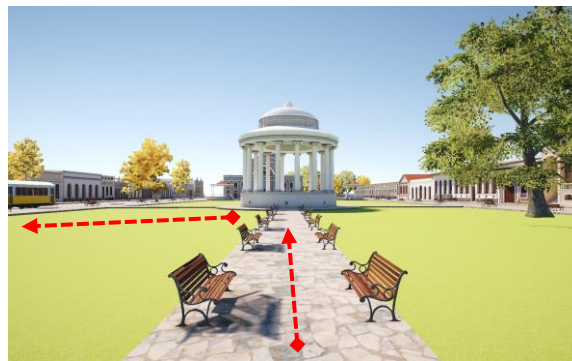


Figura 38 - Terceiro ponto de encontro, dedicado a observar a relação do Pavilhão Vesta com o entorno. A seta em vermelho indica o percurso para o quarto ponto de encontro e posteriormente para o quinto ponto. Fonte: modelagem original - Araújo, 2019. Retopologia, textura e renderização - o autor, 2023.

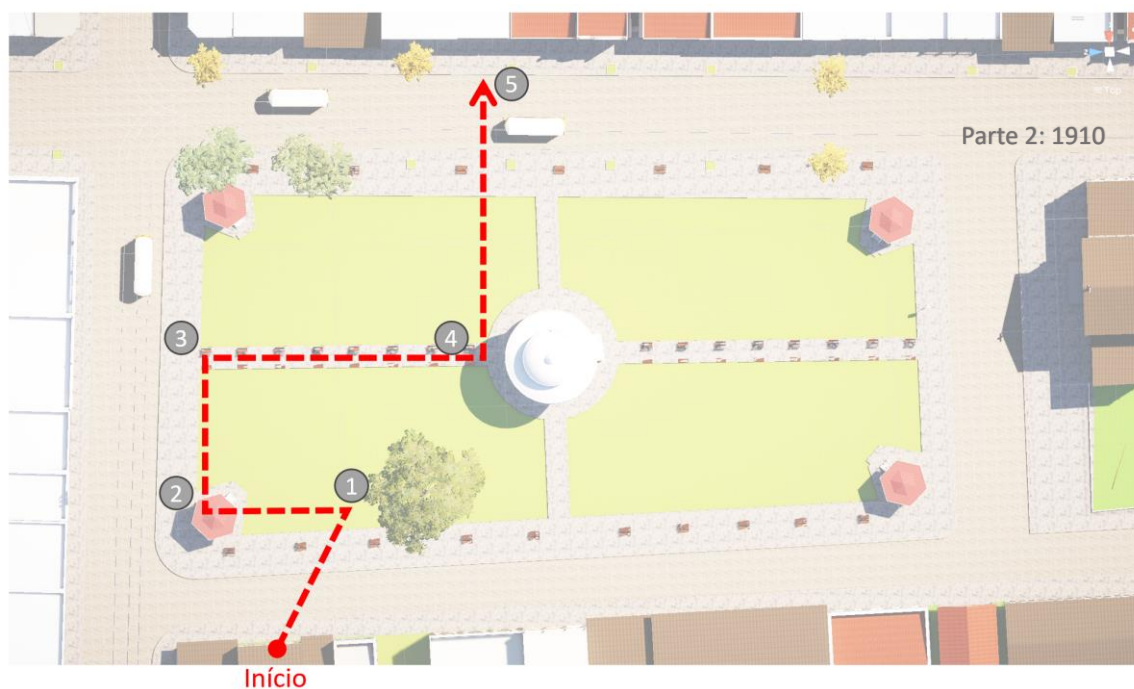


Figura 39 - Mapa dos pontos de encontro da visita referente à década de 1910. Fonte: modelagem original - Araújo, 2019. Retopologia, textura e renderização - o autor, 2023.

O quinto ponto demarcado na Figura 39, é dedicado à realização da primeira viagem no tempo, que levará os participantes do cenário de 1910 ao de 1950. Após agrupados, os alunos são orientados a olhar em direção ao pavilhão, neste momento o professor informa acerca da passagem dos anos e ao pressionar um botão, um breve som é ouvido e então ocorre a troca de épocas, tornando possível observar as mudanças ocorridas no espaço urbano e arquitetônico da praça. A Figura 41 e Figura 42, no tópico a seguir, apresentam o cenário antes e depois da viagem no tempo.

3.3.5.1.1. Parte 3 – O Largo de 1950

A Figura 40 exibe um mapa informando os cinco passos da aula relativos à década de 1950. Eles iniciam no mesmo lugar onde encerrou a parte anterior, avançando-se 40 anos no futuro, dando continuidade ao circuito.

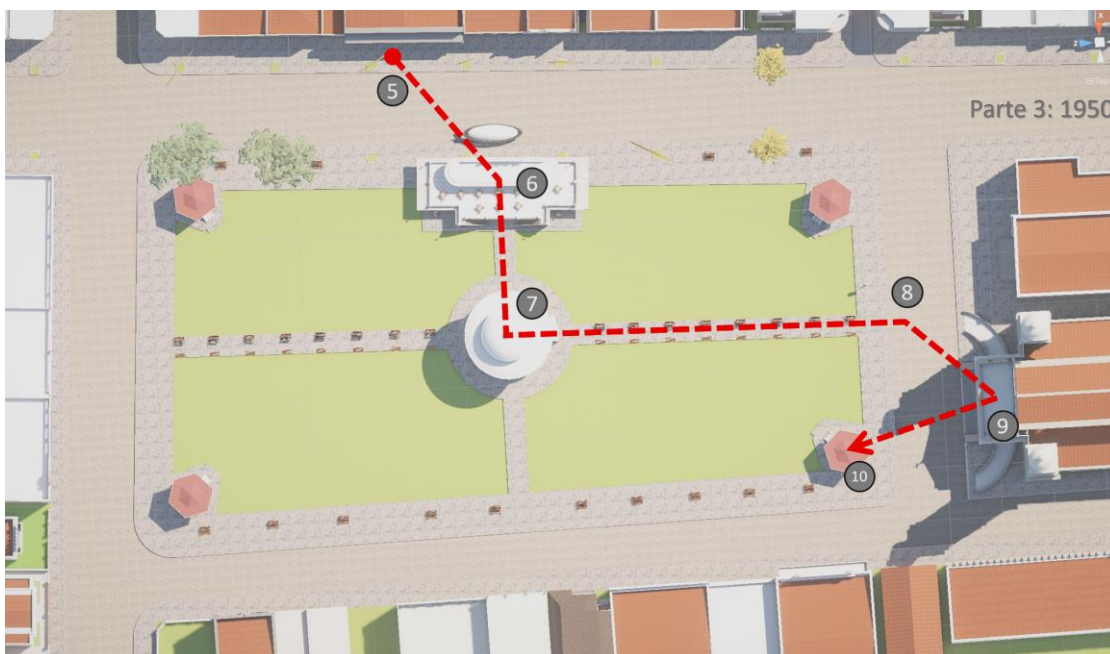


Figura 40 - Mapa dos pontos de encontro da visita referente à década de 1950.

Fonte: modelagem original - Araújo, 2019 e Bassalo, 2019. Retopologia, textura, renderização e adaptação - o autor, 2023.

A Figura 42 exibe a praça em 1950, já com a construção do Clipper e com o Ônibus Zepelim, veículo fabricado na cidade de Belém e comercializado no Norte do Brasil nos anos 1950. A Figura 43 exibe uma fotografia do Clipper de Nazaré, também chamado de Super Clipper devido à sua dimensão em relação aos demais pontos de ônibus ao estilo Art-déco existentes na cidade à época. A Figura 44 contém uma fotografia do ônibus Zepelim, que circulava nas ruas de Belém na década de 1950.

Após a experiência de viagem no tempo e uma breve explicação sobre as principais transformações ocorridas no espaço urbano, a turma segue em direção ao sexto ponto de encontro. Nesse local, a discussão é centrada no edifício Clipper, uma construção no estilo Art-déco com dois pavimentos e uma área total superior a 400 m². O térreo do edifício consiste em um amplo abrigo para ponto de ônibus, juntamente com dois ambientes de venda, possivelmente lanchonetes. O piso superior abriga um restaurante parcialmente coberto. Esse tipo de equipamento urbano, os Clippers, não existem mais na cidade, criando um contraste significativo quando comparados aos atuais pontos de ônibus, cujos abrigos são claramente menores e geralmente subdimensionados.



Figura 41 – Vista obtida a partir do quinto ponto de encontro. Imagem capturada antes da realização da viagem no tempo - cenário de 1910.

Destaque para o Pavilhão Vesta e o Bonde.

Fonte: modelagem original - Araújo, 2019 e o autor, 2023. Retopologia, textura e renderização - o autor, 2023.



Figura 42 - Vista obtida a partir do quinto ponto de encontro. Imagem capturada depois da realização da viagem no tempo – cenário de 1950.

Destaque para o abrigo de ônibus, em art-déco, e para o ônibus Zeppelin. Ao fundo, a Basílica de Nazaré, inaugurada por volta de 1920.

Fonte: modelagem original - Araújo, 2019, Bassalo, 2019 e o autor, 2023. Retopologia, textura e renderização - o autor, 2023.

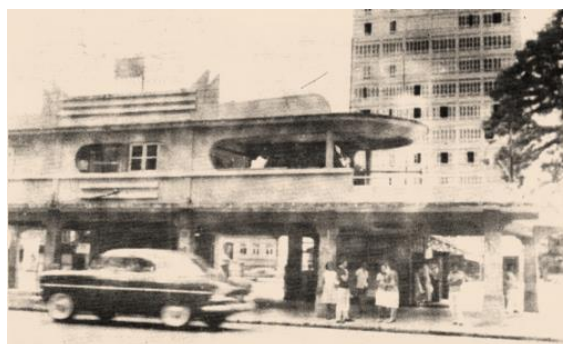


Figura 43 – Super Clipper de Nazaré, projeto desenvolvido em 1949 e executado posteriormente.

Fonte: (FAU ITEC UFPA, 2014b).



Figura 44 - Ônibus-zeppelin, abastecendo, próximo à feira do Ver-o-Peso, em 1957.

Fonte: (KESSEL, 2008, 2012)



Figura 45 - Vista aérea do Clipper de Nazaré.

O pavimento superior era ocupado por um restaurante com vista panorâmica para a praça.

Fonte: modelagem original - Bassalo, 2019. Retopologia, textura e renderização - o autor, 2023.



Figura 46 - Vista interna do Clipper de Nazaré.

Andar térreo, destinado ao ponto de ônibus. à esquerda e ao fundo os dois quiosques de venda.

Fonte: modelagem original - Bassalo, 2019. Retopologia, textura e renderização - o autor, 2023.

Ao adentrar no Clipper, os alunos caminham inicialmente pela área destinada ao abrigo do ponto de ônibus, que se configura num espaço coberto, mas aberto nas laterais. Neste local, discute-se acerca da função da edificação, suas características físicas e a possível eficiência na proteção contra as chuvas e o sol de Belém. No andar de cima há um restaurante, no qual os alunos podem contemplar os vários pontos de vista da praça, entre eles, destaca-se a visão privilegiada para o Pavilhão, para a Basílica de Nazaré e para a própria Avenida Nazaré. Hoje, devido à inexistência do Clipper, tais pontos de vista elevados não são mais possíveis em uma visita convencional. A Figura 45 e Figura 46, acima, ilustram tal edificação.



Figura 47 - Vista interna do Pavilhão Vesta.

Fonte: modelagem original - Araújo, 2019. Retopologia, textura e renderização - o autor, 2023



Figura 48 - Vista externa do Pavilhão Vesta.

Fonte: modelagem original - Araújo, 2019. Retopologia, textura e renderização - o autor, 2023.



Figura 49 - Pavilhão Vesta, detalhe do capitel.

Fonte: modelagem original - Araújo, 2019. Retopologia, textura e renderização - o autor, 2023

O sétimo ponto de encontro ocorre no Pavilhão Vesta, onde os alunos são convidados a subir a escada e entrar na edificação, permitindo que observem a paisagem panorâmica a partir do centro da praça. São discutidos com os estudantes o formato das colunas, suas dimensões, o pé-direito e a sensação de estar naquele local. A Figura 47, Figura 48 e Figura 49 ilustram este espaço.

Nesse momento, o professor aproveita para ensinar os alunos sobre como voar na realidade virtual, sugerindo a eles que subam para examinar em detalhes os capitéis do pavilhão. A partir desse momento, eles podem explorar uma variedade de perspectivas e pontos de vista diferentes. Em razão dos possíveis efeitos negativos da doença do simulador, os estudantes são orientados a utilizarem o modo voo com cuidado e vagarosamente.

A Figura 50 e Figura 51 lustram fotografias do Pavilhão Vesta. Na primeira é possível observar a relação dimensional entre a largura das colunas e as pessoas que se posicionaram junta a elas. Na segunda, observa-se o Pavilhão à distância, com a imagem da Basílica de Nazaré ao fundo, demonstrando a relação visual entre ambas as edificações. A Figura 52 ilustra a maquete utilizada na experiência em pauta, demonstrando a semelhança entre o cenário físico e o virtual.



Figura 50 -Imagem do Pavilhão Vesta, ocupado por diversas pessoas, por ocasião da comemoração do juramento à bandeira pela primeira turma de escoteiros do Instituto Lauro Sodré, em 1924.
Fonte: (FAU ITEC UFPA, 2016).



Figura 51 - Largo de Nazaré (anteriormente denominada praça Justo Chermont).
No primeiro plano o Pavilhão Vesta e ao fundo a Basílica de Nazaré. Fonte: (IBGE, 2017)



Figura 52 - Imagem do cenário virtualizado, do mesmo ponto de captura da Figura 51.
Demonstra-se a semelhança do ambiente físico (real) com o reconstruído (virtual). Fonte: Modelagem original - Araújo, 2019 e o autor, 2023. Retopologia, textura e renderização - o autor, 2023.

O oitavo ponto de encontro situa-se em frente à Basílica de Nazaré. Neste local, é empregado o recurso de viagem no tempo, para transportar os alunos primeiramente de volta ao ano de 1910 e, subsequentemente, retornarem a 1950. Esta transição temporal permite aos participantes observar a coexistência das versões antiga e nova da igreja enquanto estão posicionados diante das estruturas. A experiência tem o objetivo de ajudar a elucidar a transformação do local ao longo dos

anos. A Figura 53 e Figura 54 exibem imagens deste mesmo ponto de encontro, retratando a igreja nos anos de 1910 e 1950, respectivamente. Ao comparar ambas as imagens, torna-se evidente que parte da estrutura original foi demolida para dar espaço à nova edificação, e que, em 1950, ainda existia um segmento remanescente da igreja anterior.

Outro aspecto relevante é a explicação sobre a imponência do edifício. Como a visita é em escala real, ao posicionar-se diante da edificação, é necessário olhar para cima para contemplar toda a sua grandiosidade. Esse movimento natural de girar a cabeça auxilia na percepção da altura e imponência do local, algo que só ocorre de maneira coerente na escala 1:1. O pátio de entrada e a porta principal do edifício religioso também recebem destaque durante a aula. São discutidos suas dimensões e o nível de detalhamento, mencionando algumas das possíveis razões que podem levar os arquitetos a projetarem portas que são claramente mais altas do que o necessário para a passagem de pessoas, e como isso é explorado na arquitetura religiosa. A Figura 55 e Figura 56 exibem detalhes da escadaria, pátio e porta principal.



Figura 53 - Igreja de Nossa Senhora de Nazaré do Desterro, 1910.

Fonte: modelagem original - Araújo, 2019. Retopologia, textura e renderização - o autor, 2023.



Figura 54 - Basílica de Nazaré, 1950.

Fonte: o autor, 2023.



Figura 55 - Escadaria e pátio de entrada da Basílica de Nazaré.

Fonte: o autor, 2023.

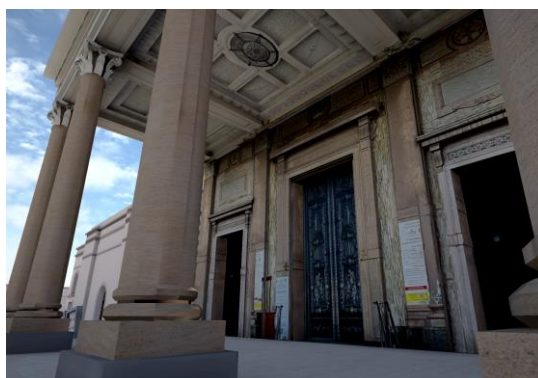


Figura 56 - Detalhe do pátio de entrada e da porta principal, discutida na aula como o limiar entre o mundo profano e o mundo sagrado.

Fonte: o autor, 2023.

O último ponto de encontro, ainda na década de 1950, é no coreto próximo à Basílica. Suas características físicas são iguais às do primeiro coreto visitado, mas seu panorama visual difere, o

que o torna um bom local para realizar as observações acerca das modificações ocorridas entre a época vivenciada e os dias atuais.

3.3.5.1.1. Parte 4 – O Largo de 2020

A parte subsequente da aula, que enfoca o período atual, inicia-se com a transição temporal de 1950 para 2020. A Figura 57 mostra o trajeto a ser seguido nesta parte da aula, bem como os respectivos pontos de encontro.

O décimo ponto, assinalado no mapa, objetiva destacar as mudanças expressivas que ocorreram no Largo. Essas transformações compreendem, entre outras coisas, a demolição de diversas edificações históricas para a criação de um estacionamento a céu aberto¹⁷. Nota-se também a substituição do Pavilhão Vesta pelo Santuário de Nazaré, um edifício de traços modernistas erguido no mesmo local. O Clipper foi demolido, restando apenas um ponto de ônibus que, curiosamente, não oferece qualquer abrigo aos usuários, deixando-os expostos às frequentes chuvas da região. O Largo agora encontra-se circundada por grades, já o passeio interno da praça foi ampliado para facilitar a circulação. Os quatro coretos originais deram lugar a uma concha acústica única, mais ampla, visualmente opaca e posicionada no extremo da praça, além de outras inúmeras alterações que se sucederam ao longo do tempo.

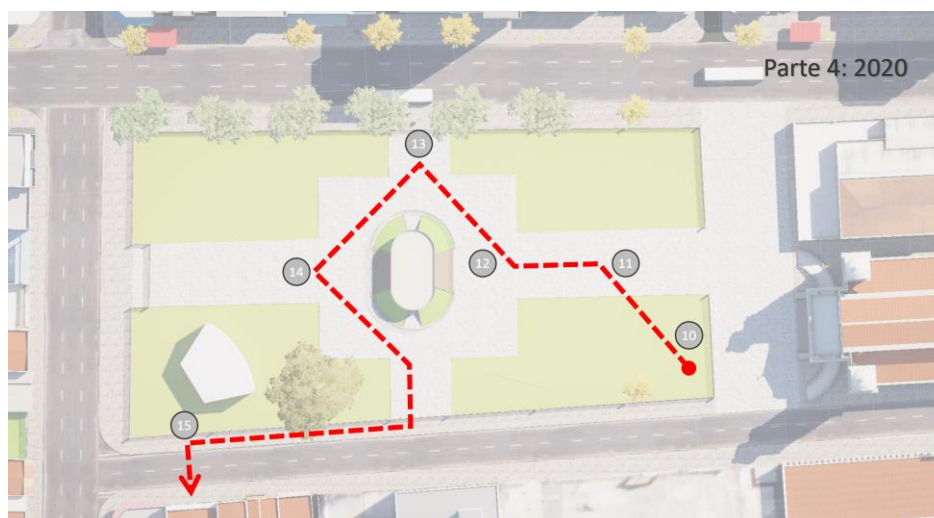


Figura 57 - Mapa dos pontos de encontro referentes à visita na década de 2020. Fonte: o autor, 2023.

¹⁷ Uma vez ao ano, durante aproximadamente dois meses, esse estacionamento é destinado a sediar o Arraial de Nazaré, um parque de diversões que é montado no local há várias décadas, coincidindo com o período de celebração do Círio de Nazaré. Anteriormente, o referido arraial ocorria diretamente na própria praça. No entanto, com a aquisição dos lotes, o estacionamento foi estabelecido como o espaço oficial para a realização das festividades, enquanto a praça passou a ser predominantemente utilizada como um espaço contemplativo. Além disso, ocasionalmente, o estacionamento também é utilizado para acolher feiras populares e eventos similares, ampliando suas possibilidades de uso e promovendo atividades diversas.

O décimo primeiro ponto demarcado no mapa visa dar foco na substituição do Pavilhão Vesta, Figura 58, pelo Santuário de Nazaré, Figura 59. Ambas as edificações se utilizaram da mesma posição central na praça, podendo ser vistas de praticamente qualquer local, também a cota de nível do piso de ambas é semelhante, cerca de 2m de altura. Com relação às diferenças, o professor tem a possibilidade de solicitar que os próprios alunos observem e mencionem o que perceberam entre o passado e o presente, relativo às duas edificações.

Para ressaltar essas diferenças, o professor pode utilizar o recurso de ‘Fusão Temporal’, permitindo que os estudantes visualizem, em um único cenário, a sobreposição dos dois edifícios. Essa abordagem visa facilitar as discussões sobre os aspectos positivos e negativos de cada um.

Quanto ao Santuário, Figura 60, destaca-se, entre outras coisas, a presença de grades ao redor da estrutura. A altura e opacidade do próprio edifício, bem como a sua fachada frontal, lateral e traseira em estilo modernista, contrastam acentuadamente com o Pavilhão, que era em estilo neoclássico. Este último configurava-se numa estrutura semitransparente devido aos espaços abertos entre os pilares, sua altura conferia uma presença e imponência muito mais marcantes na praça do que o edifício atual. Além disso, sua natureza totalmente aberta tornava o espaço acolhedor, oferecendo uma vista panorâmica privilegiada da praça. Em contrapartida, o novo prédio é menos convidativo, limitado pelas grades que o cercam, restringindo o acesso e, conseqüentemente, a apreciação da vista panorâmica a partir de um nível mais elevado. As imagens subsequentes ilustram as comparações entre as duas edificações.



Figura 58 -Pavilhão Vesta, maquete relativa à década de 1950.

Fonte: modelagem original - Araújo, 2019. Retopologia, textura e renderização - o autor, 2023.



Figura 59 - Santuário de Nazaré, maquete relativa aos dias atuais.

Fonte: o autor, 2023.



Figura 60 – Santuário de Nazaré, dias atuais.
Fonte: o autor, 2023.

O ponto seguinte do mapa, Figura 57, foca na ausência do abrigo de ônibus, especialmente quanto à perda de suas funções. O gradil também é discutido, seu possível benefício para os problemas de segurança do local e as consequências relacionadas ao acesso, aos fluxos, à sensação de pertencimento ao local e à própria segurança, esta é relatada com maior ênfase na última parte do percurso. A Figura 61 e a Figura 62 ilustram a visão dos alunos nos períodos de 1950 e 2020.



Figura 61 - Clipper, maquete relativa à década de 1950.
Fonte: modelagem original - Bassalo, 2019. Retopologia, textura e renderização - o autor, 2023.



Figura 62 - Local do antigo Clipper, da imagem ao lado. Atual ponto de ônibus do Largo de Nazaré. Hoje sem qualquer abrigo e com a presença do gradil segregando as partes internas e externas da praça.
Fonte: o autor, 2023.

O décimo quarto ponto de discussão aborda a substituição dos antigos coretos pela Concha Acústica, uma estrutura consideravelmente maior. Embora a nova Concha Acústica possa acomodar eventos de maior envergadura, ela, assim como o Santuário, também é cercada por grades, limitando a aproximação e a interação do público. Esse aspecto contribuiu para que a primeira metade da praça, localizada entre o Santuário e a Avenida Generalíssimo Deodoro, tivesse agora

poucos atrativos, tornando-se uma área menos frequentada, exceto durante as festividades do Círio de Nazaré, no mês de outubro, quando há um grande público. Outras repercussões negativas também decorrentes dessas mudanças na configuração da praça serão discutidas na última etapa do circuito da aula.

Assim, os alunos são conduzidos do ponto 14 ao 15, conforme demonstrado na Figura 57. Ali eles observam que quase todas as edificações foram substituídas, mas para além disso, dada a presença do gradil por todo o perímetro, bem como da extensa opacidade provocada pela Concha, o ponto de encontro número 15 passou a ser a região mais marginalizada da área, onde é frequente a presença de pessoas em situação de rua e praticantes de pequenos furtos, causando um forte impacto nos visitantes que, na vida real, realizam este mesmo circuito.

Na Figura 63, a casa localizada mais à direita é a mesma que foi escolhida para ser o local virtual da sala de controle. A seta em vermelho indica a porta que serve tanto de entrada quanto de saída para essa sala. Portanto, ao passarem pela porta principal dessa edificação, todos os participantes retornarão ao ponto inicial, marcando a conclusão do circuito da aula.



Figura 63 - Décimo quinto ponto de encontro, comparativo entre as épocas.

Destaca-se, atualmente, a presença do gradil e da concha acústica. A seta em vermelho indica a porta que leva, virtualmente, à sala de controle. Fonte: modelagem por Araújo, 2019 e o autor, 2023. Retopologia, textura e renderização - o autor, 2023

3.3.5.1.2. Parte 5 – A troca de escalas e a finalização da aula

A parte final da aula passa ainda por mais dois momentos, o primeiro é a leitura do espaço a partir da troca de escalas, assim, o professor orienta os alunos a clicarem na opção 1:300, neste momento todos ficarão trezentas vezes maiores que a maquete, podendo agora interagir com o cenário sob outro ponto de vista, algo que se assemelha à leitura de uma maquete física. Aqui são novamente realizadas viagens no tempo, entre todas as épocas modeladas, mas a partir da escala reduzida, conforme Figura 64. Por fim, o professor convida todos a retornarem para o cenário na escala real, e libera os alunos para passearem, voarem e fotografarem o que considerarem pertinente para o fim da aula.

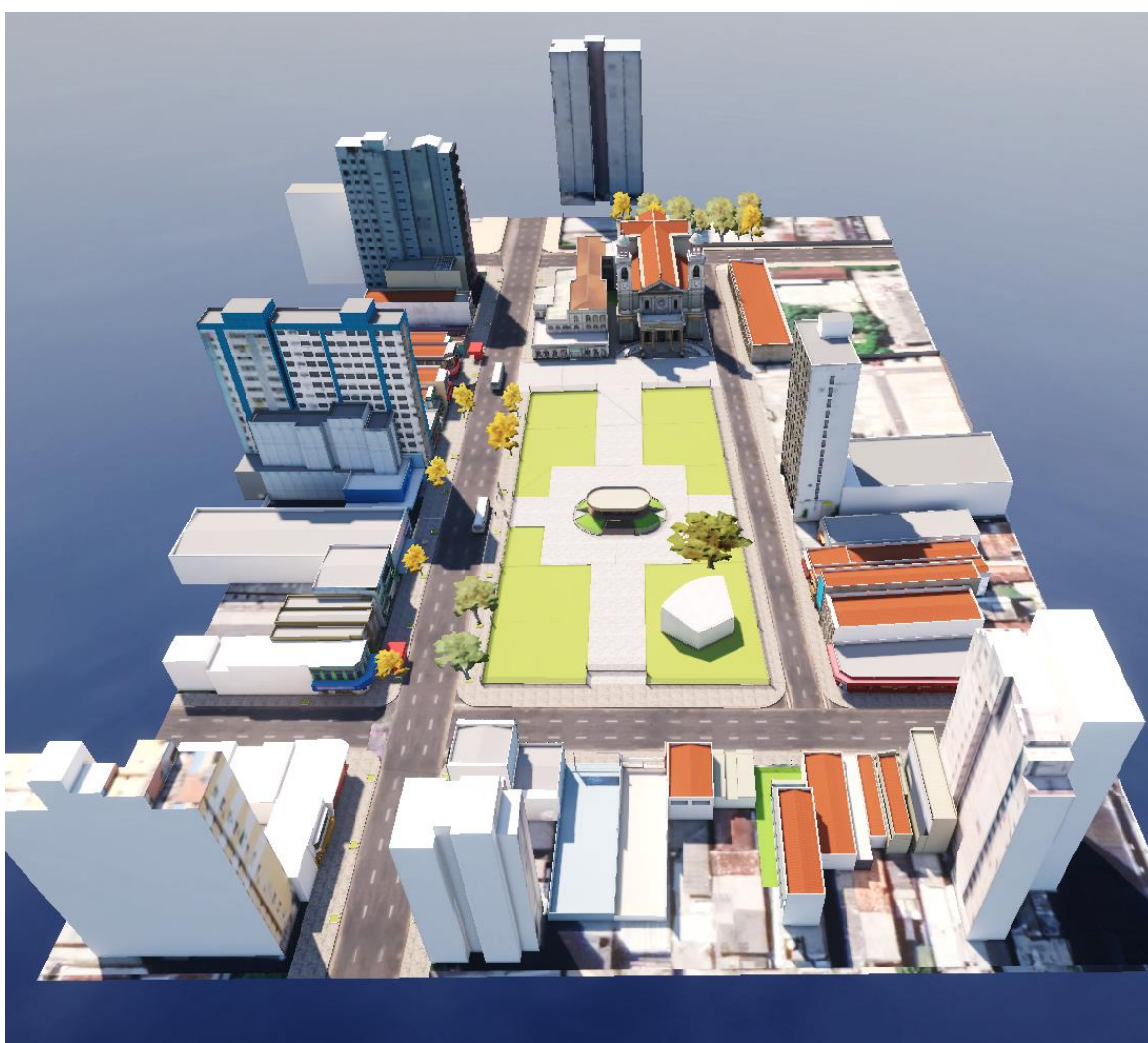


Figura 64 - Vista da maquete em escala reduzida.
Fonte: o autor, 2023.

3.3.6. Epata 06 – Desenvolvimento da plataforma

Esta etapa descreve a programação dos recursos imersivos, cuja produção foi baseada no Unity. O processo está estruturado em cinco camadas distintas¹⁸. Para a produção deste conjunto de recursos, utilizaram-se pacotes nativos do Unity e scripts especialmente desenvolvidos para a experiência em questão.

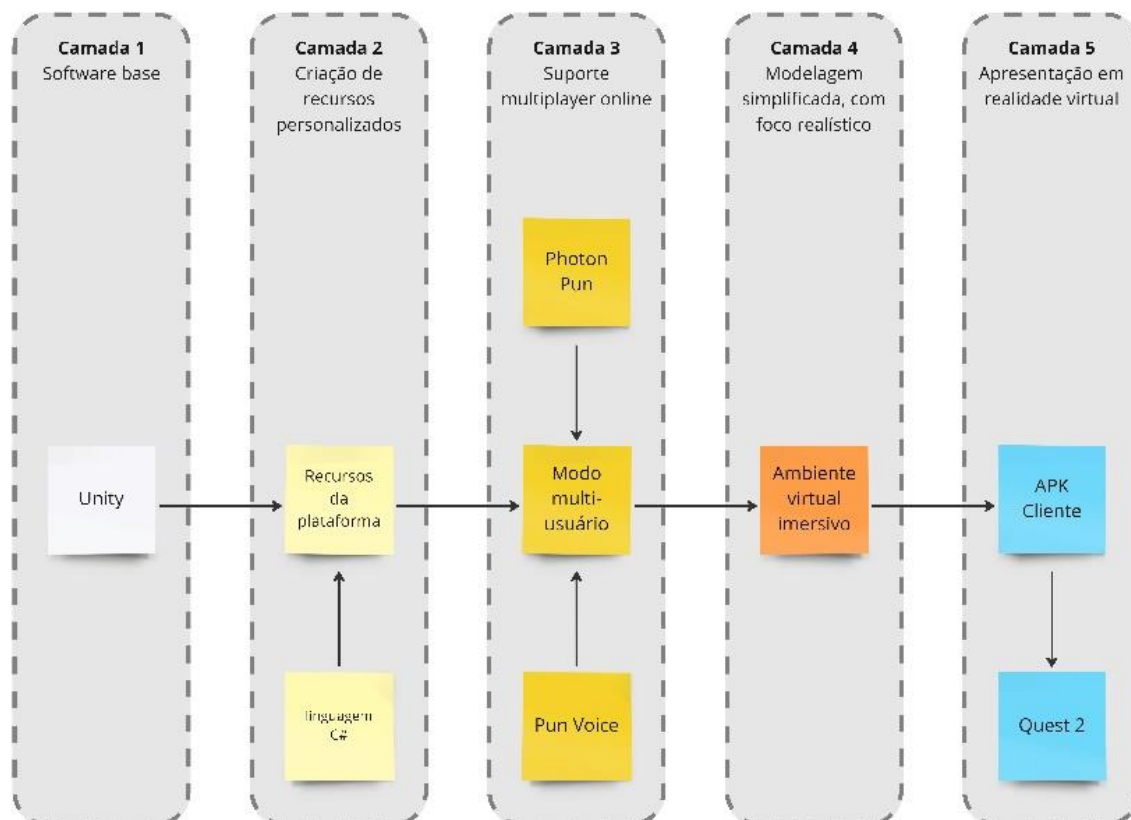


Figura 65 - Diagrama de camadas relativas à produção dos recursos imersivos.
Fonte: O autor, 2023.

A primeira camada refere-se ao *software* base, o já mencionado Unity. Nele serão realizadas todas as demais operações, desde a programação até a finalização da aplicação e sua exportação para uso em HMDs (*Head Mounted Displays*). A segunda camada foca nos recursos programados em C#, abrangendo funcionalidades como a viagem no tempo e a fusão temporal. A terceira camada é dedicada à colaboração online, que constitui um dos principais fundamentos deste estudo. Essa camada também requer o uso de scripts em C# feitos especificamente para a presente pesquisa. A

¹⁸ O termo 'camada' é utilizado aqui para se referir a uma divisão hierárquica que tem como objetivo organizar os elementos relacionados à ferramenta digital proposta, de forma similar ao trabalho realizado por Zhang e Goddard em (2007).

quarta camada envolve a inserção e tratamento da modelagem 3D, associando-a à programação existente. Isso permite que o sistema exiba os elementos apropriados para cada período ou mesmo uma mesclagem de diferentes épocas. Além disso, essa camada inclui recursos sonoros e outros efeitos. A quinta e última camada concerne à exportação para o Metaquest 2, definindo parâmetros essenciais que perpassam todas as etapas, desde a programação e configurações até a forma como a modelagem 3D deve ser elaborada. O diagrama abaixo ilustra a organização deste tópico:

3.3.6.1. Camada 1- Unity – plataforma de produção

A primeira camada envolveu os trabalhos básicos realizados no Unity, que é o *software* escolhido para concentrar todas as configurações, ferramentas e programações. Isso engloba desde as configurações específicas para a utilização da realidade virtual no Metaquest, até a importação das modelagens, iluminação, renderização, exportação e instalação nos óculos.

Com o objetivo de incorporar os recursos listados na Tabela 3 - Lista de requisitos desejáveis, página 100, e também facilitar o uso do sistema em futuros projetos imersivos, optou-se pela criação de um template baseado no Unity. Este template é um arquivo padrão que contém as configurações básicas necessárias para a elaboração de experiências imersivas. Assim, o usuário precisa apenas inserir a modelagem 3D específica de sua aula e realizar ajustes menores, como, por exemplo, na iluminação do cenário e outras configurações básicas. Portanto, o template proposto incorpora tanto scripts como outros recursos pertinentes ao tema.

Adicionalmente, o último item da Tabela 3, que diz respeito à acessibilidade e inclusão, foi abordado com o objetivo de abranger o maior número possível de usuários. Visando isso, todas as ferramentas foram consolidadas em um único painel virtual, acionável por qualquer uma das mãos. Isso permite que a plataforma seja acessível a destros, canhotos, bem como a pessoas com deficiências que afetam um dos braços, mãos ou dedos. Deste modo, todos os comandos relacionados aos recursos oferecidos pela plataforma podem ser ativados com qualquer uma das mãos.

3.3.6.1. Camada 2- Recursos da plataforma

Seguindo a organização da Tabela 3, os recursos foram divididos em três grupos diferentes, são eles: a) sistemas de navegação; b) recursos de visitação e c) recursos de desenho e análise.

3.3.6.1.1. Sistemas de navegação

Os mecanismos de navegação foram divididos em dois componentes principais: a) teletransporte ou caminhada física e b) modo de voo. A primeira opção (a) fez uso do XR Interaction Toolkit, um pacote nativo do Unity. Este pacote fornece um conjunto de scripts fundamentais para experiências em realidade virtual e aumentada, compatível com diversos dispositivos, incluindo o Metaquest 2

(utilizado nesta pesquisa), bem como outros dispositivos HMD concorrentes como o HTC Vive e os aparelhos Windows Mixed Reality. Além da funcionalidade de teletransporte, o referido pacote do Unity também abrange programações para interações do tipo garra (segurar e soltar objetos usando os controles), *feedback* tátil por meio da vibração dos controles, entre outras.

No presente trabalho, o teletransporte está configurado para ser acionado ao pressionar para frente e segurar o botão direcional, em qualquer um dos controles. Quando o usuário apontar o braço na direção desejada, um arco virtual é desenhado, indicando a posição exata para onde a pessoa será transportada. Enquanto o botão estiver pressionado para frente, à medida que o braço e as mãos se movem, o local de teletransporte é ajustado de forma correspondente. A Figura 66 ilustra a explicação.

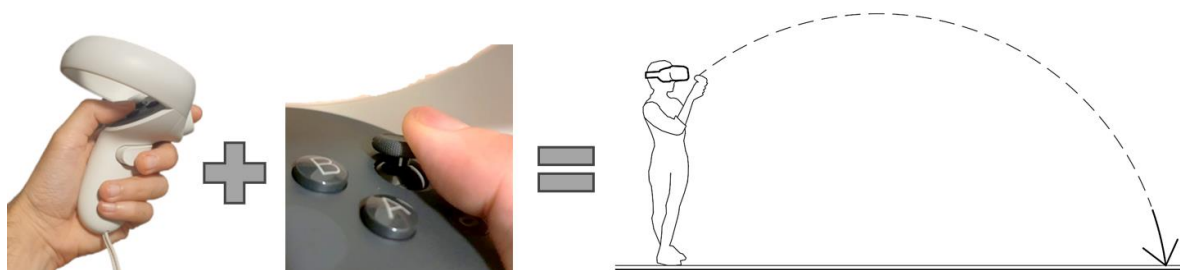


Figura 66 - Acionamento do direcional, com o modo teletransporte habilitado.

Ao pressionar e segurar o botão para frente, um arco é exibido apontando um destino no chão, o movimento do braço e das mãos controla a direção e distância do arco. Fonte: o autor, 2023.



Figura 67 - Acionamento do direcional, com o modo voo habilitado.

Fonte: o autor, 2023.

O sistema de voo, por sua vez, também utiliza as funcionalidades do pacote *XR Interaction Toolkit*, porém requer ainda um script próprio desenvolvido exclusivamente para esta pesquisa. Esse script foi criado para permitir que, ao ativar a função de voo através do painel virtual de controle, o botão direcional perca a função de teletransporte e assumo o modo de voo. Desta forma, ao manter o direcional pressionado, o usuário se desloca pelo espaço em velocidade constante na direção em

que estiver olhando, assemelhando-se ao movimento de um drone. Em resumo, com a função acionada, se o usuário olhar para cima, irá subir; se inclinar a cabeça para baixo, irá descer; e assim por diante. A Figura 67 ilustra isso.

3.3.6.1.1. Recursos de visitação em grupo

Os recursos de visitação produzidos se dividem em cinco itens, são eles: a) gráficos realistas, b) viagem no tempo/ fusão cronológica, c) som ambiente e/ou por voz (exceto chat), d) câmera fotográfica e e) Interação por garra.

No caso dos gráficos realistas, a modelagem e a maioria das texturas devem ser aplicadas preferencialmente fora do Unity, ainda durante o processo de produção dos modelos, conforme descrito no Item 3.3.4. No ambiente Unity cabe trabalhar principalmente a iluminação da maquete. No caso em questão, utilizou-se a técnica chamada "Baker"¹⁹ para aprimorar a iluminação nas superfícies da textura, o que resulta em uma maior qualidade de sombreamento nos modelos.

Para a Viagem no Tempo, foi desenvolvido um script chamado "MultTagSwitcher.cs". O princípio básico dele é manter a mesma coordenada para todos os modelos. Assim, ao acionar o botão correspondente no painel virtual de navegação, apenas o cenário escolhido é ativado, enquanto todos os demais são desativados.



Figura 68 – Fusão cronológica, os anos 1950 e os dias atuais.

Fonte: modelagem por Araújo, 2019 e o autor, 2023. Retopologia, textura e renderização - o autor, 2023

O recurso Fusão Cronológica segue o mesmo princípio da Viagem no Tempo, e o mesmo script, de modo que ao pressionar o botão no painel, ficam na cena apenas os objetos configurados para tal.

¹⁹ Essa técnica permite que o *software* calcule o caminho da luz em cada ponto do ambiente, resultando em iluminação realística das superfícies.

Neste caso, o professor precisará escolher quais itens de cada época são interessantes para serem exibidos simultaneamente. Por exemplo, a Figura 68 exibe o Pavilhão Vesta e o Santuário de Nazaré, dois edifícios diferentes, existentes em momentos distintos, mas que ocuparam o mesmo local. Com isso a comparação entre ambos tende a ser mais evidente. Em casos específicos, o professor pode reposicionar um prédio, exibindo-o aos alunos apenas no momento oportuno da aula, quando a comparação entre ambos for relevante.

O som dos ambientes é um dos recursos mais relevantes para tornar a imersão mais profunda, acrescentando à experiência o sentido da audição relacionada ao ambiente virtual. Apenas os recursos nativos do Unity são necessários para tornar este efeito possível. No exemplo desenvolvido na presente pesquisa foram utilizados sons que representam o entorno. Para o ano de 2020, realizou-se uma visita ao local e gravou-se o som real do ambiente (mundo físico), que inclui o barulho dos pássaros, dos carros, das pessoas e os sinos da Igreja. Para as épocas anteriores, utilizaram-se sons que se assemelhavam à ruídos urbanos de cidades do interior, com o canto de pássaros sendo mais evidente e pouco ou nenhum barulho de carro.

Adicionalmente, na recriação da década de 1950, ao se aproximar de um pequeno rádio situado em uma das lanchonetes do Clipper, o usuário pode escutar faixas musicais características daquele período, que são reproduzidas de forma intermitente. O volume do som é modulado pela distância até a fonte: ao se afastar mais de 10 metros da caixa de som, a música cessa. Quando mais perto da fonte sonora, o volume aumenta, mas é calibrado de forma a não interferir negativamente no andamento da aula.

Para a funcionalidade da câmera fotográfica, foi desenvolvido um script chamado Camera.cs. O princípio básico desse código é posicionar uma câmera do Unity nas mãos do usuário e exibir as imagens capturadas em uma pequena tela sobre a mão, simulando a experiência de utilizar um *smartphone* no mundo físico para tirar fotos. Isso proporciona ao usuário a sensação de estar controlando uma câmera de celular nas mãos. Ao pressionar o botão de letra 'b' do controle, a imagem é registrada.

Além disso, o script prevê ainda que quando uma fotografia é capturada, a imagem será exibida por alguns segundos à frente do usuário, indicando que aquele espaço foi fotografado. Essa visualização temporária da imagem permite ao utilizador avaliar brevemente a imagem obtida. A Figura 69 exibe o uso da câmera.



Figura 69 - Imagem da câmera, posicionada sobre a mão do usuário, representada pelo controle branco.
Fonte: o autor, 2023.

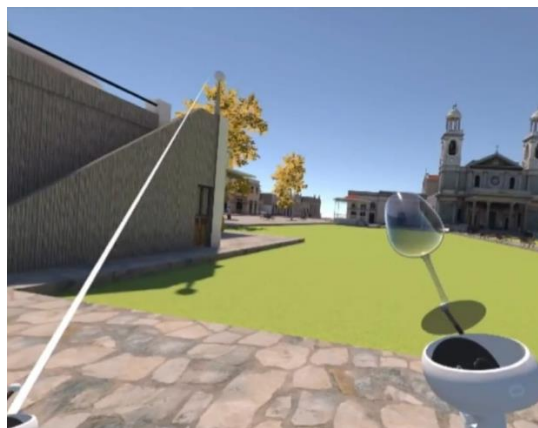


Figura 70 - Demonstração do uso da ferramenta "interação por garra", onde o usuário segura uma taça.
Fonte: o autor, 2023.

Por fim, a interação por garra foi possível através do pacote *XR Interaction Toolkit*. Na forma como a ferramenta ficou configurada, seu acionamento se dá através do botão do dedo maior, que fica situado no cabo do controle. Para que um objeto se torne interativo, basta associá-lo ao script chamado *ObjetInteract.cs*, que é nativo do pacote mencionado acima. A Figura 70 exhibe um usuário utilizando este recurso para segurar uma taça de vidro.

3.3.6.1.1. Recursos de desenho e análise

Cinco recursos de desenho e análise foram planejados, dos quais dois, neste momento, foram efetivamente implementados: a) a opção de alternar entre diferentes escalas e b) o uso da caneta 3D.

Inicialmente, a ferramenta de alternância de escala foi desenvolvida com o suporte do *XR Interaction Toolkit*, uma extensão oferecida pelo Unity. Este recurso possibilitava que os usuários ajustassem a escala do ambiente virtual pressionando simultaneamente o botão do dedo indicador em ambos os controles e, posteriormente, abrissem ou fechassem os braços—uma mecânica semelhante à de aplicativos como *VRSketch* e *Prospect*. No entanto, essa abordagem foi descartada por dois motivos principais. Em primeiro lugar, a exigência de utilizar ambas as mãos para a operação, excluía usuários com limitações de movimento nos membros superiores, o que afetava negativamente a acessibilidade. Em segundo lugar, testes preliminares indicaram que alguns alunos enfrentavam dificuldades em entender a operação do recurso, o que os levava a assistir às aulas em escalas impróprias e causava desconforto.

Diante disso, desenvolveu-se um script personalizado que permite controlar as escalas usando apenas uma das mãos. Optou-se por incluir este comando no painel virtual, o qual pode ser ativado com qualquer um dos controles (esquerdo ou direito), favorecendo a acessibilidade.

Posteriormente, demarcaram-se escalas específicas para serem utilizadas, esclarecendo as opções disponíveis como 1:1, 1:50, 1:100, 1:200, entre outras. Isso tem o objetivo de reduzir a margem de erro para usuários iniciantes, evitando que os alunos com pouca habilidade tenham dificuldades com a ferramenta. De outra forma, sem que seja realizado o teletransporte, o usuário retorna à escala 1:1. A Figura 71 e Figura 72 exemplificam isso.



Figura 71 - Mostra o usuário, na escala 1:300, realizando o teletransporte para dentro da praça, já na escala 1:1. No círculo vermelho, indica-se o local exato para onde o usuário será teletransportado. Fonte: o autor, 2023.

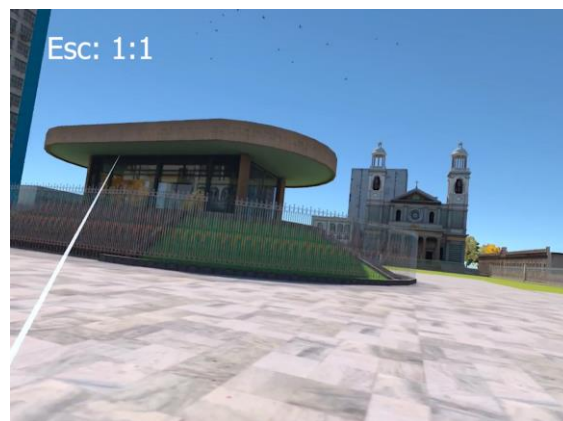


Figura 72 - Mostra o usuário após o teletransporte, já na escala 1:1. Fonte: o autor, 2023.

A caneta 3D já existe em algumas aplicações imersivas, inclusive nas profissionais, como VRSketch e Prospect, bem como no template Collab²⁰, fornecido gratuitamente pelo Unreal Engine. Entretanto, como esta ferramenta não faz parte dos pacotes padronizados do Unity, foi necessário desenvolver um script específico para sua implementação.

O script foi baseado no comando LineRenderer, nativo do Unity, que é utilizado para criar linhas flutuantes no espaço. A este comando, adicionaram-se funcionalidades para definir a espessura e a cor da linha. Implementou-se também um sistema de colisão para permitir a detecção da linha pela borracha, e assim apagar o que for necessário. Além disso, configurou-se o script para ajustar a espessura da linha proporcionalmente à escala escolhida pelo usuário. Assim, numa escala 1:1, a largura da linha será de 5 cm, mas em uma escala 1:100, a dimensão da linha será 100 vezes maior. A Figura 73 e Figura 74 exibem exemplos de uso da caneta.

²⁰ O *template Collab* é dedicado a aplicações imersivas e colaborativas, nativo do *software* Unreal Engine, que é um concorrente direto do Unity. O *Collab* não foi utilizado na presente pesquisa por não ser compatível com *hardwares* do tipo *standalone* (o Metaquest no caso), mas observou-se que ele funciona em sistemas imersivos conectados diretamente ao computador, a exemplo do HTC Vive ou Rift.



*Figura 73 - Demonstração do uso da caneta 3D para fazer anotações sobre um mapa histórico.
Fonte: o autor, 2023.*



*Figura 74 - Demonstração da caneta 3D para fazer um rascunho tridimensional, no espaço.
Fonte: o autor, 2023.*

3.3.6.1. Camada 3- Modo colaborativo online

Esta seção trata do modo colaborativo ou multiusuário da aplicação. Essa funcionalidade permite que múltiplos usuários compartilhem o mesmo ambiente virtual simultaneamente e interajam entre si. Para possibilitar essa interatividade, optamos por utilizar um pacote gratuito disponível no Unity, o PhotonPun2. Este pacote assegura que todos os usuários permaneçam conectados e sincronizados, de modo que quaisquer alterações feitas no ambiente - como abrir uma porta - sejam percebidas por todos os participantes.

O Photon PUN2 possibilita a criação de salas virtuais em que os usuários podem se autenticar e entrar. A fim de simplificar a usabilidade e acelerar o processo de acesso à experiência imersiva, foi decidido minimizar o número de passos necessários para a participação. Para atingir esse objetivo, desenvolveu-se um script personalizado que elimina todas as etapas de criação de sala e autenticação, agilizando assim o acesso ao ambiente virtual e diminuindo a possibilidade de erros por parte dos usuários.

Adicionalmente, implementamos o PhotonVoice, outro pacote disponível no Unity. Este funciona como um chat por voz integrado à realidade virtual, possibilitando a comunicação entre os usuários.

No atual estado dos recursos imersivos criados nesta pesquisa, é possível acomodar até 20 pessoas simultaneamente, o que significa, por exemplo, um professor e 19 alunos. Com a simplificação proporcionada pelo script, a aplicação foi programada para colocar automaticamente todos os usuários dentro do mesmo ambiente virtual assim que o aplicativo é aberto. Deste modo, os participantes que venham a entrar posteriormente ao início da aula, compartilham o mesmo ambiente imersivo da experiência. A Figura 75 e Figura 76 demonstram o uso colaborativo do sistema por vários participantes, simultaneamente.

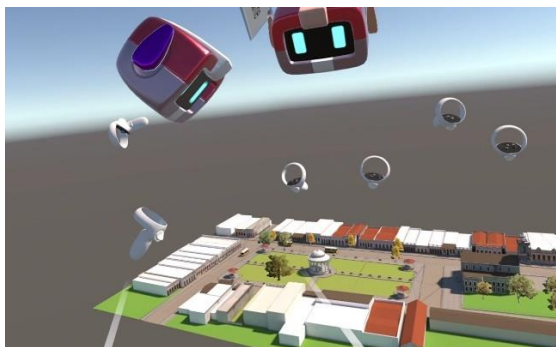


Figura 75 - Exemplo de dois usuários interagindo, em tempo real, sobre a maquete do cenário, na escala 1:300. Fonte: o autor, 2023.



Figura 76 – Imagem original do Avatar utilizado na experiência, produzido por MIX AND JAM e disponibilizado gratuitamente. Fonte: o autor, 2023, adaptado de (MIX AND JAM, 2020).

Para a criação de novas experiências imersivas, ou seja, de novos ambientes virtuais, é necessário que o usuário acesse o site do PhotonPun e solicite um código para uma nova 'sala'. Desse modo, cada experiência ou tema de aula pode ser alocado em uma 'sala' virtual específica.

3.3.6.2. Camada 4- Ambiente virtual imersivo

O modelo tridimensional da aula deve ser criado em algum *software* modelador, como Sketchup ou Blender, em conformidade com a descrição constante no Item 3.3.4, página 109. Em seguida, este modelo deve ser importado para o Unity, onde receberá o tratamento de iluminação e a programação para possibilitar a viagem no tempo e os demais recursos. Detalhes adicionais sobre o processo de modelagem podem ser consultados no já citado Item 3.3.4, página 109 acima.

3.3.6.1. Camada 5- Apresentação em realidade virtual

A última camada destina-se à exportação do aplicativo, cujo resultado é um arquivo no formato APK²¹ (Android Package Kit). Depois que este arquivo é criado, o próximo passo é a instalação no dispositivo de Realidade Virtual (RV), que neste caso é o Meta Quest 2. Para isso é preciso conectá-lo a um computador através de um cabo USB e usar um *software* específico de instalação. Na presente pesquisa, como forma de realizar testes a longas distâncias, elaborou-se um tutorial de instalação, contendo todos os passos para tal. Este documento consta no Anexo V da presente Tese.

Uma vez instalado nos óculos, o aplicativo de VR está pronto para ser usado. É importante lembrar que, embora a instalação possa exigir alguns passos técnicos, os usuários só precisam passar por

²¹ APK - Em termos mais simples, um arquivo APK é uma versão 'empacotada' do aplicativo que contém todos os componentes necessários para que ele funcione corretamente no dispositivo destino. Este é o formato usado pelo sistema operacional Android para distribuição e instalação de aplicativos móveis, como é o caso dos óculos tipo *standalone* fabricados pela empresa Meta.

esse processo uma vez. Após instalado, é possível acessar o ambiente imersivo e colaborativo diretamente através do menu do dispositivo, conforme descrito no Anexo V da presente tese.

3.4.Considerações

Neste capítulo, inicialmente, foi elaborada uma lista de recursos didáticos e imersivos com o objetivo de explorar o potencial da realidade virtual no ensino da história da arquitetura e urbanismo. Entre os recursos identificados, destacam-se aqueles voltados para a realização de visitas em grupo, funcionalidades para rabiscos 3D e ferramentas analíticas para a exploração de espaços urbanos e arquitetônicos. A acessibilidade do sistema também foi considerada, visando a inclusão do maior número de usuários possível.

Posteriormente, de posse da lista mencionada no parágrafo acima, desenvolveu-se uma plataforma de realidade virtual, baseada no *software* Unity, contendo ferramentas adaptáveis e replicáveis. Essa plataforma tem como meta a criação de aplicações imersivas voltadas às aulas de história da arquitetura e urbanismo. Entre os recursos mais notáveis estão o modo colaborativo em tempo real, permitindo interação entre usuários no mesmo ambiente virtual, bem como ferramentas de desenho e análise, dedicados a possibilitar uma experiência mais aprofundada com o cenário estudado.

Como exemplo prático da aplicação da plataforma, foi escolhido o ensino sobre o Largo de Nazaré, situado na cidade de Belém, no Brasil. Este local oferece um panorama relevante de mudanças urbanísticas e arquitetônicas ao longo do tempo, servindo como um caso instrutivo para o ensino da arquitetura e do urbanismo. Assim, elaborou-se um roteiro de aula que simula uma visita de campo, na qual as ferramentas propostas podem ser utilizadas pelos professores e alunos para explorarem o local.

Finalmente, com vistas a avaliar o potencial de engajamento dos alunos, o capítulo subsequente foca na análise do produto proposto, considerando aspectos como usabilidade, absorção cognitiva, entre outros.

3.5.Referências

AGIRACHMAN, F. A. et al. REIMAGINING BRAGA Remodeling Bandung's Historical Colonial Streetscape in *Virtual Reality*. *CAADRIA*, p. 23–33, 2017. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2017_147.pdf>.

ANDREATA, V.; VILAS BOAS, N. Words, drawings and digital representation: visual interpretations

of the narratives of machado de assis in morro do castelo. *Revista Produção e Desenvolvimento*, v. 7, n. October, 2021.

ARAUJO, T. S. L. *REALIDADE VIRTUAL, ARQUITETURA E HISTÓRIA: DE VOLTA PARA O FUTURO NO LARGO DE NAZARÉ*. 2019. 2019.

AROWOSEGBE, H. *How to Optimize your Unity Applications for Mobile VR (Oculus Quest/Quest 2)*. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/how-optimize-your-unity-applications-mobile-vr-oculus-arowosegbe/>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

BALEIXE, H. *Defesas da barra e Cidade do G Pará*. Disponível em: <http://haroldobaleixe.blogspot.com/2010/04/blog-post_10.html>. Acesso em: 30 jun. 2019.

BARRUEZO-VAQUERO, P. et al. Digitizing Los Millares (Santa Fe de Mondujar, Almería, Spain) through 3-D and geospatial technologies: preserving and disseminating the archaeological heritage. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, v. 27, n. October, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212054822000364>>.

BASHABSHEH, A. K.; ALZOUBI, H. H.; ALI, M. Z. The application of virtual reality technology in architectural pedagogy for building constructions. *Alexandria Engineering Journal*, v. 58, n. 2, p. 713–723, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.06.002>>.

BASSALO, J. M. C. *O Super Clipper Brasil*. Disponível em: <<https://fauufpa.org/2019/08/24/o-super-clipper-brasil-por-jose-maria-coelho-bassalo/>>.

BIBLIOTECA NACIONAL. *Igreja dos Jesuítas - Morro do Castelo - Acervo fotográfico*. Disponível em: <http://acervo.bn.digital.bn.br/sophia/index.asp?codigo_sophia=34787>. Acesso em: 27 jun. 2023.

BIERBAUM, A. et al. VR juggler: A virtual platform for virtual reality application development. ACM SIGGRAPH ASIA 2008 Courses, SIGGRAPH Asia'08, 2008. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/913774>>.

CANUTO, C. L.; MOURA, L. R. de; SALGADO, M. S. Tecnologias digitais e preservação do patrimônio arquitetônico: explorando alternativas. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 7, n. 4, p. 252, 2016.

CH'NG, E. Experiential archaeology: Is virtual time travel possible? *Journal of Cultural Heritage*, v. 10, n. 4, p. 458–470, 2009.

CHAN, C.-S.; BOGDANOVIC, J.; KALIVARAPU, V. Applying immersive virtual reality for remote teaching architectural history. *Education and Information Technologies*, v. 27, n. 3, p. 4365–4397, 25 abr. 2022. Disponível em: <<https://link.springer.com/10.1007/s10639-021-10786-8>>.

CHAN, C.-S.; MAVES, J.; CRUZ-NEIRA, C. An Electronic Library for Teaching Architectural History. *Proceedings of the 4th Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)*, p. 335–344, 1999. Disponível em: <<http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/69f5>>.

CLARK, J. H. Designing Surfaces in 3-D. *Communications of the ACM*, v. 19, n. 8, p. 454–460, 1976.

CRUZ, P. R. da. O papel da Adresse no design de móveis de MDF no Brasil e na origem do estudiobola. In: ArchDaily Brasil, *Anais...2023*. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/940039/de-cenario-a-protagonista-o-papel-da-arquitetura-no-design-de-videogames>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

D'AGOSTINO, M. H. S.; CALDEIRAS, L. F.; BORBA, e I. M. de. Largo São Francisco: modelagens de uma memória. *Vitruvius*, jun.2020, 2020. Disponível em: <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/20.239/7785>>.

DAVIDSON, J. N.; CAMPBELL, D. A. *Collaborative Design in Virtual Space - Greenspace II: A Shared Environment for Architectural Design Review* Proceedings of ACADIA Conference on Design Computation: Collaboration, Reasoning, Pedagogy, 1996. .

DONATH, D.; REGENBRECHT, H. Using immersive virtual reality systems for spatial design in architecture. In: AVOCAAD '99 Conference Proceedings, *Anais...*1999. Disponível em: <<https://cumincad.architecture.net/doc/oai-cumincadworks-id-fd35>>.

FAU ITEC UFPA. *Hospício dos Lázaros do Tucunduba – localização aproximada*. Disponível em: <<https://fauufpa.org/2014/09/17/hospital-de-lazaros-do-tucunduba---localizacao-aproximada/>>. Acesso em: 10 jul. 2023a.

FAU ITEC UFPA. *O CLIPPER de Nazaré | Laboratório Virtual*. Disponível em: <<https://fauufpa.org/2014/07/30/o-clipper-de-nazare/>>. Acesso em: 24 jun. 2023b.

FAU ITEC UFPA. *O desabamento do Pavilhão de Vesta no Largo de Nazareth | Laboratório Virtual – FAU ITEC UFPA*. Disponível em: <<https://fauufpa.org/2016/11/08/o-desabamento-do-pavilhao-de-vesta-no-largo-de-nazareth/>>. Acesso em: 25 jun. 2023.

FERREIRA, S. L. 3D Scene Reconstruction from a 2D Photo as a Learning Challenge of PBL in Architectural and Engineering. In: *Advances in Intelligent Systems and Computing*. [s.l.] Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021. 1296p. 932–934.

GOMES, E. B. de O. et al. Digital reconstruction of historical heritage - a quantitative methodology for measuring the reliability of Largo de Nazaré iconographic data between the years 1900 and 1910. In: Blucher Design Proceedings, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Editora Blucher, dez. 2020. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/35356>>.

GOMES, E. B. de O. et al. Mapa de confiabilidade: um método quantitativo para análise do grau de confiança nas reconstruções digitais de patrimônios históricos demolidos ou fortemente modificados. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 17, n. 1, p. 219–237, 12 nov. 2021. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/183924>>.

HILL II, L. C.; CHAN, C.; CRUZ-NEIRA, C. Virtual Architectural Design Tool (VADeT). In: Proceedings of the 3rd International Immersive Projection Technology Workshop, May, *Anais...*1999. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/231513985_Virtual_Architectural_Design_Tool_VADeT>.

HYEON, J. et al. Spatial template-based geometric complexity reduction method for photo-realistic modeling of large-scale indoor spaces. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 116, n. September, p. 105369, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105369>>.

IBGE. *IBGE | Cidades@ | Pará | História & Fotos*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/historico>>. Acesso em: 25 jun. 2023.

IBRAHIM, A.; AL-RABABAH, A. I.; BANI BAKER, Q. Integrating virtual reality technology into architecture education: the case of architectural history courses. *Open House International*, v. 46, n. 4, p. 498–509, 22 nov. 2021. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/OHI-12-2020-0190/full/html>>.

IPHAN. *Círio de Nazaré*. [s.l.: s.n.]

IPHAN. *DOSSIÊ IPHAN I – Círio de Nazaré* Rio de Janeiro, 2006b. .

JACKSON, L. C. et al. Analysing digital educational games with the Games as Action, Games as Text framework. *Computers and Education*, v. 183, n. October 2021, p. 104500, 2022. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104500>>.

KESSEL, D. Tesouro Aberto. *O Globo - Carro etc*, p. 1, 10 dez. 2008.

KESSEL, D. *Um Clipper do Ver-o-peso em 1957 | Laboratório Virtual – FAU ITEC UFPA*. Disponível em: <<https://fauufpa.org/2012/05/16/clipper-do-ver-o-peso-em-1957/>>. Acesso em: 24 jun. 2023.

KUO, E. W.; LEVIS, M. R. A New Roman World: Using Virtual Reality Technology as a Critical Teaching Tool. p. 1–33, 2002. Disponível em: <http://access.library.miami.edu/login?url=https://www.proquest.com/reports/new-roman-world-using-virtual-reality-technology/docview/62197219/se-2?accountid=14585%0Ahttp://miami-primho.hosted.exlibrisgroup.com/openurl/01UOML/01UOML_SERVICES?genre=report&ati>.

LEE, H. et al. Integration and Evaluation of an Immersive Virtual Platform. *IEEE Access*, v. 11, n. January, p. 1335–1347, 2023.

MAHMOOD, W. et al. Seamless variability management with the virtual platform. *Proceedings - International Conference on Software Engineering*, p. 1658–1670, 2021.

MIX AND JAM. Jammo Character. Disponível em: <<https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/jammo-character-mix-and-jam-158456>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

MOLONEY, J. et al. Lines from the Past - Non-photorealistic immersive virtual environments for the historical interpretation of unbuilt architectural drawings. In: eCAADe 35, Evans 1995, *Anais...2017*. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2017_151>.

NATHANAEL, S. *Space Station Corridor 3*. Disponível em: <<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/90df0508-4770-4f5a-af10-d9d4ecce1a48/Space-Station-Corridor-3>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

NETO, F. L. *Círio de Nazaré reúne 2,5 milhões de fiéis em Belém (PA) - - Cotidiano - Folha*.

OZACAR, K.; ORTAKCI, Y.; KUCUKKARA, Y. VRArcheducation: Redesigning Building Survey Process in Architectural Education Using Collaborative Virtual Reality. *SSRN Electronic Journal*, v. 113, p. 1–9, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cag.2023.04.008>>.

PIXO 3D. *Tutorial: Turning A 2D Image into A House - Blender - YouTube* Youtube, , 2021. . Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=FVdoo0xaV0k>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

PRIMITIVE CG. *Pinterest Photo to 3D Scene in Blender - YouTube* Youtube, , 2022. . Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=sSr6XjubnL8&t=6s>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SARGES, M. de N. *Belém: riquezas produzindo a belle-époque (1870-1912)*. 2ª Edição ed. [s.l: s.n.]

SCHNABEL, M. A. et al. The First Virtual Environment Design Studio. In: 19th eCAADe Conference Proceedings, *Anais...2001*. Disponível em: <<http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/1d5a>>.

SECCI, M. et al. Virtual reality in maritime archaeology legacy data for a virtual diving on the shipwreck of the Mercurio (1812). *Journal of Cultural Heritage*, v. 40, p. 169–176, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.05.002>>.

SILVA JUNIOR, S. N. et al. A 3D modeling methodology based on a concavity-aware geometric test to create 3D textured coarse models from concept art and orthographic projections. *Computers and Graphics (Pergamon)*, v. 76, p. 73–83, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0097849318301365>>.

SLATER, M. et al. How we experience immersive virtual environments: The concept of presence and its measurement. *Anuario de Psicologia*, v. 40, n. 2, p. 193–210, 2009.

SÖNMEZ, O.; SORGUÇ, A. G. Evaluating an Immersive Virtual Learning Environment for Learning How to Design in Human-Scale. In: ecaade2018, *Anais...2018*. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2018_289>.

STONE, R. J. VIRTUAL STONEHENGE: Sunrise on the New. *PRESENÇA: Realidade Virtual e Aumentada*, v. 7, p. 317–319, 1998. Disponível em: <<https://www.mitpressjournals.org/doi/pdf/10.1162/105474698565749>>.

UNESCO. *Círio de Nazaré (The Taper of Our Lady of Nazareth) in the city of Belém, Pará - intangible heritage - Culture Sector* -.

VILAS BOAS, N. Máquina do tempo digital. *Ciência Hoje*, v. 347, 2018. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/artigo/maquina-do-tempo-digital/>>.

VR SKETCH. *Getting-Started-Quest*. Disponível em: <<https://vrsketch.eu/docs-getting-started-quest.html#quest1>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

WALMSLEY, A.; KERSTEN, T. P. Low-cost development of an interactive, immersive virtual reality experience of the historic city model stade 1620. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, v. 42, n. 2/W17, p. 405–411, 2019.

WANG, T. Y. et al. Construction of a realistic scene in virtual turning based on a global illumination model and chip simulation. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 129, n. 1–3, p. 524–528, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092401360200626X#section-cited-by>>.

ZHANG, S.; GODDARD, S. A software architecture and framework for Web-based distributed Decision Support Systems. *Decision Support Systems*, v. 43, n. 4, p. 1133–1150, 2007.

Cap. 4. AVALIAÇÃO DE UMA AULA QUE UTILIZA OS RECURSOS IMERSIVOS PROPOSTOS

O capítulo atual visa implementar e avaliar, no contexto de aula, uma aplicação imersiva criada com base na plataforma desenvolvida, a fim de coletar as reações dos alunos sobre a eficiência e utilidade do sistema proposto. Entre os itens a serem avaliados, destacam-se a absorção cognitiva e a usabilidade da ferramenta, no sentido de verificar-se o impacto da tecnologia no engajamento dos alunos.

4.1. Introdução

Este capítulo se destina à implementação e avaliação dos recursos imersivos propostos no capítulo anterior, aplicados em um contexto educacional que simula uma visita de campo. Durante este processo, as impressões dos alunos a respeito da eficácia e utilidade do sistema em questão são coletadas e analisadas.

Para a realização desta avaliação, foram utilizados constructos²² de escalas já validadas em pesquisas anteriores, sendo adaptados, quando necessário, para se ajustarem ao contexto desta investigação. A avaliação dos recursos imersivos propostos e seu impacto no engajamento dos alunos foi pautada em quatro conceitos teóricos: a) absorção cognitiva, b) usabilidade, c) presença e e) doença do simulador.

²² Os constructos, ou construções teóricas podem ser compreendidas como concepções abstratas da realidade, derivadas das percepções de um indivíduo (DOWNING, 2003; MICHAELIS ON-LINE, 2023). Frequentemente são elaborados com base em dados simples, utilizados para descrever ou explicar algo dentro de um estudo ou teoria (DICIO-DICIONÁRIO ONLINE DE PORTUGUÊS, 2023). Eles são normalmente definidos e operacionalizados por meio de variáveis mensuráveis, que podem ser observadas, quantificadas e analisadas estatisticamente.

4.1.1. Absorção cognitiva, engajamento e estado de fluxo

Assume-se que o engajamento dos alunos pode potencializar a aprendizagem eficaz (BROOKS; NOLAN; GALLAGHER, 1997). O engajamento, associado à facilitação do aprendizado, frequentemente envolve elementos de diversão ou comportamento lúdico (WEBSTER; HO, 1997). Paralelamente, o conceito de 'estado de fluxo', cunhado por Mirvis e Csikszentmihalyi (1990), descreve uma experiência positiva quando as habilidades do usuário estão em equilíbrio com os desafios propostos (JACKSON; MARSH, 1996).

Esses dois conceitos - engajamento e estado de fluxo - fundamentam a noção de 'absorção cognitiva' (AC), introduzida por Agarwal et al (1997). Inicialmente, a AC foi apresentada como um estado de envolvimento intenso com um *software*. Contudo, seu escopo se expandiu para outros domínios, incluindo o da educação. Por exemplo, Saadé (2005) o interpreta no sentido de um estado de envolvimento profundo com a aprendizagem online. Esta perspectiva é corroborada por pesquisas subsequentes, como as de Leong (2011), Conrad e Bliemel (2016) e Adeel et al. (2023), que também focam no contexto educacional. Deste modo, o conceito em pauta, quando alcançado nível elevado, afeta positivamente o aprendizado do aluno, melhorando sua atenção e aprendizagem, aumentando o nível de concentração e o prazer ao executar uma dada tarefa de ensino (ADEEL et al., 2023).

4.1.1.1. Escala do estado de absorção cognitiva

Agarwal & Karahanna (2000) propuseram uma escala com cinco dimensões para mensurar a absorção cognitiva, são elas: a) dissociação temporal, b) imersão focada, c) prazer elevado, d) controle e e) curiosidade.

A dissociação temporal refere-se à ideia de perder-se no tempo durante a experiência, ou seja, quando o indivíduo está tão envolvido na atividade que perde a consciência da passagem das horas (AGARWAL; KARAHANNA, 2000).

A imersão focada se refere a um nível de engajamento onde as outras demandas de atenção são essencialmente ignoradas, e o usuário fica profundamente focado na atividade em andamento (AGARWAL; KARAHANNA, 2000). Embora a imersão focada demonstre algum paralelo com o conceito de imersão discutido no Item 2.3.5, no contexto da realidade virtual, sugere-se que o mesmo tenha maior proximidade com o termo envolvimento (WITMER; SINGER, 1998), discutido no item 2.2.3, página 46.

O prazer elevado dedica-se à captura dos aspectos prazerosos da interação, aqueles que levam a uma satisfação inerente à atividade desenvolvida. O controle, por sua vez, representa a percepção do usuário de estar no comando da interação. Por fim o constructo curiosidade, destinado a avaliar até que ponto a experiência executada desperta a curiosidade do indivíduo (AGARWAL; KARAHANNA, 2000).

Similarmente a outras pesquisas, por exemplo, Balakrishnan e Dwivedi (2021) e Jumaan et al (2020), o presente trabalho manteve as questões originais com pequenas adequações relacionadas ao tema em pauta.

4.1.2. Escala de usabilidade

A usabilidade desempenha um papel importante no processo de design (KALAWSKY, 1999), e suas origens remontam ao trabalho de pesquisadores como Jakob Nielsen (1993). Kalawsky descreve a usabilidade como um conceito multifacetado, envolvendo diferentes fatores, como flexibilidade, disponibilidade de auxílio, entre outros, e a resume como a facilidade com que um sistema específico pode ser usado por um conjunto definido de usuários.

A usabilidade tem sido frequentemente empregada na avaliação do design de aplicações educacionais, inclusive as de realidade virtual. Por exemplo, Huang & Lee (2022) utilizaram a escala *System Usability Scale* (SUS) para avaliar a usabilidade da aprendizagem em modelagens tridimensionais, no contexto de um ambiente imersivo. Sunday et al (2022), avaliaram a usabilidade de um jogo de realidade virtual para facilitar o aprendizado sobre programação orientada a objetos. Além disso, Sriworapong et al (2022) compararam a usabilidade de três ferramentas de educação a distância: um aplicativo tridimensional, um bidimensional e o popular *Zoom*, também avaliando o envolvimento e a diversão dos alunos.

Para mensurar a usabilidade, muitas pesquisas recorrem ao Sistema de Usabilidade (SUS), uma escala de 10 itens que fornece uma visão geral rápida e confiável da usabilidade de um sistema (Brooke, 1996). O SUS é um questionário amplamente aceito, inclusive no Brasil (LOURENÇO; CARMONA; DE MORAES LOPES, 2022). Ele considera três critérios de usabilidade: eficiência, eficácia e satisfação. A pontuação do SUS varia de 0 a 100%, com resultados acima de 70% indicando usabilidade de aceitável a excelente (BROOKE, 1996; KAMM et al., 2023).

Na presente pesquisa, optou-se pelo SUS para avaliar a usabilidade dos recursos imersivos propostos, utilizando a versão traduzida para o português do Brasil, conforme pesquisa de Lourenço et al (2022), com adaptações pontuais.

4.1.3. Escala de presença

Pesquisas anteriores sugerem que a presença parece desempenhar um papel importante nas experiências de aprendizagem, apresentando resultados positivos quando são alcançados níveis elevados de presença (MIKROPOULOS; NATSIS, 2011; AHN; NOWAK; BAILENSON, 2022). O conceito em questão já foi debatido no Item 2.2.5, página 40. No presente tópico é apresentado o sistema de mensuração.

Desde os anos 90, diversos pesquisadores debateram a respeito da criação de uma escala de presença. Witmer e Singer (1998) estão entre os primeiros a propor um método amplamente aceito, utilizado em diversas pesquisas posteriormente. Usoh et al (USOH et al., 2000) contribuíram para o debate, sugerindo que os questionários de presença deveriam ser submetidos a um teste de realidade, em que as pontuações no mundo físico superariam as do virtual.

Neste estudo, optou-se pela escala proposta por Makransky (2017), composta por três constructos: a) presença física, b) presença social e c) autopresença. Abaixo segue uma descrição detalhada de cada um.

Makransky considera a 'presença física' uma percepção do realismo do ambiente virtual, a desatenção ao mundo físico, a sensação de controle sobre o ambiente imersivo, o sentimento de 'estar lá' e a perda da consciência da mediação por equipamentos. Esta última é caracterizada pela capacidade de concentração do usuário na manipulação e navegação do ambiente virtual, sem distrações causadas pela interface mecânica/eletrônica."

Já a presença social abrange quatro atributos: a) o senso de vivência, que corresponde a sentir-se na presença de outras pessoas no ambiente virtual; b) o realismo humano, que descreve o quanto os avatares são considerados críveis pelo usuário; c) o desconhecimento da artificialidade, que é a percepção de que a interação ocorre com um ser humano real (mundo físico) e não com uma simulação por computador; e d) o desconhecimento da mediação social, que se refere à medida em que o usuário se esquece que a interação social é mediada por equipamentos físicos.

Por último, a 'autopresença' descreve a percepção do usuário de seu próprio corpo no mundo virtual, significando uma extensão corporal no ambiente imersivo. No entanto, este aspecto não foi investigado no presente estudo, pois não era o foco da aula proposta.

Sendo assim, a escala utilizada na presente pesquisa se baseia nos constructos de presença física e presença social propostos por Makransky, resultando em um questionário composto por 10 questões, cinco para cada constructo.

4.1.4. Escala para doença do simulador

O conceito de Doença do Simulador foi discutido no item 2.3.5.6, página 57. Desde o início da década de 1990 ele vem sendo debatido. Um dos primeiros trabalhos dedicados a desenvolver uma escala para mensurar a doença do simulador é a pesquisa de Kennedy et al (1993), composta por 16 itens. Desde então, diversas outras pesquisas foram conduzidas sobre o tema. Por exemplo, Stanney et al. (2002), analisaram a presença e a doença do simulador em uma experiência prolongada. Seus resultados mostraram que a presença não aumenta com o tempo de exposição, embora a doença do simulador possa intensificar-se.

Uma escala rápida de classificação verbal para medir a doença do simulador foi proposta por Keshavarz e Hecht (2011). Posteriormente, outra escala rápida composta por 9 itens avaliados em uma escala Likert de 4 pontos foi desenvolvida por H. K. Kim et al. (2018). A escolha para utilização nesta pesquisa recaiu sobre a escala de Kim et al., devido à sua validação prévia, brevidade e objetividade das questões. A tradução dos termos para o português do Brasil foi baseada no trabalho de Carvalho et al. (2011).

4.2. Métodos:

Os métodos deste tópico foram conduzidos em cinco etapas, descritas nos itens abaixo. Ela envolveu a elaboração de instrumentos de avaliação, seleção e preparação dos participantes, uso de materiais específicos e implementação de procedimentos próprios da imersão em sala de aula. Os métodos em pauta foram desenhados visando a obtenção de dados que possam ajudar a entender melhor o potencial e as limitações dos recursos propostos.

4.2.1. Etapa 1: Instrumento de avaliação

Nesta etapa, elaborou-se um instrumento de avaliação composto por perguntas estruturadas em torno de quatro conceitos-chave: a) absorção cognitiva, b) usabilidade, c) presença e d) doença do simulador. Todas as questões foram organizadas em uma única planilha, e posteriormente inseridas no aplicativo Google Forms, com vistas a facilitar o preenchimento por parte dos alunos.

Além disso, o instrumento contém ainda mais 8 questões destinadas à coleta de informações demográficas, incluindo idade, semestre em que está matriculado e outras variáveis. Com o objetivo de obter insights qualitativos, incluiu-se também dois campos de preenchimento opcional para receber comentários acerca dos aspectos positivos, negativos e sugestões sobre a experiência de aula.

A Tabela 5, abaixo, lista os conceitos, as questões adaptadas ao português do Brasil, a quantidade de pontos de cada escala e as fontes utilizadas. O instrumento em pauta é composto por 42 questões avaliativas e 8 demográficas, além de duas perguntas subjetivas, não obrigatórias, destinadas a coletar os comentários sobre o experimento.



Figura 77 - Esquema gráfico demonstrando a integração entre os itens avaliativos do questionário.

A Figura 77 ilustra a integração entre os 6 itens que compõem o instrumento mencionado na Tabela 5. Na imagem em questão, em amarelo estão as quatro escalas cujos dados serão comparados objetivamente. Já em verde, de forma complementar, constam as avaliações subjetivas e os dados demográficos.

Tabela 5 - Instrumento utilizado para avaliar os recursos propostos. Estas questões, juntamente com as perguntas subjetivas foram aplicadas aos alunos através do Google Forms.

Escala	Fonte primária	Questões
Usabilidade- SUS (Escala likert 5 pontos)	Brooke, John. 1995 https://doi.org/10.1201/9781498710411-35	1- Acho que eu gostaria de usar esse sistema frequentemente.
		2- Eu achei esse sistema desnecessariamente complexo.
		3- Eu achei esse sistema fácil de usar
		4- Eu achei que precisaria de ajuda de uma pessoa técnica para ser capaz de usar esse sistema.
		5- Eu achei que as várias funções desse sistema foram bem integradas.
		6- Eu acho que o sistema apresenta muita inconsistência.
		7- Eu imagino que a maioria das pessoas pode aprender a usar esse sistema rapidamente.
		8- Eu achei esse sistema muito difícil de usar;
		9- Eu me senti muito seguro usando o sistema;
		10- Eu precisei aprender muitas coisas antes que pudesse utilizar esse sistema.

Cognitive absorption (Escala likert 7 pontos)	<p>Agarwal, Ritu Karahanna, Elena, 2000 https://doi.org/10.2307/3250951</p>	<p>1- O tempo parece passar muito rápido quando estou usando a Realidade Virtual;</p> <p>2- O tempo voa quando estou usando a Realidade Virtual</p> <p>3- Enquanto uso a Realidade Virtual, sou capaz de bloquear a maioria das demais distrações;</p> <p>4- Enquanto uso a Realidade Virtual, fico absorto (focado) no que estou fazendo;</p> <p>5- Enquanto estou na Realidade Virtual, estou imerso na tarefa que estou realizando.</p> <p>6- Quando estou na Realidade Virtual, distraio-me facilmente com outras atenções.</p> <p>7- Enquanto estou na Realidade Virtual, minha atenção não é desviada com muita facilidade</p> <p>8- Eu me divirto interagindo com a Realidade Virtual</p> <p>9- Usar a Realidade Virtual me proporciona muito prazer.</p> <p>10- Eu gosto de usar a Realidade Virtual.</p> <p>11- Usar a Realidade Virtual me entedia.</p> <p>12- Ao usar a Realidade Virtual, sinto-me no controle do que eu estou fazendo</p> <p>13- Sinto que não tenho controle sobre minha interação com a Realidade Virtual</p>
Presença física (Escala likert 5 pontos)	<p>Makransky, Guido. Lilleholt, Lau. Aaby, Anders. 2017 https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.02.066</p>	<p>1- O ambiente virtual me pareceu real.</p> <p>2- Tive a sensação de atuar dentro do ambiente virtual, ao invés de operar algo de fora dele.</p> <p>3- Minha experiência no ambiente virtual parecia consistente com minhas experiências no mundo físico.</p> <p>4- Enquanto estava no ambiente virtual, tive a sensação de “estar lá”.</p> <p>5- Fiquei completamente fascinado pelo mundo virtual.</p>
Presença social (Escala likert 5 pontos)	<p>Makransky, Guido. Lilleholt, Lau. Aaby, Anders. 2017 https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.02.066</p>	<p>1- Me senti na presença de outra pessoa no ambiente virtual.</p> <p>2- Senti que as pessoas do ambiente virtual estavam cientes da minha presença.</p> <p>3- As pessoas no ambiente virtual pareciam ser sencientes (conscientes e vivas) para mim.</p> <p>4- Durante a simulação houve momentos em que a interface do computador parecia desaparecer e eu senti como se estivesse trabalhando diretamente com outra pessoa.</p> <p>5- Tive a sensação de estar interagindo com outras pessoas no ambiente virtual, ao invés de uma simulação de computador.</p>
Motion Sickness (Escala likert 4 pontos)	<p>Kim HK et al, 2018 (questões) https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.12.016 Carvalho, M, 2011 (tradução ao português do Brasil) https://doi.org/10.1590/S0047-20852011000400003</p>	<p>1- Mal-estar generalizado</p> <p>2- Cansaço</p> <p>3- Vista cansada</p> <p>4- Dificuldade de manter o foco</p> <p>5- Dor de cabeça</p> <p>6- “Cabeça pesada”</p> <p>7- Visão embaçada</p> <p>8- Tontura com olhos fechados</p> <p>9- Vertigem</p>
Dados demográficos (estacias variadas)	<p>--</p>	<p>1- Em qual instituição de ensino você estuda?</p> <p>2- Em que país você reside?</p> <p>3- Em que cidade fica a faculdade em que você estuda?</p> <p>4- Qual a sua idade?</p> <p>5- Qual semestre você está cursando?</p> <p>6- Já teve aulas da disciplina História da Arquitetura e Urbanismo (ou história da cidade, ou disciplina de conteúdo histórico semelhante)?</p> <p>7- Você diria que as aulas de disciplina História da Arquitetura e Urbanismo (ou nome semelhante) são...</p> <p>8- Com que frequência você utiliza ou já utilizou a realidade virtual?</p>

Comentários sobre o experimento	--	1- Escreva aqui, com poucas palavras, considerações, críticas ou sugestões que você pense ser relevante sobre a experiência que teve.
		2- Mencione os aspectos positivos e negativos da aula que acabou de assistir.

Fontes: (BROOKE, 1996; AGARWAL; KARAHANNA, 2000; MAKRANSKY; LILLEHOLT; AABY, 2017; KIM et al., 2018).

4.2.1.1. Cálculo das pontuações

A metodologia proposta por Brooke (1996) foi adaptada para calcular e analisar as respostas dos questionários. O método aqui definido compara a média das pontuações obtidas com a pontuação máxima possível. Para executar esse cálculo, o procedimento é dividido em quatro etapas: definição de uma pontuação máxima, tratamento das respostas, e a comparação percentual da pontuação obtida com a pontuação máxima, conforme os passos descritos abaixo.

Passo 1: Determinação da Pontuação Máxima (PM)

A pontuação máxima possível (PM) é calculada utilizando a fórmula $PM = NQ \times (EL - 1)$. Neste contexto, NQ representa o número total de questões no questionário e EL é o valor mais alto da escala Likert. Por exemplo, para um questionário de 12 questões e uma escala Likert de 7 pontos, a PM seria $12 \times (7 - 1) = 72$.

Passo 2: Classificação das Questões

Cada questão é classificada em dois tipos: Diretas (QD) e inversas (QI). Em QD, respostas com valores elevados são desejáveis, enquanto em QI, valores baixos são preferíveis.

Passo 3: Tratamento das Respostas

Nesta etapa, as respostas das questões são ajustadas com base em seu tipo - Diretas (QD) ou inversas (QI). Aqui, Vr representa o valor obtido através das respostas dos participantes para cada questão. Para as questões Diretas (QD), 1 é subtraído de cada valor de resposta (Vr) para alinhá-lo com uma base de 0 ($QD = Vr - 1$). Este ajuste é feito porque a escala Likert começa em 1, e a subtração alinha a escala a uma base de 0, facilitando cálculos subsequentes.

Por outro lado, para questões Inversas (QI), o valor de resposta é subtraído do valor máximo da escala Likert ($QI = EL - Vr$). Este passo é necessário para inverter a escala, uma vez que, para estas questões, uma resposta baixa é favorável. Assim, subtraindo o valor de resposta do valor máximo da escala, inverte-se a direção da escala para que ela esteja alinhada com as questões Diretas.

Para clarificar com um exemplo: numa escala Likert de 7 pontos, uma resposta completamente favorável em QD seria 7. Após o ajuste, se tornaria 6 ($QD: 7 - 1 = 6$). Da mesma forma, uma resposta

completamente favorável em QI seria 1. O ajuste a inverteria para 6 (QI: $7 - 1 = 6$), tornando ambas as respostas comparáveis.

Passo 4: Cálculo da Pontuação Média Geral (PMG)

A PMG é obtida somando todos os valores processados das respostas. Ao comparar a PMG com a PM, é possível fazer uma avaliação da eficácia do estudo e identificar áreas para possíveis melhorias.

No cenário hipotético descrito no passo 1, considerando que todos os respondentes deram respostas completamente favoráveis, a PMG alcançaria o valor da PM, ou seja, 72, indicando uma eficácia alta para as práticas em análise.

4.2.2. Etapa 2: Seleção dos Participantes

A investigação envolveu uma amostra de 20 estudantes, que voluntariamente aceitaram participar. A seleção foi realizada mediante um convite aos discentes por meio da coordenação do curso. Não houve incentivo financeiro ou acadêmico (notas no semestre), apenas a entrega de uma declaração que atestava as horas dedicadas ao experimento. A média de idade do grupo foi de 25 anos, todos estavam matriculados no curso de Arquitetura e Urbanismo. A maioria (55%) estava no final da graduação, entre o 8º e 10º semestre. Outros 35% cursavam o 5º ou 6º semestre e somente 10% estavam no primeiro ano do curso.

4.2.3. Etapa 3: Preparação dos Materiais

Para a experiência imersiva, utilizaram-se cinco dispositivos de realidade virtual: quatro Metaquests destinados aos estudantes e um Oculus Rift para o professor. Todos esses equipamentos, exceto o Oculus Rift, são do tipo *standalone*. Os cinco dispositivos classificam-se como equipamentos do tipo 6DoF, equipados com um *Head Mounted Display* (HMD) e dois controles cada. O rastreamento dos HMDs é realizado por meio de câmeras embutidas, eliminando a necessidade de estações a laser, como as utilizadas nos dispositivos *HTC Vive* ou *Valve Index*. Isso reduziu as demandas de transporte e instalação de equipamentos, bem como de configuração de *softwares*, simplificando o fluxo de trabalho.

Para garantir um funcionamento contínuo dos equipamentos *standalone* durante o experimento, medidas adicionais foram tomadas devido à limitação da bateria interna, que dura aproximadamente 1,5 hora. O experimento, dividido em cinco sessões de uma hora cada, exigiu um período de funcionamento que ultrapassou a capacidade de bateria dos quatro Metaquests utilizados. Portanto, para assegurar um fornecimento de energia estável ao longo das sessões

consecutivas, cada Metaquest foi conectado a uma bateria externa por meio de cabo. Isso proporcionou a alimentação elétrica necessária para a duração total do experimento.

4.2.4. Etapa 4: Procedimentos Iniciais

4.2.4.1. Agendamento e organização em grupos

Iniciou-se a organização com o envio de um pedido de realização do experimento e um roteiro de aula para as coordenações de três cursos de arquitetura em Belém, detalhando a intenção deste estudo, o perfil dos estudantes alvo e as exigências mínimas para a sala de aula física. Apenas uma instituição atendeu totalmente aos requisitos.

O período para a realização do experimento foi estrategicamente situado entre a primeira e a segunda avaliação semestral, a fim de evitar conflito com momentos acadêmicos críticos dos participantes. A formação das equipes de alunos foi realizada pela coordenação da faculdade, dividindo 20 voluntários em cinco grupos de quatro integrantes. As sessões experimentais foram divididas em dois dias, com três grupos no primeiro dia e dois no segundo.

4.2.4.1. Preparação da sala física

O experimento foi realizado em uma única sala, com cada grupo de quatro alunos e o pesquisador-professor presentes, muito embora o sistema imersivo produzido estivesse preparado para receber participantes de localidades geográficas distintas.

A organização do ambiente de ensino foi executada aproximadamente meia hora antes da chegada dos estudantes. A disposição dos *Head Mounted Displays* (HMDs) foi conduzida conforme o protocolo estabelecido por Gomes et al. Este protocolo especifica dimensões mínimas entre mesas e cadeiras, adaptando uma sala de aula tradicional para acomodar os equipamentos de realidade virtual. O objetivo era permitir experiências 6DoF (Seis Graus de Liberdade) de maneira confortável e segura, minimizando o risco de colisões entre móveis, paredes e os próprios participantes. Vale ressaltar que o tipo de experiência 6DoF permite aos usuários realizar pequenos deslocamentos físicos, inclusive caminhadas curtas, dentro do ambiente virtual. O tempo destinado à configuração

dos dispositivos, que incluiu a definição do sistema de segurança denominado Guardiã²³, foi de cerca de 10 minutos.

4.2.4.1. Entrega do termo de consentimento

Todos os participantes foram apresentados a um termo de consentimento esclarecendo os aspectos essenciais do experimento, incluindo direitos de desistência, exposição a estímulos visuais, anonimato nas respostas do questionário e possíveis desconfortos advindos do uso de realidade virtual. As precauções incluíram alertas para pessoas com sensibilidade a brilhos intensos ou doenças do labirinto, bem como a recomendação para que gestantes não participassem da experiência. O termo de Consentimento utilizado na experiência consta no Anexo IV.

4.2.5. Etapa 5: Execução do Experimento

4.2.5.1. Realização da aula

Com o termo de consentimento assinado, os alunos recebem instruções básicas sobre o uso dos controles dos dispositivos de realidade virtual e, em seguida, iniciam a experiência imersiva.



Figura 78 - Alunos e professor realizando a experiência em sala de aula.

²³ O "Guardião" é um recurso de segurança nativo em diversos sistemas de realidade virtual que utilizam tecnologia 6DoF (Seis Graus de Liberdade). Ele permite aos usuários demarcar uma área física segura para movimentação no mundo físico. Quando o usuário se aproxima dos limites dessa área, uma grade ou barreira virtual aparece no visor, prevenindo acidentes com objetos ou pessoas no espaço real. Essa ferramenta aumenta a segurança durante a utilização da realidade virtual.

Fonte: o autor, 2023.

A Figura 78 exibe uma fotografia da sala de aula onde a experiência foi realizada. Na imagem é possível observar três alunos e o professor. Na Figura 79 e Figura 80 é possível ver os alunos participando da aula, essas imagens foram capturadas a partir de dentro do ambiente virtual.



Figura 79 - Alunos imersos no ambiente virtual, assistindo à aula.
Fonte: o autor, 2023.

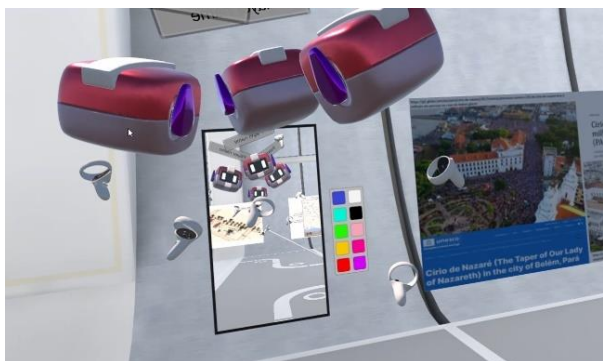


Figura 80 - Alunos em frente ao dispositivo de reflexo (espelho), na sala de controle.
Fonte: o autor, 2023.

4.2.5.2. Aplicação dos questionários

Após a realização da aula, os alunos permanecem em seus lugares e recebem um link contendo o questionário que precisam responder. O professor fica então disponível para comentários e possíveis dúvidas, até que todos tenham enviado as respostas, concluindo assim a sessão.

4.2.5.3. Cronograma

A sessão iniciou com cinco minutos dedicados às apresentações e à leitura do termo de consentimento. A aula teve uma duração média de 45 minutos, seguida de 10 minutos estimados para o preenchimento do questionário. Assim, a experiência completa foi projetada para durar cerca de uma hora.

4.3. Resultados e discussões

4.3.1. Avaliação da absorção cognitiva

Após a execução dos experimentos e a coleta das respostas, o primeiro aspecto avaliado foi a absorção cognitiva. As médias de cada questão foram calculadas, levando em conta uma escala Likert de sete pontos. As questões ligadas ao "Prazer Elevado" alcançaram a maior média, representando 95% da pontuação máxima. O constructo "Controle" seguiu com 83%, enquanto os demais ficaram com 79%. A média geral de pontuação foi de 85%, sugerindo uma avaliação muito positiva do conceito em estudo.

Ainda sobre os constructos, a imersão focada apresentou resultados bipartidos. As questões 4 e 5, referentes a ficar absorto e imerso na tarefa, alcançaram pontuações superiores, enquanto as perguntas 6 e 7, voltadas à suscetibilidade a distrações externas, tiveram notas menores, com aproximadamente um ponto a menos. Tal diferença pode estar associada aos ruídos provenientes do ambiente externo durante a realização dos experimentos, como os carros ou mesmo uma obra que ocorria nas proximidades, embora nada muito significativo a ponto de prejudicar a experiência. A Figura 81, ilustra a distribuição da média da pontuação por questão.



Figura 81- Média dos resultados para cada pergunta sobre o estado de absorção cognitiva. Na imagem é possível observar que os itens 6 e 7 obtiveram pontuações menores em relação aos demais. Fonte: o autor, 2023.

As questões mais favoráveis foram as de números 8, 10 e 11, que quase atingiram a nota máxima. Elas abordaram, respectivamente, o quão divertida foi a experiência com a Realidade Virtual (VR), o grau de satisfação do usuário ao usá-la no contexto da aula e o nível de tédio sentido. A última foi uma questão invertida; ou seja, uma nota alta no gráfico indica que os alunos não se sentiram entediados durante o experimento.

4.3.2. Avaliação da usabilidade

O segundo parâmetro avaliado foi a usabilidade. Empregando os métodos propostos por Brook (1996), adaptados, atingiu-se um percentual de 84% em relação ao máximo possível. Na escala

proposta por Bangor et al. (2009) este resultado é classificado como excelente, pois embora certos aspectos necessitem de aprimoramento, a usabilidade do sistema foi, de maneira geral, percebida como muito favorável pelos alunos. A Figura 82, abaixo, apresenta os resultados para cada pergunta sobre a usabilidade.

A avaliação menos positiva correspondeu à questão de número 4, relacionada à necessidade de ter a assistência de alguém disponível para auxiliar na manipulação dos recursos. Outra questão com uma das menores médias foi a de número 6, que envolveu a percepção dos alunos sobre possíveis inconsistências no sistema. Presume-se que isso seja consequência de falhas técnicas ocorridas pontualmente durante a experimentação.

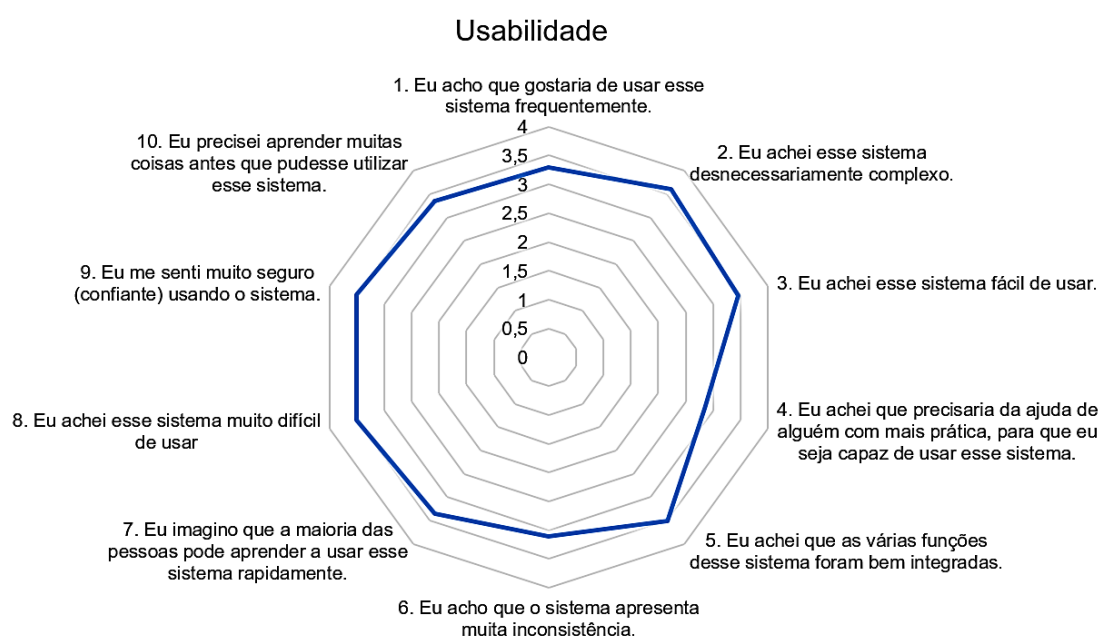


Figura 82 - Média dos resultados para cada pergunta sobre a usabilidade. Na imagem é possível observar que os itens 4 e 6 possuem as menores notas. Fonte: o autor, 2023.

Por exemplo, houve uma queda na conexão de internet em dois dos dispositivos, resultando em uma interrupção que durou mais de cinco minutos. Além disso, em uma das sessões, interferências na rede causaram ruídos prolongados e desconfortáveis na comunicação, durando mais de 10 segundos. Esse incidente prejudicou a comunicação entre os participantes e causou um certo desconforto auditivo. Além disso, a conexão do avatar de um aluno caiu quando ele saiu para atender uma ligação telefônica, necessitando de tempo para reiniciar o sistema e retomar a aula. Enquanto isso, os demais participantes precisaram esperar, apesar de permanecerem imersos, já que o professor precisou interromper as explicações da aula para orientar o aluno sobre como reiniciar o sistema.

4.3.3. Avaliação da presença

A terceira métrica avaliada foi a presença, que registrou resultados um pouco menos favoráveis em comparação com as outras medidas: 76% para presença física e 74% para presença social. No quesito da presença física, a maior pontuação média foi alcançada pela questão 5, que investiga o nível de encanto do usuário pelo ambiente virtual, marcando 91%. Isso sugere que, em geral, a experiência virtual foi bastante interessante para os participantes.



Figura 83 - Média dos resultados para cada pergunta sobre a presença.

De 1 a 5 - questões relacionadas à presença física; 6 a 10 - presença social. Na imagem é possível observar que vários itens apresentaram notas inferiores ao ideal, por exemplo 1, 2, 6, 9 e 10. Fonte: o autor, 2023.

Por outro lado, a questão 1, que avalia a percepção dos usuários quanto ao realismo do ambiente, obteve a menor média, marcando apenas 60%. Isso indica que, apesar de os gráficos serem bem recebidos pelos participantes, eles ainda não são suficientemente realistas para criar uma sensação de presença elevada.

A Figura 83, acima, apresenta a distribuição da média dos resultados por questão. As questões de 1 a 5 abordam a presença física, enquanto as questões de 6 a 10 se concentram na presença social.

No contexto da presença social, a questão 7, relacionada a ideia de que as pessoas do ambiente estavam cientes da presença do usuário, obteve a maior média, com 83%. Em contraste, a questão

9, que indaga se houve momentos nos quais a interface dos óculos parecia ter desaparecido, permitindo que o usuário se sentisse interagindo diretamente com os outros participantes, alcançou a menor média, com 55%. Esses resultados podem estar associados ao fato de que, embora a experiência colaborativa tenha sido marcante, os equipamentos utilizados não são suficientemente leves e ergonômicos para que o usuário os esqueça por longos períodos. Esse entendimento é corroborado pelas observações de alguns alunos. Por exemplo, um deles mencionou que o equipamento estava muito apertado em sua cabeça após uma das sessões. Em outra ocasião, foram registradas reclamações sobre lentes embaçadas. Ainda houve críticas em relação ao peso do equipamento, um aspecto que certamente não contribuiu para a sensação de esquecimento da sua presença na cabeça.

4.3.4. Avaliação da doença do simulador

A média geral de 74% sugere que a experiência foi majoritariamente aceitável. No entanto, três dos nove itens avaliados receberam pontuações abaixo de 75%, puxando para baixo a média geral. Os menores valores ficaram por conta do item 6 ‘cabeça pesada’ e item 3 ‘vista cansada’, com respectivamente 50% e 60% de pontuação.

Esses resultados apontam para a possibilidade de alguns participantes terem experimentado fadiga tanto física quanto visual. Essas queixas parecem estar ligadas ao design do equipamento, conforme indicado por comentários dos alunos. Alguns deles mencionaram desconforto associado ao peso do dispositivo e aperto excessivo do elástico, chegando a causar dores de cabeça. A Figura 84 apresenta um gráfico com as pontuações para cada item avaliado.

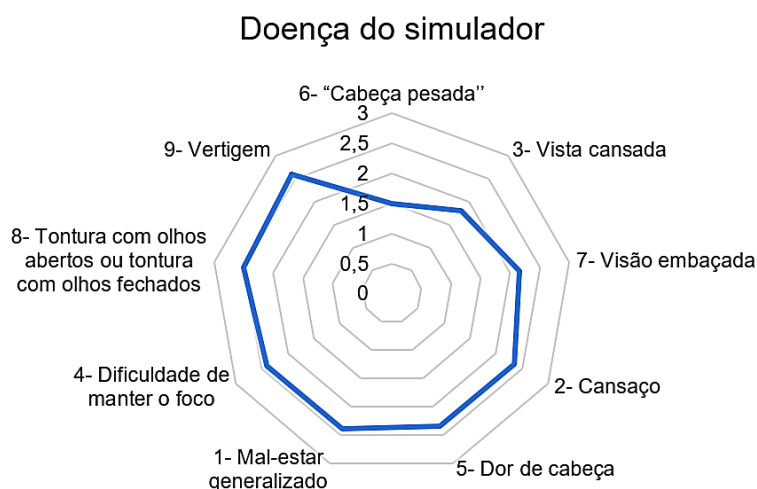


Figura 84 - Média dos resultados para cada pergunta sobre o conceito doença do simulador. Na imagem é possível observar que os itens 6, 3 e 7 apresentam notas inferiores em relação aos demais. Fonte: o autor, 2023.

4.3.5. Avaliações subjetivas e comentários dos alunos

Esta seção concentra-se na análise das respostas subjetivas fornecidas pelos alunos a duas perguntas opcionais. Dos 20 participantes, apenas três optaram por não responder a nenhuma das questões. A primeira pergunta buscava críticas e sugestões sobre a experiência e gerou majoritariamente feedback positivo, o que demonstra uma recepção favorável. A segunda pergunta estimulou os alunos a identificarem aspectos positivos e negativos, permitindo assim a coleta não só de elogios, mas também de comentários críticos que podem ser úteis para aprimoramentos futuros.

Entre as expressões coletadas, os termos 'Divertido' e 'Interessante' apareceram mais de seis vezes. Alguns alunos expressaram suas impressões da seguinte maneira:

“Aula divertida, já sabia que seria antes mesmo de me inscrever”;
 “Eu adorei participar desta aula com realidade virtual, gostaria que tivéssemos mais aulas assim”;
 “Diversão em conjunto com o conhecimento”;
 “Eu gostei, estou satisfeita com a experiência”;
 “No geral foi muito interessante, adorei ver a maquete e poder caminhar pela parte da cidade”;
 “Experiência incrível para visualizar melhor a época histórica”.

O termo ‘imersão’ ou ‘imersivo’ foi repetido oito vezes, indicando que os alunos se sentiram inseridos no ambiente de aprendizado. Outra característica importante relatada foi a apreciação pela capacidade de 'viajar no tempo' e observar como os espaços mudaram ao longo dos anos. Este aspecto também foi mencionado em oito respostas, por exemplo:

“Parecia realmente estar no lugar”;
 “Experiência muito diferente, se sente imersa na história!”;
 “Achei muito imersivo, e bem fácil de usar!!”.
 “Achei muito bom e muito interesse para aulas de história de arquitetura, principalmente a viagem no tempo que nos mostra as alterações ocorridas.”
 “A possibilidade de conseguir comparar, vendo ao mesmo tempo, a diferença/evolução entre os anos que passam, facilita melhores observações sobre o assunto.”

Críticas mencionadas incluíram: a) o peso do dispositivo; b) a ausência de áreas verdes no cenário; c) falta de identificação do usuário; d) fadiga visual; e e) dores de cabeça após a remoção do equipamento.

O peso do equipamento na cabeça foi destacado por dois participantes, sugerindo que a ergonomia dos óculos VR não foi bem recebida por estes indivíduos. Esse problema pode ser atenuado com a próxima geração de HMDs, prevista para lançamento ainda em 2023, que o fabricante descreve

como sendo mais potente, compacto e leve. Da mesma forma, a escassez de arborização, limitada devido à capacidade de processamento, deverá ser aprimorada com o desempenho melhorado dos novos dispositivos.

Quanto à ausência da identificação do usuário, isso ocorreu devido a uma falha no sistema durante a execução, na qual o nome das pessoas não aparecia sobre os avatares, fazendo com que o professor precisasse gesticular para informar quem estava falando. Embora isso não tenha sido um evento prejudicial à aula, foi uma questão registrada e sanada em seguida.

Três alunos relataram sintomas de cansaço visual e dor de cabeça, corroborando as respostas obtidas no conceito de 'doença do simulador', que apresentou uma média inferior em comparação com os outros parâmetros avaliados. Um possível fator contribuinte para isso pode ter sido a interrupção temporária da internet, descrita no item 4.1.2. Enquanto aguardavam a resolução do problema, os demais alunos que permaneceram no cenário virtual exploraram a funcionalidade 'modo voo', planejada para uso apenas próximo do final da aula.

Estando eles ainda dentro da sala virtual de treinamento, que é um ambiente fechado, esses movimentos prematuros para iniciantes em VR, possivelmente causaram desconforto. Quando o sistema foi restabelecido e a aula retomada, a informação sobre o uso dessa ferramenta foi compartilhada entre todos os participantes. Em que pese os avisos do professor sobre o manuseio cuidadoso da ferramenta, os alunos, levados talvez pela empolgação da ideia de voar, acabaram experimentando a funcionalidade. Apesar de causar desconforto, o incidente não afetou adversamente o experimento em si, que seguiu conforme planejado até o final, sem mais intercorrências.

Em alguns feedbacks, também foi ressaltada a preocupação de que o entusiasmo pela nova tecnologia ou pelos detalhes do ambiente virtual poderia distrair os alunos do conteúdo da aula. Isso ocorreu pelo menos três vezes durante os experimentos, o que corrobora com tais comentários dos alunos. Isso destaca a importância de desenvolver estratégias pedagógicas que mantenham o foco do aluno na aprendizagem.

Por fim, as avaliações subjetivas reforçam os resultados obtidos pelas métricas dos conceitos anteriormente avaliados. Elas indicam que, em geral, a experiência foi altamente positiva, embora existam aspectos que necessitem de melhorias, como o tipo de equipamento usado e alguns ajustes no sistema.

4.3.6. Análise cruzada dos resultados

Especificamente, a 'absorção cognitiva' e 'usabilidade' apresentaram as médias mais elevadas, alcançando 83% e 84%, respectivamente. Em contrapartida, 'Presença Física' registrou 81%, seguida por 'Presença Social' com 77% e 'Doença do Simulador' com 74%. A Figura 85 e a Figura 86 ilustram a distribuição percentual desses conceitos, seguindo a ordem descrita acima.

É relevante observar que, apesar de as variáveis 'Presença' e 'Doença do Simulador' exibirem pontuações mais modestas em comparação a 'Absorção Cognitiva' e 'Usabilidade', todas ultrapassaram a marca de 70%, indicando resultados positivos de forma geral. A média geral da plataforma, considerando todas as variáveis avaliadas, situou-se em 80%.

O gráfico da Figura 77 ilustra a proporção relativa dos percentuais alcançados para cada escala investigada. Para realizar uma comparação equilibrada entre as diferentes variáveis, os valores de cada uma foram divididos pela soma total de todas elas. Essa abordagem resultou em valores que variam entre 19% e 21% para os cinco itens analisados. A proximidade desses números sugere uma consistência entre as diferentes escalas analisadas, indicando a ausência de variações significativas que poderiam apontar possíveis inconsistências.

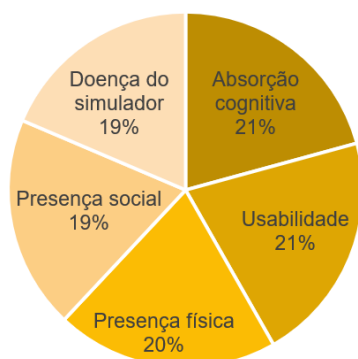


Figura 85 – Média dos resultados de cada conceito, em termos percentuais.

Nota-se que há certa equivalência nos resultados, embora com diferenças. Fonte: o autor, 2023.

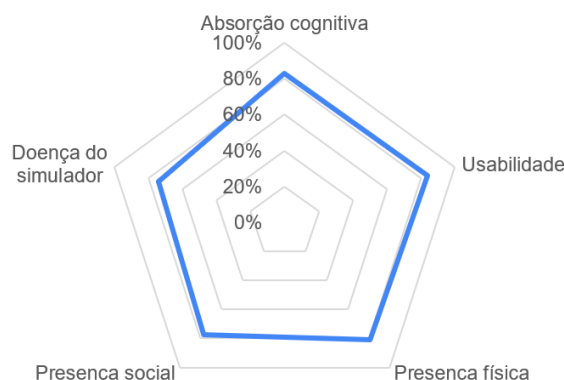


Figura 86 - Média dos resultados de cada conceito, em formato de gráfico de radar.

Nota-se a doença do simulador ligeiramente reduzida em relação à absorção cognitiva e à usabilidade. Fonte: o autor, 2023.

Conforme ilustrado na Figura 87, o grupo 5 (linha de cor laranja) manteve avaliações consistentemente positivas para o sistema, exceto pela doença do simulador, que apresentou uma queda em relação aos demais. Por outro lado, na mesma figura, o grupo 4 (linha de cor verde) apresentou médias de avaliações mais baixas que os demais, o que também é visível no gráfico à direita, na Figura 88, onde fica evidente essa redução nas pontuações.

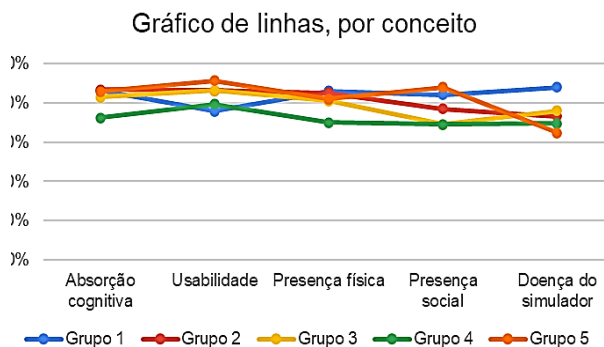


Figura 87 - Ilustração das médias obtidas para cada conceito investigado, em acordo com os 5 grupos.
Fonte: o autor, 2023.

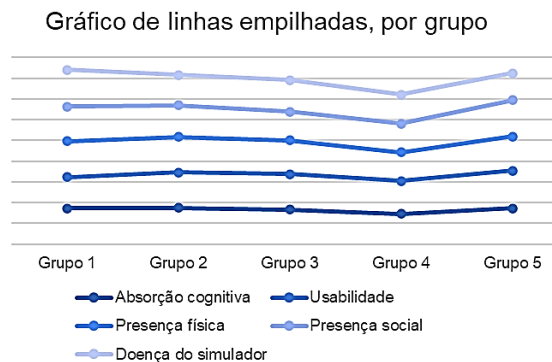


Figura 88 - Ilustração das médias obtidas para cada um dos 5 grupos de alunos, em acordo com os conceitos investigados.
O gráfico organiza a pontuação dos grupos de forma empilhada, para facilitar a percepção das diferenças.
Fonte: o autor, 2023.

Em comparação com outros grupos, o Grupo 4 não apresentou diferenças demográficas significativas. No entanto, esse grupo registrou um rendimento inferior no conceito de 'doença do simulador', o que pode ter afetado negativamente suas pontuações em outras categorias. Esta discrepância pode ser atribuída a uma série de intercorrências únicas experimentadas por este grupo. Por exemplo, conforme discutido no Item 4.3.2 acima, um estudante teve que atender o telefone e perdeu a conexão ao retornar. Além disso, alguns alunos deste grupo utilizaram a funcionalidade de 'modo voo' prematuramente, levando a um desconforto mais acentuado em comparação com os outros grupos.

4.4. Considerações

Os resultados demonstraram que a plataforma de VR proposta, implementada através da aula sobre o Largo de Nazaré, teve um impacto relevante e positivo na absorção cognitiva dos alunos, conforme revelado pela avaliação dos constructos. Os valores relativos à usabilidade da ferramenta também foram muito favoráveis, sugerindo que os alunos acharam o sistema intuitivo, divertido e fácil de navegar.

Pontos de melhoria também foram abordados, observando-se, por exemplo, os contratempos ocorridos durante o experimento, ressaltando a importância de se utilizar conexões de internet mais estáveis, bem como estabelecendo procedimentos para eventuais interrupções, como a necessidade de um participante ir ao banheiro ou precisar atender uma ligação, evitando assim paragens na aula ou quedas do sistema.

A presença física e social mostrou-se moderadamente positiva, o que é favorável aos estudos, mas indica que é importante buscar melhorias sobre isso. A doença do simulador também teve uma resposta em nível semelhante. Para ambos os casos, a melhoria pode ocorrer com a escolha de equipamentos mais confortáveis e com maior poder de processamento, como o recém-lançado no mercado, Metaquest Pro, ou os anunciados Metaquest 3, que serão mais leves, mais ergonômicos e com processadores mais rápidos.

Por fim, a avaliação da plataforma mostrou-se relevante e satisfatória para utilização no contexto de uma aula de história da arquitetura. Ela proporcionou uma experiência imersiva e divertida, permitindo que professor e alunos explorassem um cenário realista de escala natural do período e local estudados, interagindo por meio de avatares. Além disso, o sistema ofereceu recursos especiais, como viagens no tempo, voos e teletransporte, possibilitando, entre outras coisas, comparar mudanças ocorridas em épocas distintas, observar pontos de vista raramente acessíveis e a rápida navegação por longas distâncias de forma segura e prática. Essa ferramenta revelou-se valiosa e eficaz na promoção do engajamento dos alunos, aprimorando o processo de aprendizado por meio de visitas de campo virtuais.

4.5. Referências

AARON BANGOR; PHILIP KORTUM; JAMES MILLER. Determining what individual SUS scores mean: adding an adjective rating scale. *Journal of Usability Studies*, v. 4, n. 3, p. 114–123, 2009. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.5555/2835587.2835589%0Ahttps://uxpajournal.org/determining-what-individual-sus-scores-mean-adding-an-adjective-rating-scale/>>.

ADEEL, A. et al. WHY COGNITIVE ABSORPTION IS NOT ENOUGH: ROLE OF KNOWLEDGE ABSORPTION CAPACITY AND TECHNOLOGICAL OPPORTUNITY FOR INDIVIDUAL LEARNING. *Asian Academy of Management Journal*, 2023. Disponível em: <<https://ejournal.usm.my/aamj/article/view/3185>>.

AGARWAL, R.; KARAHANNA, E. Time Files When You're Fun : Cognitive Absorption and Beliefs about Information Technology Usage. *MIS Quarterly*, v. 18, n. 4, p. 665–694, 2000. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/3250951>>.

AGARWAL, R.; SAMBAMURTHY, V.; STAIR, R. M. COGNITIVE ABSORPTION AND THE ADOPTION OF NEW INFORMATION TECHNOLOGIES. *Academy of Management Proceedings*, v. 1997, n. 1, p. 293–297, ago. 1997. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/274757357_COGNITIVE_ABSORPTION_AND_THE_ADOPTION_OF_NEW_INFORMATION_TECHNOLOGIES>.

AHN, S. J. (Grace); NOWAK, K. L.; BAILENSEN, J. N. Unintended consequences of spatial presence on learning in virtual reality. *Computers and Education*, v. 186, n. April, p. 104532, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104532>>.

BALAKRISHNAN, J.; DWIVEDI, Y. K. Role of cognitive absorption in building user trust and experience. *Psychology & Marketing*, v. 38, n. 4, p. 643–668, 24 abr. 2021. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mar.21462>>.

<<https://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=constructo>>. Acesso em: 2 jul. 2023.

MIKROPOULOS, T. A.; NATSIS, A. Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999-2009). *Computers and Education*, v. 56, n. 3, p. 769–780, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2010.10.020>>.

MIRVIS, P. H.; CSIKSZENTMIHALYI, M. Flow: The Psychology of Optimal Experience. *The Academy of Management Review*, v. 16, n. 3, p. 636, 1990.

NIELSEN, J. Usability Engineering. [s.l.] Academic Press, 1993.

SAADÉ, R.; BAHLI, B. The impact of cognitive absorption on perceived usefulness and perceived ease of use in on-line learning: An extension of the technology acceptance model. *Information and Management*, v. 42, n. 2, p. 317–327, 2005.

SRIWORAPONG, S. et al. Investigating Students' Engagement, Enjoyment, and Sociability in Virtual Reality-Based Systems: A Comparative Usability Study of Spatial.io, Gather.town, and Zoom. In: [s.l.: s.n.]p. 140–157.

STANNEY, K. M. et al. Human performance in immersive virtual environments: Effects of exposure duration, user control, and scene complexity. *Human Performance*, v. 15, n. 4, p. 339–366, 2002.

SUNDAY, K. et al. Usability Evaluation of Imikode Virtual Reality Game to Facilitate Learning of Object-Oriented Programming. [s.l.] Springer Netherlands, 2022.

USOH, M. et al. Using presence questionnaires in reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 9, n. 5, p. 497–503, 2000.

WEBSTER, J.; HO, H. Audience Engagement in Multimedia Presentations. *Data Base for Advances in Information Systems*, v. 28, n. 2, p. 63–77, 1997.

WITMER, B. G.; SINGER, M. J. Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 7, n. 3, p. 225–240, 1998. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/105474698565686>>.

Cap. 5. CONCLUSÕES

Este capítulo final tem como propósito consolidar os principais resultados obtidos pela pesquisa, bem como refletir sobre as potencialidades e implicações da utilização da realidade virtual no ensino da história da arquitetura e urbanismo, com foco na plataforma desenvolvida. A revisão das questões de investigação e dos objetivos permitiu discutir os resultados, as limitações e perspectivas para estudos futuros.

5.1. Conclusões e implicações

O Capítulo 1 introduziu o tema da presente pesquisa, destacando inicialmente a importância das visitas de campo como complemento aos conteúdos desenvolvidos na disciplina de História da Arquitetura e Urbanismo. Essas atividades, externas à sala de aula, além de enriquecerem a compreensão dos alunos, funcionam como uma forma de melhorar o interesse (HEIN; VAN DOOREN, 2020). Contudo, a aplicabilidade dessas visitas é limitada pela abrangência geográfica e temporal da matéria em estudo, sendo, portanto, utilizadas de forma pontual (CHENG; TSAI, 2019).

Em seguida, os problemas de investigação foram delineados, abordando: a) as dificuldades de ensinar sobre espaços urbanos e arquitetônicos, que são de natureza tridimensional, por meio de recursos bidimensionais, tais como fotografias e plantas baixas (ZEVI, 1996); b) as limitações das já mencionadas visitas de campo (CHENG; TSAI, 2019); c) o baixo engajamento dos alunos em aulas expositivas de predomínio teórico (GHIDA, 2020); e d) o desafio de ensinar sobre lugares antigos que sofreram descaracterização significativa ou possuem acesso restrito, e cujos recursos didáticos, como imagens e documentos, são escassos (CHAN; MAVES; CRUZ-NEIRA, 1999).

Em seguida são apresentadas as questões de investigação e os objetivos da pesquisa. Neste contexto, a Realidade Virtual (VR) é apontada como uma possível solução para mitigar os problemas delineados, porém, a literatura e as aplicações disponíveis no mercado ainda não revelam um método ou plataforma eficaz que facilite e potencialize a sua implementação nas aulas de história da arquitetura e urbanismo. O presente trabalho deu resposta a estas necessidades com sucesso.

O Capítulo 2 está organizado em três seções distintas. A primeira seção visa familiarizar o leitor com os conceitos fundamentais da tecnologia em discussão. As seções subsequentes são focadas em abordar as duas primeiras questões de investigação: a segunda seção explora o impacto da realidade virtual no campo da arquitetura, correspondendo à primeira questão de investigação; e a

terceira seção examina como a realidade virtual tem influenciado o ensino de história da arquitetura e urbanismo, respondendo à segunda questão de investigação.

Durante a revisão bibliográfica da segunda seção, constatou-se que as tecnologias imersivas, mais do que um mero instrumento de visualização, podem facilitar a percepção do espaço, como ilustrado por Kieferle e Woessner (2019), que mencionaram as surpresas que os estudantes expressaram ao visitar seus próprios projetos no ambiente imersivo. Essa reação ocorreu mesmo após eles já terem construído uma maquete física de papelão e modelado o edifício em BIM, indicando que antes da VR eles não estavam tão cientes ou treinados sobre como seria o design na escala 1:1. Outro exemplo destacado foi o de Angulo (2015), que utilizou a realidade virtual para explorar com seus alunos conceitos relacionados às emoções afetivas despertadas ao caminhar, em escala real, pelos espaços arquitetônicos.

Assim, vários outros trabalhos investigados demonstraram diferentes abordagens de aplicação dos ambientes virtuais na arquitetura, incluindo seu uso no contexto educacional. Com isso, essa parte da pesquisa estabeleceu uma base sólida para dar continuidade ao estudo, cumprindo o primeiro objetivo específico de analisar a aplicação dessas tecnologias no âmbito da arquitetura e urbanismo.

A terceira seção do capítulo concentrou-se na segunda questão de pesquisa: "Como a realidade virtual tem contribuído para o ensino de história da arquitetura e urbanismo?". Neste trecho, foi realizada uma exploração aprofundada da utilização da tecnologia imersiva nessa disciplina. Nos artigos selecionados, foram verificadas discussões relevantes relacionadas ao tema, abrangendo desde a apresentação de protótipos de aplicações imersivas, até fluxos de trabalho, incluindo pesquisas dedicadas à implantação da VR colaborativa na sala de aula. A análise das pesquisas investigadas abordou tanto os aspectos positivos quanto as limitações encontradas, conforme indicado em diversos trabalhos (MOLONEY et al., 2017; IBRAHIM; AL-RABABAH; BANI BAKER, 2021; PUGGIONI et al., 2021; CARRASCO-WALBURG et al., 2022; GOMES et al., 2022a). Dessa forma, essa parte da pesquisa contribuiu para alcançar o segundo objetivo da tese, destacando as contribuições das experiências imersivas na disciplina em questão, evidenciando, assim, a realidade virtual como uma valiosa ferramenta no contexto do ensino de história da arquitetura e urbanismo.

Os capítulos 3 e 4 são dedicados à terceira questão de investigação - "Como a realidade virtual pode ser usada de forma eficaz nas aulas da disciplina de história da arquitetura e urbanismo, contribuindo para o engajamento dos alunos?".

O terceiro capítulo foi dividido em duas partes. A primeira destinou-se à investigação e definição de uma lista de requisitos desejáveis para uma aplicação de Realidade Virtual voltada para o ensino de

história da arquitetura e urbanismo. O objetivo foi aproveitar ao máximo as potencialidades dessa ferramenta no contexto educacional em questão. Nesta seção, buscou-se identificar os recursos já propostos em experiências prévias voltadas para o tema, assim como aqueles que estão disponíveis em aplicações profissionais presentes no mercado. Como resultado, foi elaborada uma lista com 20 itens. Dentre eles, encontram-se recursos como deslocamento por teletransporte, caminhada física e voo, colaboração online através de avatares, viagens no tempo, alterações na escala de visualização, interação com objetos do cenário por meio do uso das mãos, uso de uma caneta 3D para desenhos livres no ar, utilização de uma câmera fotográfica para registro das cenas consideradas relevantes pelos alunos, gráficos realistas e som ambiente (como canto de pássaros e farfalhar das folhas das árvores), dentre outros detalhados na Tabela 3, página 100.

A segunda parte do Capítulo 3 dedicou-se ao desenvolvimento da plataforma propriamente dita, visando facilitar a criação de experiências imersivas e colaborativas de cenários históricos. As funcionalidades incorporadas englobaram os itens mencionados no parágrafo acima, que serviram de guia para a produção da plataforma. Os recursos foram programados especificamente para serem utilizados no contexto de uma aula em formato de visita de campo. Assim, o professor pode guiar os alunos por espaços urbanos e arquitetônicos, utilizando os respectivos avatares.

Ainda no capítulo 3, como parte do desenvolvimento da plataforma, sugeriu-se uma abordagem específica para a modelagem, visando reduzir a quantidade de triângulos do ambiente virtual e torná-lo mais realista (no sentido de assemelhar-se às fotografias do passado), adequando assim o cenário à capacidade de processamento dos óculos escolhidos e às necessidades gráficas da experiência.

A proposta resumiu-se na inversão dos procedimentos convencionalmente utilizados para a digitalização tridimensional de cenários urbanos e arquitetônicos, especialmente os do passado, que muitas vezes já nem existem mais. Assim, diferente do método comum, que consiste em modelar primeiro para depois aplicar as texturas, a proposta foi de inicialmente aplicar a textura (uma foto de alta resolução e planificada), e somente em seguida, inicia-se o processo de modelagem.

Esta abordagem mostrou ser eficaz tanto para a criação de novos ambientes quanto para a otimização dos existentes, ou para a virtualização de edifícios históricos que foram demolidos e dos quais restam poucos registros, além de fotografias/ gravuras e alguma indicação em mapas antigos. Os resultados foram cenários mais realistas, com uma demanda significativamente menor de processamento de *hardware*. Isso contribuiu para tornar viável a experiência em dispositivos

Metaquest, que possuem capacidade de processamento limitada se comparados aos HMDs conectados a um computador.

Para exemplificar a utilização da plataforma imersiva, optou-se pelo Largo de Nazaré como cenário de estudo. Este espaço urbano, situado na cidade de Belém, Brasil, conta com uma história de relevância cultural, econômica e religiosa, cujos reflexos ficaram marcados nos traçados das vias e nas edificações do local, que acompanharam a cidade quase desde o seu surgimento, passando pelos períodos mais prósperos e chegando aos tempos atuais em razoável decadência, mas sem jamais deixar de abrigar o que é hoje considerada a maior procissão religiosa do Brasil e uma das maiores do mundo, o Círio de Nazaré. Assim, utilizou-se os períodos de 1910, 1950 e 2020 para discutir, no contexto de uma visita de campo, o local e as modificações urbanas e arquitetônicas ocorridas.

O desenvolvimento da plataforma e a implementação em um cenário histórico destinado a uma aula permitiram atender ao quarto objetivo específico desta tese, relacionado à criação de ferramentas de imersão e colaboração para aulas de história da arquitetura e urbanismo.

O capítulo 4 foi dedicado à avaliação da plataforma, implementada com o cenário do Largo de Nazaré. Realizou-se um experimento com 20 alunos que, divididos em cinco grupos, foram guiados pelo professor em uma visita de campo que durou cerca de 45 minutos, na qual, por meio de avatares, todos passearam pelo ambiente, ouviram as explicações do professor e observaram os detalhes, interagindo com o cenário e entre si por meio de avatares.

Este capítulo abordou os dois últimos objetivos propostos: a avaliação da ferramenta e o engajamento dos estudantes. A eficácia da plataforma foi mensurada considerando quatro aspectos: a) absorção cognitiva, b) usabilidade, c) presença e d) doença do simulador. As métricas oscilaram entre 74% e 84%, apresentando uma média geral de 80%.

De acordo com a classificação proposta por Bangor et al. (2009), a usabilidade atingiu níveis excelentes. A absorção cognitiva obteve métricas próximas às da usabilidade. Os conceitos de presença social e doença do simulador, embora menores, ainda foram aceitáveis, superando os 74%.

A avaliação subjetiva realizada pelos alunos, por meio de questões opcionais, forneceu informações sobre pontos positivos e negativos da plataforma. As experiências foram relatadas como divertidas e interessantes, com destaque à viagem no tempo, apontada como facilitadora na observação das mudanças ao longo dos anos e à imersão, que reforçou as medidas de presença coletadas.

Dentre as críticas, citaram-se o peso do dispositivo, falhas pontuais no sistema de som, a ausência de vegetação mais densa e realista, e alguns sintomas associados à doença do simulador, como fadiga ocular e visão embaçada. Tais aspectos representam pontos importantes a serem considerados para aprimoramentos futuros.

Verificou-se ainda a necessidade de um controle mais eficaz do professor sobre as ferramentas disponíveis aos alunos, de modo a prevenir o acesso a comandos em momentos inadequados que pudessem comprometer o fluxo da aula. Uma solução plausível seria a inclusão de um botão no painel do professor que permitisse gerenciar as permissões dos estudantes.

Outra possível melhoria pode advir da aquisição de equipamentos com maior capacidade de processamento, como os recém-lançados ‘Metaquests Pro’, que são indicados pelo fabricante como mais leves, menores e mais potentes.

A plataforma proposta foi eficaz ao proporcionar aos estudantes e ao professor a imersão em um ambiente virtual dedicado à realização de atividades didáticas que comumente são vivenciadas nas visitas de campo no mundo físico. Os avatares e a comunicação por voz funcionaram conforme o esperado, provando serem eficientes para as interações no contexto das aulas. Ademais, funcionalidades como a viagem no tempo foram ressaltadas por sua particular utilidade no auxílio à percepção de mudanças ocorridas no ambiente de estudo.

A troca entre escalas e a caneta 3D mostraram-se eficazes para as discussões sobre o local, permitindo, em especial, a observação do cenário em miniatura e a realização de explicações mais aprofundadas sobre o espaço. Ressalta-se ainda a relevância da ferramenta de modo voo, que, embora tenha sido usada prematuramente por um dos grupos devido a uma interrupção momentânea no fluxo da aula, ela possibilitou a todos os grupos explorar pontos de vista incomuns, como a torre da igreja e os capitéis e detalhes da cobertura de uma das edificações

Considerando o exposto acima e o conjunto de avaliações baseadas nos conceitos discutidos, foi possível confirmar a eficácia da plataforma e sua utilidade como ferramenta de ensino. Desta forma, alcançou-se o quinto objetivo específico desta pesquisa, relacionado à avaliação de uma aplicação imersiva baseada nos recursos desenvolvidos, no contexto de uma aula.

Portanto, os resultados confirmaram que a plataforma proposta foi bem acolhida pelos alunos, contribuindo para aumentar a concentração e o prazer, e promovendo elevados níveis de engajamento durante as atividades didáticas. Este engajamento foi mensurado por meio da absorção cognitiva. Dessa forma, alcançou-se o último objetivo específico da presente pesquisa, relacionado a avaliar o impacto desta tecnologia no engajamento dos estudantes.

A contribuição principal deste trabalho reside no desenvolvimento e análise de uma plataforma virtual, baseada no *software* Unity. Essa plataforma foi criada para viabilizar e facilitar a elaboração de aplicações imersivas e colaborativas dedicadas ao ensino da história da arquitetura e urbanismo. Algo que a literatura, até então não havia dado resposta.

Nas avaliações a plataforma demonstrou eficácia e bom desempenho em relação aos conceitos a que foi submetida, mostrando-se uma ferramenta capaz de despertar o engajamento dos alunos. Se adotada pela comunidade acadêmica, acredita-se que ela pode contribuir no aprimoramento do método atual de ensino, possibilitando que lugares, antes estudados apenas por meio de fotografias, sejam visitados virtualmente, em escala real e no contexto de aula, aproximando-se das ideias de Zevi (1996), da década de 1940, sobre a importância das visitas *in loco* para o aprendizado da arquitetura.

Para além disso, a possibilidade de oferecer visitas virtuais permite superar algumas das principais limitações das visitas de campo no mundo físico, por exemplo, as barreiras acessíveis, permitindo que pessoas com determinadas deficiências físicas possam contemplar o lugar, também os obstáculos como o tempo de viagem, os custos financeiros e o impacto ambiental são reduzidos com tal ferramenta. Junto a isso, as aplicações geradas pela plataforma podem permitir que os alunos revisitem o lugar diversas vezes para coletar novas informações ou realizar diferentes reflexões, inclusive em grupo, algo que é inviável quando se trata de viagens no mundo físico com longas distâncias geográficas.

Outra contribuição foi a capacidade de visitar virtualmente, em situação de aula, locais históricos que não existem mais ou que sofreram alterações significativas, uma experiência que as visitas de campo no mundo físico não podem fornecer. É o caso de algumas das edificações vivenciadas na experiência do Largo de Nazaré, que anteriormente só podiam ser explicadas por meio de poucas fotografias. Além disso, a compreensão das evoluções urbanas e arquitetônicas se tornou mais evidente com o uso das ferramentas de 'viagem no tempo' e 'fusão temporal'. Elas possibilitam aos alunos não apenas navegarem entre o passado e o presente, mas também experimentar os dois períodos simultaneamente, facilitando comparações mais diretas entre diferentes momentos da história.

Relativamente aos modelos digitais, em especial aos que já não existem mais, propõe-se a utilização da técnica de inverter a abordagem tradicional de modelagem. Sugere-se que o processo inicie com a aplicação da textura, usando uma imagem planificada de alta resolução, seguida pela modelagem tridimensional. Embora possua menor precisão em relação às técnicas tradicionais, ela se mostrou

rápida, eficiente (em termos de baixa triangulação) e realista (por assemelha-se com a fotografia original), satisfazendo as necessidades da plataforma. Ademais, devido à escassez de plantas arquitetônicas de edifícios antigos que já foram demolidos, a modelagem baseada em fotografias se apresenta como uma das poucas estratégias eficazes para a criação de representações tridimensionais que oferecem precisão razoável, baixa triangulação e um realismo convincente.

Esta técnica de modelagem é semelhante a alguns tutoriais na internet que orientam a criação de cenas 3D a partir de imagens 2D. Embora ela seja conhecida, a sua aplicação e análise de desempenho em ambientes de alta complexidade e detalhamento, especialmente quando destinados a dispositivos autônomos de realidade virtual, constituem uma contribuição relevante e inédita. Este enfoque é particularmente pertinente para o contexto educacional em história da arquitetura e urbanismo, uma vez que a técnica pode viabilizar a criação de cenários realistas com exigências de processamento de *hardware* mais modestas.

5.2. Limitações da pesquisa

No que diz respeito à representação gráfica dos ambientes, apesar dos esforços para se assemelhar às fotografias, muitos detalhes que poderiam enriquecer a cena tiveram que ser omitidos devido às limitações do *hardware*. Por exemplo, o número de árvores foi consideravelmente reduzido, a grama, por sua vez, foi representada apenas por uma textura, sem volumetria ou irregularidades no solo. Elementos como pessoas e postes também não foram inseridos. A ausência desses elementos não inviabilizou a realização das aulas, mas sua inclusão certamente teria enriquecido a experiência. Como mencionado anteriormente, as atuais e futuras gerações de HMDs estão evoluindo para expandir as capacidades dos dispositivos, o que deverá possibilitar cenários mais ricos em detalhes no futuro.

Algumas das ferramentas descritas na seção 3.3.1, página 96, não foram implementadas devido a falhas no sistema e dificuldades com a programação. Essa ausência não prejudicou a experiência geral, mas acredita-se que a implementação dessas ferramentas seria benéfica. Os itens que não foram implementados foram: a) avatar humanoide, b) link para redes sociais, c) banco de dados de imagens, d) pontos de informação, e) plano de corte, f) quadro de rascunho e g) fita métrica.

Outra limitação foi a ausência de mecanismos para localizar facilmente os participantes. Durante a experiência, principalmente no início da sessão, alguns alunos se perderam no cenário, levando algum tempo para que o professor os localizasse e os guiasse de volta. Este problema poderia ser mitigado com a implementação de uma ferramenta de localização dos participantes.

As condições da infraestrutura do local onde a experiência foi realizada também foram limitantes. A existência de uma construção próxima à sala gerou alguns pequenos ruídos que, mesmo sendo eventuais, produziram incômodo. Além disso, uma queda de conexão da internet resultou na interrupção de uma das aulas por alguns minutos.

Uma limitação adicional é que, no momento, a presente pesquisa só permite afirmar que a plataforma demonstrou eficácia para ambientes urbanos e arquitetônicos semelhantes ao Largo de Nazaré, onde a praça é predominantemente plana e as edificações visitadas são relativamente pequenas e de geometria simples. Não há dados que indiquem se a plataforma funcionaria em condições de sítio diferentes.

Por fim, cabe destacar que estes resultados foram obtidos com indivíduos que participaram de uma aula em realidade virtual colaborativa pela primeira vez. Elementos como interação por meio de avatares, navegação por voo e viagens no tempo trazem uma dose considerável de empolgação. No entanto, ainda é incerto como esses dados avaliativos se comportariam se as aplicações geradas pela plataforma fossem utilizadas com frequência ao longo de um semestre.

5.3. Direções para estudos futuros

Como futuras linhas de pesquisa, experimentar a plataforma em outros contextos urbanos e arquitetônicos pode trazer novas percepções sobre a sua aplicabilidade. Isso poderia gerar sugestões de novos recursos que aprimorem ainda mais a sua aplicação no contexto educacional da disciplina discutida.

A implementação de um componente de jogo à plataforma poderia gerar resultados inovadores. Comparar uma aula explicativa, como a ministrada nesta pesquisa, com outra em que o professor atua como um mediador de um jogo (com pontuações distribuídas por tarefas), poderia indicar novas possibilidades para o uso da imersão no ensino de história da arquitetura.

Embora essa plataforma imersiva e colaborativa tenha sido desenvolvida especificamente para o campo da história da arquitetura e urbanismo, acredita-se que sua adaptação para outras áreas possa ser proveitosa. Essa seria, portanto, outra direção para estudos futuros.

A criação colaborativa de cenários históricos para aulas imersivas poderia envolver diversas faculdades. Se os aplicativos de cada cenário fossem compartilhados, rapidamente seria criada uma vasta biblioteca de locais a serem visitados, o que favoreceria o contexto do ensino em questão. Esta também é uma possibilidade para continuidade da pesquisa.

Por fim, mesmo após a conclusão das experiências descritas neste trabalho, o desenvolvimento da plataforma segue em andamento, estabelecendo as bases para futuros estudos. Atualmente, muitas das ferramentas originalmente listadas, bem como algumas novidades, já foram implementadas. Entre elas, destaca-se um painel exclusivo para o professor, que se diferencia do painel do aluno por possuir controles específicos, conforme ilustrado na Figura 89.



Figura 89 - Painel do professor, contendo ferramentas exclusivas, como 'viagem no tempo', agrupar e 'seção'.
Fonte: o autor, 2023.

Entre os novos recursos, foi desenvolvido um display para o acompanhamento em tempo real das etapas da aula e um laser online que permite que alunos e professores apontem para objetos específicos. Foi introduzida também a função "agrupar", que traz todos os alunos para perto do professor, evitando que eles se dispersem pelo cenário.

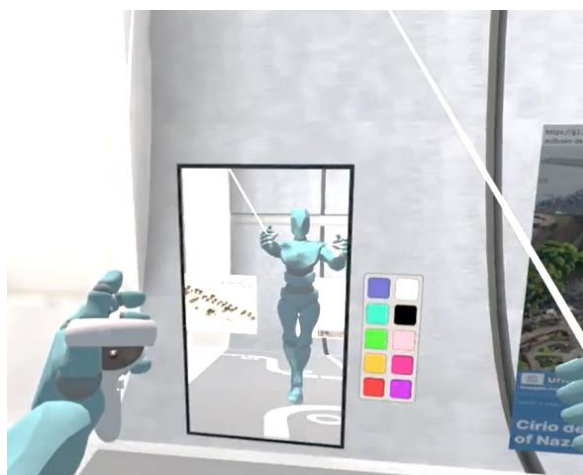


Figura 90 - Avatar de corpo inteiro em frente ao espelho da sala de controle.
Fonte: o autor, 2023.

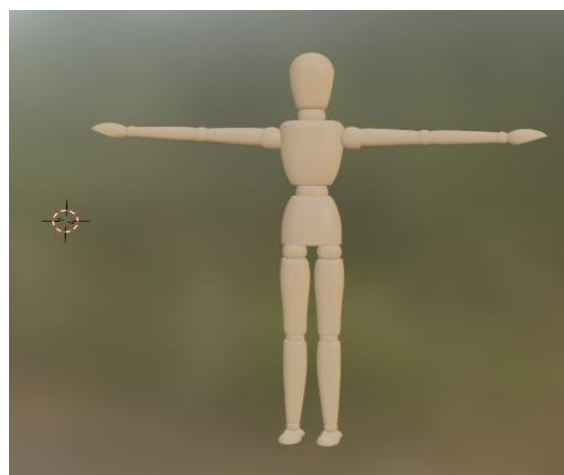


Figura 91 - Avatar sendo preparado para integrar o leque de escolha por parte dos alunos.
Fonte: o autor, 2023.

Além disso, avatares humanoides e de corpo inteiro estão sendo implementados, bem como uma variedade de diferentes avatares, que estão em processo de conclusão. A Figura 90 e a Figura 91, acima, ilustram algumas dessas implementações.

5.4.Referências

- AARON BANGOR; PHILIP KORTUM; JAMES MILLER. Determining what individual SUS scores mean: adding an adjective rating scale. *Journal of Usability Studies*, v. 4, n. 3, p. 114–123, 2009. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.5555/2835587.2835589%0Ahttps://uxpajournal.org/determining-what-individual-sus-scores-mean-adding-an-adjective-rating-scale/>>.
- ADEEL, A. et al. WHY COGNITIVE ABSORPTION IS NOT ENOUGH: ROLE OF KNOWLEDGE ABSORPTION CAPACITY AND TECHNOLOGICAL OPPORTUNITY FOR INDIVIDUAL LEARNING. *Asian Academy of Management Journal*, 2023. Disponível em: <<https://ejournal.usm.my/aamj/article/view/3185>>.
- AGARWAL, R.; KARAHANNA, E. Time Files When You're Fun : Cognitive Absorption and Beliefs about Information Technology Usage. *MIS Quarterly*, v. 18, n. 4, p. 665–694, 2000. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/3250951>>.
- AGARWAL, R.; SAMBAMURTHY, V.; STAIR, R. M. COGNITIVE ABSORPTION AND THE ADOPTION OF NEW INFORMATION TECHNOLOGIES. *Academy of Management Proceedings*, v. 1997, n. 1, p. 293–297, ago. 1997. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/274757357_COGNITIVE_ABSORPTION_AND_THE_ADOPTION_OF_NEW_INFORMATION_TECHNOLOGIES>.
- AGIRACHMAN, F. A. et al. REIMAGINING BRAGA Remodeling Bandung's Historical Colonial Streetscape in Virtual Reality. *CAADRIA*, p. 23–33, 2017. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2017_147.pdf>.
- AHN, S. J. (Grace); NOWAK, K. L.; BAILENSON, J. N. Unintended consequences of spatial presence on learning in virtual reality. *Computers and Education*, v. 186, n. April, p. 104532, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104532>>.
- ALVARADO, R. G.; MAVER, T. Virtual Reality in Architectural Education: Defining Possibilities. In: *ACADIA Quarterly*, 4, *Anais...*1999. Disponível em: <[http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?_id=4d95&sort=DEFAULT&search=virtual reality&hits=2442](http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?_id=4d95&sort=DEFAULT&search=virtual%20reality&hits=2442)>.
- ANDREATTA, V.; VILAS BOAS, N. Words, drawings and digital representation: visual interpretations of the narratives of machado de assis in morro do castelo. *Revista Produção e Desenvolvimento*, v. 7, n. October, 2021.
- ANGULO, A. Rediscovering Virtual Reality in the Education of Architectural Design: The immersive simulation of spatial experiences. *Ambiances [on-line]*, n. September, p. 0–23, 2015.
- ARAUJO, T. S. L. *REALIDADE VIRTUAL, ARQUITETURA E HISTÓRIA: DE VOLTA PARA O FUTURO NO LARGO DE NAZARÉ*. 2019. 2019.
- ARIMATEIA, E. W. C.; COSTA, G. S. Comentários acerca da aula expositiva no departamento de arquitetura. *Projetar 2005: II Seminário sobre Ensino e Projeto de Arquitetura e Urbanismo.*, n. 1, p. 1–7, 2005.
- AROWOSEGBE, H. *How to Optimize your Unity Applications for Mobile VR (Oculus Quest/Quest 2)*. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/how-optimize-your-unity-applications-mobile-vr-oculus-arowosegbe/>>. Acesso em: 10 jul. 2023.
- ASANOWICZ, A. Digital Architectural Composition in Virtual Space. In: *eCAADe 36, Anais...*2018. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2018_124>.
- BAHADURE, S.; WAHURWAGH, A.; BAHADURE, P. Role of interpretative treatment method in teaching-learning history of architecture. *Proceedings - 2013 IEEE 5th International Conference on*

Technology for Education, T4E 2013, n. December, p. 170–173, 2013.

BALAKRISHNAN, J.; DWIVEDI, Y. K. Role of cognitive absorption in building user trust and experience. *Psychology & Marketing*, v. 38, n. 4, p. 643–668, 24 abr. 2021. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mar.21462>>.

BALEIXE, H. *Defesas da barra e Cidade do G Pará*. Disponível em: <http://haroldobaleixe.blogspot.com/2010/04/blog-post_10.html>. Acesso em: 30 jun. 2019.

BARFIELD, W.; HENDRIX, C. The effect of update rate on the sense of presence within virtual environments. *Virtual Reality*, v. 1, n. 1, p. 3–15, 1995.

BARRUEZO-VAQUERO, P. et al. Digitizing Los Millares (Santa Fe de Mondújar, Almería, Spain) through 3-D and geospatial technologies: preserving and disseminating the archaeological heritage. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, v. 27, n. October, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212054822000364>>.

BARTOSH, A.; ANZALONE, P. Experimental Applications of Virtual Reality in Design Education. In: ACADIA 2019, *Anais...2019*. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/acadia19_458%0A>.

BASHABSHEH, A. K.; ALZOUBI, H. H.; ALI, M. Z. The application of virtual reality technology in architectural pedagogy for building constructions. *Alexandria Engineering Journal*, v. 58, n. 2, p. 713–723, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.06.002>>.

BASSALO, J. M. C. *O Super Clipper Brasil*. Disponível em: <<https://fauufpa.org/2019/08/24/o-super-clipper-brasil-por-jose-maria-coelho-bassalo/>>.

BAYRAMZADEH, S. et al. Using an integrative mock-up simulation approach for evidence-based evaluation of operating room design prototypes. *Applied Ergonomics*, v. 70, n. December 2017, p. 288–299, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.03.011>>.

BEN, Y.; NIBLOCK, C.; BONENBERG, L. Lincoln Cathedral Interactive Virtual Reality Exhibition. In: CAAD Futures, *Anais...2017*. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/cf2017_585>.

BIBLIOTECA NACIONAL. *Igreja dos Jesuítas - Morro do Castelo - Acervo fotográfico*. Disponível em: <http://acervo.bndigital.bn.br/sophia/index.asp?codigo_sophia=34787>. Acesso em: 27 jun. 2023.

BIERBAUM, A. et al. VR juggler: A virtual platform for virtual reality application development. *ACM SIGGRAPH ASIA 2008 Courses, SIGGRAPH Asia'08*, 2008. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/913774>>.

BLANCHARD, C. et al. Reality built for two: a virtual reality tool. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, v. 24, p. 35–36, 1990.

BOTTURA, R. de A. Aprendizagem por equipe (TBL): estratégia em aulas de história da arquitetura. *Projetar*, v. 3, n. 3, p. 34–46, 2018.

BRANDÃO, C. A. L. Porque estudar história da arquitetura? 2012.

BROOKE, J. SUS: A “Quick and Dirty” Usability Scale. In: *Usability Evaluation In Industry*. [s.l.] CRC Press, 1996. p. 207–212.

BROOKS, D.; NOLAN, D.; GALLAGHER, S. *Web-Teaching*. [s.l.: s.n.]

BUTTERWORTH, J. et al. 3DM : A Three Dimensional Modeler Using a Head-Mounted Display. In: ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, *Anais...1992*. Disponível em:

<<http://papers.cumincad.org/data/works/att/9b34.content.pdf>>.

BYSTROM, K.-E.; BARFIELD, W.; HENDRIX, C. A Conceptual Model of the Sense of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. Vol. 8, p. 241–245, 1999.

CANUTO, C. L.; MOURA, L. R. de; SALGADO, M. S. Tecnologias digitais e preservação do patrimônio arquitetônico: explorando alternativas. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 7, n. 4, p. 252, 2016.

CARDOSO, D. R. et al. Imagens espaço-imagens objeto : o recurso da imersão nos processos de ensino-aprendizagem em arquitetura. p. 85–87, 2010.

CARRASCO-WALBURG, C. et al. Experiential Teaching-learning Tools: Critical Study of Representational Media and Immersion in Architecture. In: November, *Anais...2022*.

CARVALHO, M. R. de; DA COSTA, R. T.; NARDI, A. E. simulator sickness questionnaire: Tradução e adaptação transcultural. *Jornal Brasileiro de Psiquiatria*, v. 60, n. 4, p. 247–252, 2011.

CASTRONOVO, F. et al. An evaluation of immersive virtual reality systems for design reviews. *Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, n. October, p. 30–31, 2013.

CH'NG, E. Experiential archaeology: Is virtual time travel possible? *Journal of Cultural Heritage*, v. 10, n. 4, p. 458–470, 2009.

CHAN, C.-S.; BOGDANOVIC, J.; KALIVARAPU, V. Applying immersive virtual reality for remote teaching architectural history. *Education and Information Technologies*, v. 27, n. 3, p. 4365–4397, 25 abr. 2022. Disponível em: <<https://link.springer.com/10.1007/s10639-021-10786-8>>.

CHAN, C.-S.; MAVES, J.; CRUZ-NEIRA, C. An Electronic Library for Teaching Architectural History. *Proceedings of the 4th Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)*, p. 335–344, 1999. Disponível em: <<http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/69f5>>.

CHENG, K. H.; TSAI, C. C. A case study of immersive virtual field trips in an elementary classroom: Students' learning experience and teacher-student interaction behaviors. *Computers and Education*, v. 140, n. December 2018, p. 103600, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103600>>.

CLARK, J. H. Designing Surfaces in 3-D. *Communications of the ACM*, v. 19, n. 8, p. 454–460, 1976.

CLINE, E. *Ready Player One: A Novel*. [s.l.] Broadway Books, 2012.

CONN, C.; LANIER, J.; MINSKY, M. Virtual environments and interactivity: Windows to the future. *Acm Siggraph ...*, p. 7–18, 1989. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=77278>>.

CONRAD, C.; BLIEMEL, M. Psychophysiological measures of cognitive absorption and cognitive load in E-learning applications. *2016 International Conference on Information Systems, ICIS 2016*, n. 2014, p. 1–9, 2016.

CRUZ, P. R. da. O papel da Adresse no design de móveis de MDF no Brasil e na origem do estuadiobola. In: ArchDaily Brasil, *Anais...2023*. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/940039/de-cenario-a-protagonista-o-papel-da-arquitetura-no-design-de-videogames>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

D'AGOSTINO, M. H. S.; CALDEIRAS, L. F.; BORBA, e I. M. de. Largo São Francisco: modelagens de uma memória. *Vitruvius*, jun.2020, 2020. Disponível em: <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/20.239/7785>>.

DAVIDSON, J. N.; CAMPBELL, D. A. *Collaborative Design in Virtual Space - Greenspace II: A Shared Environment for Architectural Design Review* Proceedings of ACADIA Conference on Design Computation: Collaboration, Reasoning, Pedagogy, 1996. .

DE FREITAS, M. R.; RUSCHEL, R. C. What is happening to Virtual and Augmented Reality applied to architecture? *Open Systems - Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2013*, n. Caadria, p. 407–416, 2013.

DE VRIES, B.; ACHTEN, H. H. DDDoolz: Designing with modular masses. *Design Studies*, v. 23, n. 6, p. 515–531, 2002.

DICIO-DICIONÁRIO ONLINE DE PORTUGUÊS. *Significado de Constructo*. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/constructo/>>. Acesso em: 2 jul. 2023.

DOKONAL, W.; KNIGHT, M.; DENG, E. VR or Not VR - No Longer a Question? In: eCAADe, *Anais...2016*. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2016_033>.

DOKONAL, W.; MEDEIROS, M. L. I Want To Ride My Bicycle-I Want To Ride My Bike Using low cost interfaces for Virtual reality. In: eCAADe 37 / SIGraDi 23, *Anais...2019*. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaadesigradi2019_309>. Acesso em: 20 dez. 2019.

DONATH, D.; KRUIJFF, E.; REGENBRECHT, H. Spatial knowledge implications by using a Virtual Environment during design review. In: ACADIA Conference Proceedings, January, *Anais...1999*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/250025732_Spatial_knowledge_implications_by_using_a_Virtual_Environment_during_design_review>.

DONATH, D.; REGENBRECHT, H. Using Virtual Reality Aided Design Techniques for Three - dimensional Architectural Sketching . In: ACADIA Conference Proceedings, *Anais...1996*. Disponível em: <<https://cumincad.architexturez.net/doc/oai-cumincadworks-id-656d>>.

DONATH, D.; REGENBRECHT, H. Using immersive virtual reality systems for spatial design in architecture. In: AVOCAAD '99 Conference Proceedings, *Anais...1999*. Disponível em: <<https://cumincad.architexturez.net/doc/oai-cumincadworks-id-fd35>>.

DOWNING, S. M. Validity: On the meaningful interpretation of assessment data. *Medical Education*, v. 37, n. 9, p. 830–837, 2003.

DUARTE, E. et al. Behavioral compliance for dynamic versus static signs in an immersive virtual environment. *Applied Ergonomics*, v. 45, n. 5, p. 1367–1375, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2013.10.004>>.

ELLIS, S. R. Nature and origins of virtual environments: a bibliographical essay. *Computing Systems in Engineering*, v. 2, n. 4, p. 321–347, 1991.

ESTEVEZ, J. C.; FALCOSKI, L. A. N. GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETOS EM UNIVERSIDADES PÚBLICAS: ESTUDOS DE CASO. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 8, n. 2, p. 67, 2013.

FARIAS, T. C. De. As viagens de estudo como prática educativa no curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo. 2013.

FAU ITEC UFPA. *Hospício dos Lázaros do Tucunduba – localização aproximada*. Disponível em: <<https://fauufpa.org/2014/09/17/hospital-de-lazaros-do-tucunduba---localizacao-aproximada/>>. Acesso em: 10 jul. 2023a.

FAU ITEC UFPA. *O CLIPPER de Nazaré | Laboratório Virtual*. Disponível em: <<https://fauufpa.org/2014/07/30/o-clipper-de-nazare/>>. Acesso em: 24 jun. 2023b.

FAU ITEC UFPA. *O desabamento do Pavilhão de Vesta no Largo de Nazareth | Laboratório Virtual – FAU ITEC UFPA*. Disponível em: <<https://fauufpa.org/2016/11/08/o-desabamento-do-pavilhao-de-vesta-no-largo-de-nazareth/>>. Acesso em: 25 jun. 2023.

FERREIRA, S. L. 3D Scene Reconstruction from a 2D Photo as a Learning Challenge of PBL in Architectural and Engineering. In: *Advances in Intelligent Systems and Computing*. [s.l.] Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021. 1296p. 932–934.

FONTAINE, G. The Experience of a Sense of Presence in Intercultural and International Encounters. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 1, n. 4, p. 482–490, 1992. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/pres.1992.1.4.482>>.

GAAFAR, A. A. “Use of Fully Immersive Virtual Reality Techniques to Generate Scale 1: 1 Interactive Models of Pharaonic Tombs”. v. 6, p. 66–86, 2021. Disponível em: <<https://www.ss-pub.org/aeer/metaverse-in-architectural-heritage-documentation-education/>>.

GAWAD, I. O. A. History of architecture education: potentials and limitations for a better design problem solving. In: 6th International Conference on Education and New Learning Technologies, Barcelona, Spain. *Anais...* Barcelona, Spain: IATED, 2014. Disponível em: <<https://library.iated.org/view/GAWAD2014HIS>>.

GE, Y. Teaching Research on “Experience” Architecture History with VR Technology. *Frontier of Higher Education*, v. 1, n. 1, p. 5–9, 2020.

GHANI, I.; RAFI, A.; WOODS, P. Sense of place in immersive architectural virtual heritage environment. *Proceedings of the 2016 International Conference on Virtual Systems and Multimedia, VSMM 2016*, 2016.

GHIDA, D. Ben. Augmented Reality and Virtual Reality: A 360° Immersion into Western History of Architecture. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, v. 8, n. 9, p. 6051–6055, 2020.

GIBBS, J. K.; GILLIES, M.; PAN, X. A comparison of the effects of haptic and visual feedback on presence in virtual reality. *International Journal of Human Computer Studies*, v. 157, n. August 2021, p. 102717, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2021.102717>>.

GIBSON, W. *Neuromancer*. Edição rei ed. [s.l.] Ace, 1984.

GOMES, E. B. de O. et al. The Virtual Reality as a tool to analyze modifications in the architecture of the city. Case study: the historical center of the city of Belém-Pará. In: Blucher Design Proceedings, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Editora Blucher, nov. 2018. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/29810>>.

GOMES, E. B. de O. et al. Digital reconstruction of historical heritage - a quantitative methodology for measuring the reliability of Largo de Nazaré iconographic data between the years 1900 and 1910. In: Blucher Design Proceedings, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Editora Blucher, dez. 2020. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/35356>>.

GOMES, E. B. de O. et al. Mapa de confiabilidade: um método quantitativo para análise do grau de confiança nas reconstruções digitais de patrimônios históricos demolidos ou fortemente modificados. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 17, n. 1, p. 219–237, 12 nov. 2021. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/183924>>.

GOMES, E. B. de O. et al. A workflow for multi-user VR application within the physical classrooms

of architecture and urbanism courses. *Ergonomics In Design*, v. 47, n. January, 2022a.

GOMES, E. B. de O. et al. Architecture, Virtual Reality, and User Experience. In: VILAR, E.; FILGUEIRAS, E.; REBELO, F. (Ed.). *The Wiley Handbook of Human Computer Interaction Set*. 1ª ed. [s.l.: s.n.]1p. 191–206.

GREENWALD, S. W. et al. *Repository of the International Society of Learning Sciences: Technology and Applications for Collaborative Learning in Virtual Reality*. Disponível em: <<https://repository.isls.org/handle/1/210>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

GROSSI, M. G. R. et al. A utilização das tecnologias digitais de informação e comunicação nas redes sociais pelos universitários brasileiros. *Texto Digital*, v. 10, n. 1, p. 4, 7 jul. 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/textodigital/article/view/1807-9288.2014v10n1p4>>.

HEIN, C.; VAN DOOREN, E. Teaching history for design at TU Delft: exploring types of student learning and perceived relevance of history for the architecture profession. *International Journal of Technology and Design Education*, v. 30, n. 5, p. 849–865, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10798-019-09533-5>>.

HILL II, L. C.; CHAN, C.; CRUZ-NEIRA, C. Virtual Architectural Design Tool (VADeT). In: Proceedings of the 3rd International Immersive Projection Technology Workshop, May, *Anais...*1999. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/231513985_Virtual_Architectural_Design_Tool_VADeT>.

HUANG, H.; LEE, C.-F. Factors affecting usability of 3D model learning in a virtual reality environment. *Interactive Learning Environments*, v. 30, n. 5, p. 848–861, 19 maio 2022. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10494820.2019.1691605>>.

HYEON, J. et al. Spatial template-based geometric complexity reduction method for photo-realistic modeling of large-scale indoor spaces. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 116, n. September, p. 105369, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105369>>.

IBGE. *IBGE | Cidades@ | Pará | História & Fotos*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/historico>>. Acesso em: 25 jun. 2023.

IBRAHIM, A.; AL-RABABAH, A. I.; BANI BAKER, Q. Integrating virtual reality technology into architecture education: the case of architectural history courses. *Open House International*, v. 46, n. 4, p. 498–509, 22 nov. 2021. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/OHI-12-2020-0190/full/html>>.

IPHAN. *Círio de Nazaré*. [s.l.: s.n.]

IPHAN. *DOSSIÊ IPHAN I – Círio de Nazaré*Rio de Janeiro, 2006b. .

JACKSON, B.; KEEFE, D. F. Lift-Off: Using Reference Imagery and Freehand Sketching to Create 3D Models in VR. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v. 22, n. 4, p. 1442–1451, 2016.

JACKSON, L. C. et al. Analysing digital educational games with the Games as Action, Games as Text framework. *Computers and Education*, v. 183, n. October 2021, p. 104500, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104500>>.

JACKSON, S. A.; MARSH, H. W. Development and validation of a scale to measure optimal experience: the flow state scale. v. 1, p. 17–35, 1996.

JUMAAN, I. A.; HASHIM, N. H.; AL-GHAZALI, B. M. The role of cognitive absorption in predicting

mobile internet users' continuance intention: An extension of the expectation-confirmation model. *Technology in Society*, v. 63, n. August, p. 101355, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101355>>.

KALAWSKY, R. S. VRUSE - A computerised diagnostic tool: For usability evaluation of virtual/synthetic environment systems. *Applied Ergonomics*, v. 30, n. 1, p. 11–25, 1999.

KAMM, C. P. et al. Feasibility and usability of a new home-based immersive virtual reality headset-based dexterity training in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, v. 71, n. October 2022, 2023.

KENNEDY, R. S. et al. Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, v. 3, n. 3, p. 203–220, 1993.

KESHAVARZ, B.; HECHT, H. Validating an efficient method to quantify motion sickness. *Human Factors*, v. 53, n. 4, p. 415–426, 2011.

KESSEL, D. Tesouro Aberto. *O Globo - Carro etc*, p. 1, 10 dez. 2008.

KESSEL, D. *Um Clipper do Ver-o-peso em 1957 | Laboratório Virtual – FAU ITEC UFPA*. Disponível em: <<https://fauufpa.org/2012/05/16/clipper-do-ver-o-peso-em-1957/>>. Acesso em: 24 jun. 2023.

KIEFERLE, J.; WOESSNER, U. Virtual Reality in Early Phases of Architectural Studies Experiments with first year students in immersive rear projection based. In: eCAADe 37 / SIGraDi 23, *Anais...2019*. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaadesigradi2019_399>.

KIM, H. et al. Clinical predictors of cybersickness in virtual reality (VR) among highly stressed people. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, p. 1–11, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41598-021-91573-w>>.

KIM, H. K. et al. Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Applied Ergonomics*, v. 69, n. March 2017, p. 66–73, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.12.016>>.

KIM, Y. S.; KESAVADAS, T.; PALEY, S. M. The virtual site museum: A multi-purpose, authoritative, and functional virtual heritage resource. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 15, n. 3, p. 245–261, 2006.

KLERK, R. De et al. Usability studies on building early stage architectural models in virtual reality. *Automation in Construction*, v. 3, n. March, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.009>>.

KOWALSKI, S. et al. Teaching architectural history through virtual reality. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, v. 18, n. 2, p. 197–202, 2020.

KOWALSKI, S.; SAMÓL, P.; HIRSCH, R. Virtual reality tools in teaching the conservation and history of Polish architecture. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, v. 18, n. 4, p. 399–404, 2020.

KRUEGER, M. W.; GIONFRIDDO, T.; HINRICHSSEN, K. VIDEOPLACE---an artificial reality. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '85*, n. April, p. 35–40, 1985. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=317456.317463>>.

KUO, E. W.; LEVIS, M. R. A New Roman World: Using Virtual Reality Technology as a Critical Teaching Tool. p. 1–33, 2002. Disponível em: <<http://access.library.miami.edu/login?url=https://www.proquest.com/reports/new-roman-world-using-virtual-reality-technology/docview/62197219/se->>

- 2?accountid=14585%0Ahttp://miami-primos.hosted.exlibrisgroup.com/openurl/01UOML/01UOML_SERVICES?genre=report&ati>.
- LANIER, J.; HEILBRUN, A. *A Protrait of the Young Visionary*. Disponível em: <<http://www.jaronlanier.com/vrint.html>>. Acesso em: 20 abr. 2018.
- LEAL, B. M. F. *PROPOSTAS PARA O ENSINO DOS CONTEÚDOS DE ARQUITETURA E URBANISMO ATRAVÉS DE FERRAMENTAS DIGITAIS*. 2018. n.º 5 UFRJ, 2018.
- LEE, E. A. L.; WONG, K. W. Learning with desktop virtual reality: Low spatial ability learners are more positively affected. *Computers and Education*, v. 79, p. 49–58, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2014.07.010>>.
- LEE, H. et al. Integration and Evaluation of an Immersive Virtual Platform. *IEEE Access*, v. 11, n. January, p. 1335–1347, 2023.
- LEMOS, C. A. C. O estudo da história na formação do arquiteto. *PosFAUUSP*, p. 50–58, 1996.
- LEONG, P. Role of social presence and cognitive absorption in online learning environments. *Distance Education*, v. 32, n. 1, p. 5–28, 2011.
- LOMBARD, M. et al. Measuring presence: A literature-based approach to the development of a standardized paper-and-pencil instrument. *Presence 2000: The Third International Workshop on Presence*, n. January, p. 13, 2000.
- LOURENÇO, D. F.; CARMONA, E. V.; DE MORAES LOPES, M. H. B. Translation and cross-cultural adaptation of the System Usability Scale to Brazilian Portuguese. *Aquichan*, v. 22, n. 2, 2022.
- MACHADO, L. dos S. *Conceitos Básicos Da Realidade Virtual*. 1995. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995. Disponível em: <http://www.di.ufpb.br/liliane/publicacoes/1995_rt.pdf>.
- MACHADO, S. C. Análise Sobre o Uso das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (Tdics) no Processo Educacional da Geração Internet. *Renote*, v. 14, n. 2, 2017. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/70645/40070>>.
- MACHOVER, C.; TICE, S. E. Virtual Reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, v. 4, n. 3, 1994. Disponível em: <<https://www.computer.org/csdl/mags/cg/1994/01/mcg1994010015.pdf>>.
- MAH, O. B. P. et al. Generating a virtual tour for the preservation of the (in)tangible cultural heritage of Tampines Chinese Temple in Singapore. *Journal of Cultural Heritage*, v. 39, p. 202–211, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.04.004>>.
- MAHMOOD, W. et al. Seamless variability management with the virtual platform. *Proceedings - International Conference on Software Engineering*, p. 1658–1670, 2021.
- MAKRANSKY, G.; LILLEHOLT, L.; AABY, A. Development and validation of the Multimodal Presence Scale for virtual reality environments: A confirmatory factor analysis and item response theory approach. *Computers in Human Behavior*, v. 72, p. 276–285, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2017.02.066>>.
- MAPES, D. P.; MOSHELL, J. M. A Two-Handed Interface for Object Manipulation in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 4, n. 4, p. 403–416, 1995.
- MARIA, M.; AZEVEDO, M. Maquetes no ensino de história da arquitetura: experiências de estágio de ensino na FAUUSP. 2005.
- MATEUS, D. et al. From Tecton and Technos: going back to the classical roots of Architecture using virtual reality. In: eCAADe, *Anais...*2015.

MICHAELIS ON-LINE. *Constructo*. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=constructo>>. Acesso em: 2 jul. 2023.

MIKROPOULOS, T. A.; NATSIS, A. Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999-2009). *Computers and Education*, v. 56, n. 3, p. 769–780, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2010.10.020>>.

MILOVANOVIC, J. et al. Virtual and Augmented Reality in Architectural Design and Education An Immersive Multimodal Platform to Support Architectural Pedagogy. In: CAADFutures, *Anais...2017*. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/cf2017_513.pdf%0A>.

MILOVANOVIC, J. et al. Representational Ecosystems in Architectural Design Studio Critiques - Do changes in the representational ecosystem affect tutors and students behaviors during design critiques? *Computing for a better tomorrow - Proceedings of the 36th eCAADe Conference*, v. 1, p. 351–360, 2018.

MINSKY, M. TELEPRESENCE. *Omni Magazine*, p. 76–98, 1980. Disponível em: <<https://web.media.mit.edu/~minsky/papers/Telepresence.html>>.

MIRVIS, P. H.; CSIKSZENTMIHALYI, M. Flow: The Psychology of Optimal Experience. *The Academy of Management Review*, v. 16, n. 3, p. 636, 1990.

MIX AND JAM. *Jammo Character*. Disponível em: <<https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/jammo-character-mix-and-jam-158456>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

MOLONEY, J. et al. Lines from the Past - Non-photorealistic immersive virtual environments for the historical interpretation of unbuilt architectural drawings. In: eCAADe 35, Evans 1995, *Anais...2017*. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2017_151>.

NASA. *Space Applications of Automation, Robotics and Machine Intelligence Systems (ARAMIS) - Phase II*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19840002515.pdf>>.

NATHANAEL, S. *Space Station Corridor 3*. Disponível em: <<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/90df0508-4770-4f5a-af10-d9d4ecce1a48/Space-Station-Corridor-3>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

NETO, F. L. *Círio de Nazaré reúne 2,5 milhões de fiéis em Belém (PA) - - Cotidiano - Folha*.

NIELSEN, J. *Usability Engineering*. [s.l.] Academic Press, 1993.

NOFAL, E. Virtual 3D Modelling of Built Heritage in History of Architecture Course: Digital Didactic Activities. In: International Conference of Cultural Heritage among the Present Challenges and Future Prospects, Minya, Egypt. *Anais... Minya, Egypt: 2013*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/258510256_Virtual_3D_Modeling_of_Built_Heritage_in_History_of_Architecture_Course_Digital_Didactic_Activities>.

OSTER, G. Auditory beats in the brain. *Scientific American*, v. 229, n. 4, p. 94–102, 1973.

OZACAR, K.; ORTAKCI, Y.; KUCUKKARA, Y. VRArcheducation: Redesigning Building Survey Process in Architectural Education Using Collaborative Virtual Reality. *SSRN Electronic Journal*, v. 113, p. 1–9, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cag.2023.04.008>>.

PAES, D.; ARANTES, E.; IRIZARRY, J. Immersive environment for improving the understanding of architectural 3D models: Comparing user spatial perception between immersive and traditional virtual reality systems. *Automation in Construction*, v. 84, n. August 2016, p. 292–303, 2017.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.016>>.

PIXXO 3D. *Tutorial: Turning A 2D Image into A House - Blender - YouTube* Youtube, , 2021. . Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=FVdoo0xaV0k>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

PRIMITIVE CG. *Pinterest Photo to 3D Scene in Blender - YouTube* Youtube, , 2022. . Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=sSr6XjubnL8&t=6s>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

PUGGIONI, M. et al. ScoolAR: An Educational Platform to Improve Students' Learning through Virtual Reality. *IEEE Access*, v. 9, p. 21059–21070, 2021. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9321386>>.

RAHIMIAN, F. P. et al. Mediating cognitive transformation with VR 3D sketching during conceptual architectural design process. *Archnet-IJAR*, v. 5, n. 1, p. 99–113, 2011.

RAHIMIAN, F. P.; IBRAHIM, R. Impacts of VR 3D sketching on novice designers' spatial cognition in collaborative conceptual architectural design. *Design Studies*, v. 32, n. 3, p. 255–291, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2010.10.003>>.

REBELO, F. et al. Using virtual reality to assess user experience. *Human Factors*, v. 54, n. 6, p. 964–982, 2012.

REBELO, I. B. *REALIDADE VIRTUAL APLICADA À ARQUITETURA E URBANISMO: REPRESENTAÇÃO, SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PROJETOS*. 1999. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 1999. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/80518>>.

REFSLAND, S. T. et al. Virtual Heritage: Breathing New Life into Our Ancient Past. *IEEE Multimedia*, v. 7, n. 2, p. 20–21, 2000.

RENNER, R. S.; VELICHKOVSKY, B. M.; HELMERT, J. R. The Perception of Egocentric Distances in Virtual Environments - A Review. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, v. 46, n. 2, p. 1–40, 2013. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/2543581.2543590>>.

RIOS, L. M.; GLANZMANN, J. H. *Aplicativo que manipula ondas cerebrais por meio de frequências binaurais*. Disponível em: <<http://periodicos.jf.ifsudestemg.edu.br/revistabsi/article/view/31>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

SAADÉ, R.; BAHLI, B. The impact of cognitive absorption on perceived usefulness and perceived ease of use in on-line learning: An extension of the technology acceptance model. *Information and Management*, v. 42, n. 2, p. 317–327, 2005.

SAMPAIO, A. Z. et al. 3D and VR models in Civil Engineering education: Construction, rehabilitation and maintenance. *Automation in Construction*, v. 19, n. 7, p. 819–828, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2010.05.006>>.

SAMUR, S. X. Uma Comparação entre Presença Cênica e Presença na Realidade Virtual. *Revista Brasileira de Estudos da Presença*, v. 2, n. 6, p. 242–265, 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbep/a/ssb7XgfDXSkqQBZNXh53twp/?format=pdf&lang=pt>>.

SARGES, M. de N. *Belém: riquezas produzindo a belle-époque (1870-1912)*. 2ª Edição ed. [s.l.: s.n.]

SASAKI, N. et al. Facetons: Face primitives with adaptive bounds for building 3D architectural models in virtual environment. In: Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST, *Anais...*The University of Tokyo, 2013.

SCHNABEL, M. A. et al. The First Virtual Environment Design Studio. In: 19th eCAADe Conference Proceedings, *Anais...*2001. Disponível em: <<http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/1d5a>>.

SCHNABEL, M. A. The Immersive Virtual Environment Design Studio. In: X, W.; J.J.H., T. (Ed.). *Collaborative Design in Virtual Environments. Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering*. [s.l.] Springer, Dordrecht, 2011. p. 177–191.

SCHULTHEIS, U. et al. Comparison of a two-handed interface to a wand interface and a mouse interface for fundamental 3D tasks. In: IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2012, 3DUI 2012 - Proceedings, *Anais...*2012.

SECCI, M. et al. Virtual reality in maritime archaeology legacy data for a virtual diving on the shipwreck of the Mercurio (1812). *Journal of Cultural Heritage*, v. 40, p. 169–176, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.05.002>>.

SHABAN, H. *Disney unveils a prototype virtual-reality jacket to simulate hugs, punches and a snake slithering across your body - The Washington Post*. Disponível em: <https://www.washingtonpost.com/news/the-switch/wp/2018/04/26/disney-unveils-a-prototype-virtual-reality-jacket-to-simulate-hugs-punches-and-a-snake-gas-powered-vibrations/?noredirect=on&utm_term=.2e9aac04a806>. Acesso em: 27 abr. 2018.

SHERIDAN, T. B. Musings on Telepresence and Virtual Presence. n. 1, p. 120–126, 1992. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/220090051_Musings_on_Telepresence_and_Virtual_Presence>.

SHERIDAN, T. B. Interaction, Imagination and Immersion Some Research Needs. p. 7, 2000. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/221314657_Interaction_imagination_and_immersion_some_research_needs>.

SHERIDAN, T. B. Recollections on Presence Beginnings, and Some Challenges for Augmented and Virtual Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 25, p. 75–77, 2016. Disponível em: <http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/PRES_a_00152> <http://dx.doi.org/10.1162/PRES_a_00152>.

SILCOCK, D. et al. Tangible and Intangible Digital Heritage Creating Virtual Environments to Engage Public Interpretation. In: Computing for a Better Tomorrow, 36th Annual Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe2018), Champion 2008, *Anais...*2018. Disponível em: <www.semanticscholar.org/paper/Tangible-and-Intangible-Digital-Heritage-Creating-Silcock-Rushton/0f1129b3d39859b352b548f84a42111de799e370%0Awww.immersivelegacies.org/publications%0Ahttp://www.ecaade2018.p.lodz.pl/>.

SILVA JUNIOR, S. N. et al. A 3D modeling methodology based on a concavity-aware geometric test to create 3D textured coarse models from concept art and orthographic projections. *Computers and Graphics (Pergamon)*, v. 76, p. 73–83, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0097849318301365>>.

SILVERMAN, R. J. The Stereoscope and Photographic Depiction in the 19th Century. *Technology and Culture*, v. 34, n. Biomedical and Behavioral Technology, p. 729–756, 1993. Disponível em: <<http://links.jstor.org/sici?sici=0040-165X%28199310%2934%3A4%3C729%3ATSAPDI%3E2.0.CO%3B2-O>>.

SLATER, M. et al. Immersion, presence, and performance in virtual environments: an experiment with tri-dimensional chess. *Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 1996), Hong Kong, China*, n. JUNE, p. 163–172, 1996.

- SLATER, M. Measuring Presence: A Response to the Witmer and Singer Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 8, n. 5, p. 560–565, 1999. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/105474699566477>>.
- SLATER, M. Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 364, n. 1535, p. 3549–3557, 2009.
- SLATER, M. et al. How we experience immersive virtual environments: The concept of presence and its measurement. *Anuario de Psicologia*, v. 40, n. 2, p. 193–210, 2009.
- SLATER, M.; USOH, C. M. An Experimental Exploration of Presence in Virtual Environments. *Department of Computer Science Technical Report No. 689*, p. 1–35, 1993a. Disponível em: <<http://publicationslist.org/data/melslater/ref-269/first paper.pdf>>.
- SLATER, M.; USOH, C. M. Presence in immersive virtual environments. *Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium*, n. c, p. 90–96, 1993b. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/380793/>>.
- SLATER, M.; USOH, M. Presence: Experiments in the Psychology of Virtual Environments. *135th AES Convention*, 1996. Disponível em: <http://www8.cs.umu.se/kurser/TDBD12/VT06/articles/precense-paper-teap_full96.pdf>.
- SLATER, M.; USOH, M.; STEED, A. Depth of Presence in Virtual Environments. p. 1–33, 1994.
- SLATER, M.; WILBUR, S. A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 6, n. 6, p. 603–616, 1997. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/pres.1997.6.6.603>>.
- SÖNMEZ, O.; SORGUÇ, A. G. Evaluating an Immersive Virtual Learning Environment for Learning How to Design in Human-Scale. In: ecaade2018, *Anais...2018*. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2018_289>.
- SOOAI, A. G. et al. Developing Vernacular Architecture Learning Tools using 3D Virtual Reality. *Unpublished*, n. August, p. 1–6, 2018.
- SOPHER, H.; KALAY, Y. E.; FISHER-GEWIRTZMAN, D. Why Immersive? - Using an Immersive Virtual Environment in Architectural Education. *The 35th eCAADe Conference*, v. 1, n. Figure 1, p. 313–322, 2017. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2017_215>.
- SORGUÇ, A. G. et al. The Role of VR as a New Game Changer in Computational Design Education. In: eCAADe 35, September, *Anais...2017*. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2017_142.pdf>.
- SOUZA, T. L. de. A 360° history of the city: the digital reconstruction of the Rio de Janeiro Panorama by Victor Meirelles and Henri Langerock from the end of the 19th century. p. 563–568, 2020.
- SPIELBERG, S. *Ready Player One* Warner Bros, , 2018. .
- SRIWORAPONG, S. et al. Investigating Students' Engagement, Enjoyment, and Sociability in Virtual Reality-Based Systems: A Comparative Usability Study of Spatial.io, Gather.town, and Zoom. In: [s.l: s.n.]p. 140–157.
- STANNEY, K. M. et al. Human performance in immersive virtual environments: Effects of exposure duration, user control, and scene complexity. *Human Performance*, v. 15, n. 4, p. 339–366, 2002.
- STEUER, J. Defining virtual reality: dimensions determining telepresence. *Communication in the age*

- of *virtual reality*, p. 33–56, 1993. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=207925>>.
- STONE, R. J. VIRTUAL STONEHENGE: Sunrise on the New. *PRESENÇA: Realidade Virtual e Aumentada*, v. 7, p. 317–319, 1998. Disponível em: <<https://www.mitpressjournals.org/doi/pdf/10.1162/105474698565749>>.
- SUNDAY, K. et al. *Usability Evaluation of Imikode Virtual Reality Game to Facilitate Learning of Object-Oriented Programming*. [s.l.] Springer Netherlands, 2022.
- SUTHERLAND, I. E. The ultimate display. *Proceedings of the Congress of the International Federation of Information Processing (IFIP)*, p. 506–508, 1965. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.136.3720>>.
- SUTHERLAND, I. E. A head-mounted three dimensional display. *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I on - AFIPS '68 (Fall, part I)*, p. 757, 1968. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1476589.1476686>>.
- TAVSAN, F.; SONMEZ, E. Search for a New Teaching Model in Interior Architecture Education; Abstraction through Body Language and Drawings in Furniture History Course. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 46, p. 2669–2674, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.05.544>>.
- TIANI, A. *O uso do computador no ensino de projeto de arquitetura: análise crítica da produção dos seminários Sigradi e Projetar*. 2007. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.proarq.fau.ufrj.br/teses-e-dissertacoes/564/o-uso-do-computador-no-ensino-de-projeto-de-arquitetura-analise-critica-da-producao-dos-seminarios-sigradi-e-projetar>>.
- UNESCO. *Círio de Nazaré (The Taper of Our Lady of Nazareth) in the city of Belém, Pará - intangible heritage - Culture Sector* -.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. *Ementa do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Minas Gerais*. Disponível em: <<https://ufmg.br/cursos/graduacao/2372/91203/61618>>. Acesso em: 9 fev. 2023.
- USOH, M. et al. Using presence questionnaires in reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 9, n. 5, p. 497–503, 2000.
- VILAS BOAS, N. ALÉM DA IMAGEM ESTÁTICA: A REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DIGITAL DA EXPERIÊNCIA ESPACIAL NA ARQUITETURA. In: SIGRADI 2005, *Anais...2005*. Disponível em: <https://cumincad.architexturez.net/system/files/pdf/sigradi2005_371.content.pdf>.
- VILAS BOAS, N. Máquina do tempo digital. *Ciência Hoje*, v. 347, 2018. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/artigo/maquina-do-tempo-digital/>>.
- VOSHART, D. *March Thesis: VR and Architecture*. Disponível em: <<http://www.voshart.com/filter/Virtual-Reality/MArch-THESIS-VR-AND-ARCHITECTURE>>. Acesso em: 30 dez. 2019.
- VR SKETCH. *Getting-Started-Quest*. Disponível em: <<https://vrsketch.eu/docs-getting-started-quest.html#quest1>>. Acesso em: 10 jul. 2023.
- WALMSLEY, A.; KERSTEN, T. P. Low-cost development of an interactive, immersive virtual reality experience of the historic city model stade 1620. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, v. 42, n. 2/W17, p. 405–411, 2019.
- WANG, T. Y. et al. Construction of a realistic scene in virtual turning based on a global illumination

model and chip simulation. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 129, n. 1–3, p. 524–528, 2002. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092401360200626X#section-cited-by>>.

WEBSTER, J.; HO, H. Audience Engagement in Multimedia Presentations. *Data Base for Advances in Information Systems*, v. 28, n. 2, p. 63–77, 1997.

WENDELL, A.; ALTIN, E. Learning Space - Incorporating spatial simulations in design history coursework. In: eCAADe 35, *Anais...*2017. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2017_183>.

WHEATSTONE, C. Contributions to the physiology of vision - Part the first - On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, p. 128, 1838. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1838.0019>>.

WILSON, E. L. *Pholadelphia Photographer*. [s.l.] Boston Public Library, 1869. v. 6

WITMER, B. G.; SINGER, M. J. Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 7, n. 3, p. 225–240, 1998. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/105474698565686>>.

WON, M. et al. Diverse approaches to learning with immersive Virtual Reality identified from a systematic review. *Computers & Education*, v. 195, p. 104701, 2023.

ZELTZER, D. Autonomy, Interaction, and Presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 1, n. 1, p. 127–132, 1992. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/pres.1992.1.1.127>>.

ZEVI, B. *Saber ver arquitetura*. 5ª Ed. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

ZHANG, S.; GODDARD, S. A software architecture and framework for Web-based distributed Decision Support Systems. *Decision Support Systems*, v. 43, n. 4, p. 1133–1150, 2007.

Anexo I – Artigo original

Título: *Architecture, Virtual Reality and User Experience*

Ano da publicado: 2022

Livro: *The Wiley Handbook of Human Computer Interaction set*

6

Architecture, Virtual Reality, and User Experience

Emerson Gomes,^{1,} Francisco Rebelo,^{1,2} Naylor Vilas Boas,³
Paulo Noriega^{1,2} and Elisângela Vilar^{1,2}*

1. Introduction

The possibility of visiting a place before building it, walking through it as though it is in the real world, interacting with the hands opening its doors, turning on the TV, or even stretching to get an object on the top shelf, sounds like a desirable to aid in architectural design, especially when the focus of design involves the user experience (UX). Until recently, the experimentation with architectural spaces before the actual construction was rare for either the client or professionals in this field. Hardly palpable it required the execution of at least part of the construction on the natural scale (or a big mockup), making it almost impossible to experience the place in advance. This undertook a great effort, time and significant costs (Klerk et al. 2019, Kieferle and Woessner 2019).

Visual contact and interaction with virtual environments on a 1:1 scale allows for observing and exploring an architectural project as if it were already built. In addition to this, the realization of natural human movements such as standing, walking and using ones hands to interact, results in a spatial perception currently without parallel when it comes to

¹ CIAUD, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Rua Sá Nogueira, 60, Pólo Universitário, Alto da Ajuda, 1349-055 Lisbon, Portugal.

² ITI/LARSyS, Universidade de Lisboa, Rua Sá Nogueira, 60, Pólo Universitário, Alto da Ajuda, 1349-055 Lisbon, Portugal.

³ Federal University of Rio de Janeiro.

Emails: fsrebelo@gmail.com; paulonoriega@gmail.com; ebpvilar@edu.ulisboa.pt

* Corresponding author: b.emersongomes@gmail.com

the tools commonly used by architects. Therefore, users can discover the place and get sensations similar as those when the environment was built.

In general, VR makes it possible to create an illusion in the human senses, especially in vision and hearing. Even with limitations like the absence of materiality, the application of the tool in architecture allows for filling a gap not yet filled by conventional methods. This can be demonstrated in terms of time and price. Allowing the user to explore a project in an interactive and full-scale way.

Recent technological advances and popularisation of VR in various fields of knowledge, especially in architecture, enhanced the use and dissemination of this technology in the teaching and professional performance of architects. This offered a tool that inserts the user into the project, providing the author and client experimentation of the place from the initial stages of ideation to the presentation of the finished product, approaching both the creative act and user experience.

The real scale visualization associated with the natural movements of the human body and the interactivity with the environment, contributes significantly to a fruitful application of VR in the field of construction when well explored. Therefore, the present work discusses the benefits of using immersive Virtual Environments (IVE) in the daily architectural field, focusing on the user's experience. The first part presents concepts whose knowledge is considered essential to improve the usability of VR in architecture. Subsequently, three different subareas are discussed to demonstrate some of the most frequent modes of application: (a) *architecture teaching*, (b) *creative process* and (c) *historical heritage*. The methodology used involves research in 67 scientific articles published between 2017 and 2019, as well as works before 2017 that analyze the history and concepts on the subject.

2. Methods

A literature review was performed on the Cumincad database (Cumulative Index of Computer Aided Architectural Design), which concentrates on computer-aided architecture projects published annually at the events ACADIA, ASCAAD, CAADFutures, CAADRIA, eCAADe e SiGRADi. We used the following keywords: virtual reality, learn, pedagogy and heritage, referring to the years 2017, 2018 and 2019. Also, data bands from the websites were consulted, sciencedirect.com, mitpressjournals.org/presence, and other constants in the bibliographic references of the texts read, as well as masters and doctorates associated to the subject. The works were selected according to the content, explicitly separating those related to VR, architecture and one of the three subareas (a) Learn, (b) Creative process (c) Historical heritage. The universe of 67 articles was

reached. The procedures adopted are close to those used by Tiani¹ (2007) and Milovanovic et al.² (2017).

Once segregated, the annotations began, and furthermore the mind maps that aided the interconnection between the subjects. Finally, following a logical order, a literature review of the topics below took place.

3. VR, Concepts and a Brief History

What is VR? How can it influence architecture?

Since Ivan Sutherland published his first paper on the subject in 1965, several researchers have developed in-depth works on the concepts and technologies regarding virtual environments (Blanchard et al. 1990). At the time, Sutherland (1965) proposed “The ultimate display”, describing: “[...] be a room within which the computer can control the existence of matter”. Later, Ivan proposed an equipment called the Head-Mounted Three-Dimensional Display (Sutherland 1968), a technology that has evolved considerably to the present day, known only as Head Mounted Display—HMD.

The term Virtual Reality was only defined in the 1980s by Jaron Lanier (Machover and Tice 1994), who at the time needed to differentiate between traditional simulations and the virtual worlds he was investigating (Machado 1995).

VR is often described as a computer-generated environment in the contemporary context, offering the viewer a compelling illusion of being in an artificial world. It allows the observer to move and interact naturally in a way that the user can temporarily or partially abstract from the real world (Paes et al. 2017). Rebelo et al. (2012) consider the concept of VR to be centered on the feeling of being present in one place, although the person is physically in another.

3.1 Related VR Basics Concepts

Before going through the chapters that demonstrate the practical application of VR in architecture, it is essential to know some basic concepts, which are: immersion, interaction, imagination, presence, as well as others equally important, but more focused on physical equipment such as stereoscopy and motion sickness. In the description of each concept, there is a highlight of its importance in the field of architecture.

¹ This master’s thesis discusses the use of the computer in the teaching of architecture. The methods include a bibliographic review of a set of articles present in the annals of the SIGRADI and PROJETAR seminars between 2000 and 2006.

² This paper provides research on AR and VR devices, focusing on architecture design and teaching, from a set of works selected in conferences and journals.

3.1.1 Stereoscopy

In 1838, Sir Charles Wheatstone related in his paper that when observing objects at a long distance, the optical axes of both eyes are almost parallel, therefore the image perceived in each eye was practically the same. This reading changes when the object approaches the observer, causing the intersection of the optical axes to occur. This results in the observation of a slightly different image for each eye, and the combination of both in the brain results in a notion of depth (Wheatstone 1838).

At that time, Wheatstone created an equipment to visualize this phenomenon, which worked through the use of a pair of geometric figures with slight differences of perspective (Silverman 1993). This same technique is used by today's virtual reality headsets which have two separate screens, aimed individually at each eye, providing similar two-dimensional images whose combination of both in the human mind results in depth perception.

For this reason, when using a current VR equipment, if a user observes an object coming towards him, he has a latent feeling that there will be a collision. That is, the notion of approximation is not only due to the increased size of the object on the screen, but is due to a combination of distinct but similar images in each eye and interpreted by the brain.

Bringing this into the field of architecture, it becomes relevant to understand that even when experiencing a simple building in VR, objects close to the viewer and moving toward him, like a door opening, tend to convey a high sense of depth, enhancing the idea of realism in the user's experience due to stereoscopy. Renner et al. (2013). Renner and Lin verify that stereo vision is most effective when observed objects are less than 3 m apart, a frequent occurrence on a virtual architectural tour.

Certain software allows the possibility to generate 360-degree images, offering the option of immersive observation (through an HMD). This type of experiment can provide great results for design presentations. Still, if the image is mono (single image/video) type, then the quality of the experience will be reduced as the effect of stereo perception is almost nullified. For this reason, it is recommended whenever possible, especially in project presentations, to opt for stereoscopic views.

3.1.2 Presence

Many authors consider Presence a very relevant element in Virtual Reality studies. Steuer (1993) proposes that the term Presence is the key to the definition of VR. Therefore, it is a state of consciousness, a psychological sense of being in one place even though physically the body is in another place (Slater et al. 1996). For Slater, higher levels of Presence means more chances for the user to act the same way that they would if they were in the real world.

In the architectural field, as in most areas, having high levels of presence is desirable. Therefore, the richness and graphic realism of the scenario, the fidelity to real-world proportions, and the visual effects added with good interactions, can significantly enhance the sense of presence. Also reducing external noise (sounds from outside the environment or objects that prevent free movement) contributes to a more exceptional experience.

Another factor related to architecture and the sense of presence is the participant's involvement with what he will experience. In this case, being the house in which the client will live, his imagination will undoubtedly be sharpened, and the presence will tend to be much higher than if the same person were viewing any building. In short, the person's subjective relationship with the project will reflect on the deeper levels of presence, thus enhancing the user experience.

3.1.3 Immersion

Immersion refers to the sensation of perceiving oneself inserted in a different place than one's actual physical space. It is different from the presence because it is not a psychological state, but the hardware's ability to isolate the user from the real world, allowing them to perceive themselves inserted into the virtual environment. Thus, for example, devices with broader viewing angles tend to offer more efficient immersions. Feeling immersed does not necessarily translate into high levels of presence (Slater and Wilbur 1997); still, equipment that offers a good immersion quality can increase the sense of presence in a given experience.

In architecture, high levels of presence are desirable, so equipment that offers a good immersion will significantly contribute to the quality of VR use, whether by professionals, students or customers.

3.1.4 Interaction

In VR, interactivity refers to the interference that the user can make within the virtual environment. This will result in one or more reactions of the environment. A user action—such as a simple head movement or body displacement within the virtual environment—translates into a form of interaction (Sheridan 2000).

In architecture and in many other areas, interaction is one of the main advantages of VR, especially when it comes to studying and presenting projects. Within a virtual environment, it is a feature that enables the user to use their own hands to light a lamp, open doors, exchange finishing materials, focus vision on a specific element (It can be an object, the structure of a building, plumbing, electrical, various), among many others.

Interaction requires the user to concentrate more intensely on the action taken. For example, stretching his arm to turn off a light switch. In doing so, he tends to focus on the movement of his hand until he reaches

the visualized button, which makes his attention more directed to the virtual world (forgetting briefly about the real world). In consequence, the levels of presence increase and the sense of realism also tend to be more significant.

3.1.5 Imagination

In Virtual Reality, this is the variable that helps the mind ignore the imperfections of digital scenes, increasing the perception of reality in the experience. Sheridan (2000) calls this suppression of disbelief. The author explains that this is important for the user to ignore available clues that denounce a VR experience as unrealistic. That is, imagination helps keeping the mind focused on the virtual experience.

Knowledge of this variable allows us to observe that there may be good perceptions of architectural space in VR even without focusing on realistic finishing (Paes et al. 2017, Dokonal and Medeiros 2019). The work of Moloney et al. (2017), for example, proposes non-photorealistic immersive systems for the historical interpretation of architectural drawings. Therefore, too much detail in a virtual model may not be necessary for an excellent experience to occur, depending on the goals wanted. On the contrary, the effort to develop ultra-realistic models without proper care can impair display fluidity by pushing hardware processing to the limit. In this sense, fluid and interactive experience in a virtual environment can be more exciting than a highly detailed slow environment and with little or no interactivity, even with low photorealism.

3.1.6 Motion Sickness

Understanding the concept of this term is essential to take some precautions to prevent specific experiences in VR to become unpleasant, causing dizziness, nausea and other symptoms.

The 1990s saw VR's first boom in the market, but the expectation created in the media was not met, as the technology was not adequately developed for the general public (Voshart 2015). Thus, many of the people who used the equipment in the 1990's reported dizziness, nausea or some malaise. This often occurs when the images seen through the eyes (through the headset) do not match the movement of the human body, causing a conflict of information in the brain, which can cause discomfort.

In architecture, knowing this concept is especially important because some design software allows one-click access to VR. However, if (a) the model is too detailed or (b) the computer hardware is not adequate, the experience may become unpleasant, causing motion sickness. In this case, it will be necessary to review a, b or both. Also, knowing about it can help guide users who have had some bad previous VR experience by explaining the reasons and encouraging them to try again.

3.2 VR in Architectural Education

Overall, the education sector considers information technology as an essential tool for learning development (Sampaio et al. 2010, Bashabsheh et al. 2019, Sorguç et al. 2017). The presence of Virtual Reality in architecture schools is not new. For example, in the 1990s the works of Donath and Regenbrecht (1996), and Alvarado and Maver (1999) already presented relevant cases. With technological advances, VR became popular again in the 2010s, primarily by HMDs. This brought in a new batch of work with fruitful results from the application of VR in various areas, including architecture. In this part of the work, experiments are reported to demonstrate the use of VR as a tool that improves the architectural teaching process.

For example, Angulo (2015) used the immersive environment with undergraduate and graduate students to understand the proposed design problem in class. Later, they would evaluate their project solutions. The task was to design the lobby of a building, considering, among other requirements, the emotions that the guests would feel on arrival and departure. It was also necessary to analyse the space from the affective point of view. This is particularly difficult primarily because of the degree of subjectivity. However, such analysis was facilitated through the use of VR, as students were able to take advantage of the full-scale reading, stereoscopic vision and natural movements of the human body-aiding in the perception of space and sensations that people tend to experience as they enter the lobby. In this same experience, the immersion took place during the proposal preparation process (before the final presentation). With this the students got immediate feedback, which triggered improvements in the projects. The results showed that most students considered the use of virtual reality as good or very good.

This argument converges with the work of Kieferle and Woessner (2019), whose students experienced VR in the first semester of architecture school. The authors performed three experiments. In one of them, the students could use the conventional tools combined with the immersive medium. They produced their work through hand drawings and cardboard mockups, leaving the use of VR only in the final phase (there was an introduction to Revit just two weeks before submission). As a result, the authors found that many of the students, when designing were using only physical drawings and models, and were not as aware or trained about what their design would look like at full scale. Therefore, those who used VR had a better understanding of the spatial appearance of their design.

Sönmez and Sorguç (2018) verified the influence of VR in the teaching of spatial relations with the human scale. In their research, the problem proposed to the students involved the design of a kitchen for a person in a wheelchair. Thus, the students used VR by sitting in a chair and stretching

their arms and hands to simulate the range of objects, thereby checking the project measurements.

The work described above is consistent with the idea that immersive tools can help bring back a better spatial and human-scale understanding (Dokonal and Medeiros 2019). For Dokonal and Medeiros, these concepts dispersed a little at the end of the last century due to the switch from analogue to digital tools but can now be rescued through virtual reality.

Teaching about “design knowledge” and space perception is among the more significant challenges in architecture courses (Sopher et al. 2017). Beyond these, other academic areas are also explored through VR to enhance conventional methods. Wendell and Altin (2017), for example, they investigated the gap in the teaching of architectural history, canonically taught through photography. They pointed out that students usually learn about a given building by looking at it only from the photographers’ point of view, leaving much of the building out of student perception. This reasoning corroborates the statements of Zevi (1996), who, in the 1940s, considered that the use of photographs is not enough to represent the architecture of a building adequately.

Wendell and Altin (2017) compare an architecture history class using virtual reality to the same class without VR, limited to photographs only. Using an HMD and programming the experiments through of game production software, the authors chose the Barcelona Pavilion to conduct the research. About 50 students were led around the building and used the controls (hardware) to record their photographs, creating a unique visual record of each learner. This activity proved to be efficient in providing the modification of the students’ passive posture to active involvement, where they began to act as space explorers, which translated into something particularly important in the pedagogical activity.

Also, aiming to evaluate the ability to obtain information using VR, comparing it with conventional methods, Bashabsheh et al. (2019) developed an immersive and interactive software where students learn about how the step-by-step of a building construction occurs. This included excavation, foundation, the assembly of hardware, among others, until reaching its completion. Undergraduates rarely learn this information in detail, mainly due to the costs and time required. Traditionally, the technical visits to buildings are indispensable, but they allow the observation of constructive details only at that time, often leaving a gap with other steps. The immersive tool proposed by the authors proved to be efficient in bringing students closer to the phases of the construction, often experienced step-by-step only after college.

In addition to the above, several other publications investigate the possible interference of VR in the field of architecture education, seeking to improve the user experience. The works of Milovanovic et al. (2018) and

Sopher et al. (2017), for example, discuss means and methods for assessing the effects of VR on architectural teaching. Asanowicz (2018) tried out Google Block with his students, asking them to model in the early stages. Bartosh and Anzalone (2019) described the Tilt Brush as an immersive design tool and suggested VR as a technology that can encourage students to project beyond the expected range. Other authors also share the idea that the immersive environment can serve as a stimulant in the learning process of the new generation (Sorguç et al. 2017, Bashabsheh et al. 2019).

The above research has shown examples and positive advances in methods of applying VR in the classroom. It is believed that shortly the massive use of these immersive media will occur in architecture courses, not to compete with current tools, but on the contrary, to add to them, just like the desktop computer did decades ago.

3.3 The Creative Process within VR

Perhaps the main benefits of Virtual Reality in architecture are full-scale visualization and interaction (Milovanovic et al. 2017). No other tool, digital or analogue, is presented as parallel. That said, among the range of possibilities offered by this tool, there is the realization of the creative act within VR itself. So, men begin to explore shapes on the scale of their choice, including natural. Therefore, the architect can virtually “shape” a building on a small table in front of him, and at any time, it can continue to modify the shape, change the scale and enter the building.

One of the first studies in this line was by Clark in 1976. Using an HMD 6DoF³ and control, users manipulated the parametric shapes of objects in the EV. It was still a scenario of wire figures, but even at that time, the author already classified as exciting the sensation of manipulating models in an immersive mode (Clark 1976).

It is more common to find in the market examples of the application of VR in architecture directed towards the presentation of finished works (Schnabel et al. 2001, Klerk et al. 2019), and although there is no consensus on the most efficient method or software to develop the architectural modelling within VR (Klerk et al. 2019), existing research from the 1990s to the recently points to the positive and promising results of their experiments, for example (Jackson and Keefe 2016, Rahimian and Ibrahim 2011, De Vries and Achten 2002, Schnabel 2011, Sasaki et al. 2013, Butterworth et al. 1992, Donath et al. 1999, Donath and Regenbrecht 1996,

³ 6DoF—Refers to a specification for VR equipment (usually HMD and controls). It means that it is possible to make six types of movement: the orientation (1. tilting up and down, 2. rotation to the left and right, 3. angulation to the left and right) and displacement in space (4. forward and backwards, 5. left and right, 6. up and down). Some devices offer only 3DoF, which means that only orientation movements are possible (Netto et al. 2002).

Hill II et al. 1999, Klerk et al. 2019). Even so, in general, the use of VR for this purpose can still be considered experimental.

Design within the VE gives architects a way of working that is distinct from those considered usual (Schnabel et al. 2001). In addition to making the creative act possible at the 1:1 scale, which is rare in conventional methods-, immersive modeling software typically requires not only hand movement (as in the case of mouse and keyboard) but also arm, head and even the whole body. That is, for an architect to model through the VE, he is likely to move as one who is “sculpting” the work (Schnabel et al. 2001). Optionally, he can choose to move up or down and observe specific angles on full-scale for modifying details. When designing using VR, it is not uncommon for a professional to decide to stand upright for more freedom of movement and to see what sensations the environments tend to elicit in users.

To exemplify the paragraph above, imagine the case of an architect designing the interior of a residential kitchen (Sönmez and Sorguç 2018). If during the decision-making process he uses VR for modelling, he is likely sometimes to stand up and extend his hands to check the range of the top shelves or open his arms to confirm that the distance between the countertops is satisfactory. Likewise—still within the VR—the designer can immediately use his hands to push or pull the volumes (cabinets, countertops, walls and others) changing the shape to the desired result, performing everything in 1:1 scale or in another of your choice.

The inclusion of VR in the creation process can allow several doubts to be verified almost immediately. In other words, after modelling the environment, the time between imagining human actions on the space and checking that this is adequate can be considerably reduced—because the designer himself will be able to move around the room and test the measures and other variables.

This reasoning corroborates with Schnabel’s work (Schnabel 2011), who suggests that design through VR may require less cognitive load during the design process. Rahimian and Ibrahim (2011) also portrayed this as they investigated the impact of using the 3D VR interface on the cognitions and actions of beginner designers. Their results showed that interaction in the immersive environment improved the cognitive activities of users. In another study, when comparing the creative act between VR and desktops, VR’s interactive options were faster and more intuitive (Jackson and Keefe 2016).

For the creative act using desktops, most CAD programs such as Revit, Autocad, Rhino, among others, although usually fast, require a considerable initial effort to produce architectural sketches and a steep learning curve (Klerk et al. 2019). For Rahimian and Ibrahim (2011) the use of software such as these can hinder cognitive activities during the conceptual process.

In the counterflow of these programs, others such as Trimble Sketchup and Autodesk Formit have a short learning curve and features simple modeling systems that make them best suited to the early creative stages. In this sense, Klerk proposed a software designed for immersive architectural modeling called Maketeer (VR), and compared it to Sketchup (desktop), the results showed that the usability for the early stages of ideation was better in the software of virtual reality (Klerk et al. 2019).

In addition to offering the option of interacting with elements within the virtual environment—and allowing 1:1 scale visualization—Virtual Reality can also enhance the perception of architectural space through 6Dof motion and stereoscopy. When a designer uses VR to sketch ideas, he can also use his body movements to simulate what an end-user would do in the real world. So, the user experience for a given project can still occur during the creative process, offering unmatched feedback on traditional tools, both in speed (Schultheis et al. 2012, Mapes and Moshell 1995) as for spatial understanding (Dokonal et al. 2016, Kieferle and Woessner 2019).

About the perception in the virtual environment, it is worth mentioning the work of Paes (2017) who investigated the reading of metric distances within the VR compared to a monitor screen verifying that the architectural dimensions were better perceived in immersive mode.

In the literature so far investigated, users' considerations about difficulties and suggestions for improvements to the use of VR in the context of the creative process are also present, which are essential to understand that there are positive and negative points. However, it is relevant to mention that the current state of technology development is feasible and with considerable potential to improve conventional architectural procedures, especially in the early stages of ideation. This reinforces the idea that, compared to a 2D screen, the manipulation of EVs during the design process makes professionals better understand (or visualize) the space (Jackson and Keefe 2016, Schnabel et al. 2001).

3.4 VR and Architectural Historical Heritage

Architecture is a type of art that, in general, and unlike music, paintings, and others, cannot be transported to places other than its original site, and this represents a barrier to the dissemination of buildings considered to be architectural heritage, especially those with historical value (Zevi 1996, Rebelo 1999). In this sense, VR has been widely explored to preserve and diffuse buildings and archaeological sites (Rebelo 1999).

In addition to the unavailability of displacement mentioned in the paragraph above, contemplation of architectural spaces requires more than a distance observation (as in the case of sculptures, for example)—it is necessary to enter the place and explore it walking in the most diverse directions. It is desirable that the visitors decide where they want to go

and observe the place through movement (Vilas Boas 2005). Therefore, the reading of the architectural space can be considered a result of the author's intentions (often an architect, but not always) added to the effective use of the inhabitants. Or at least, added to the way visitors decided to move, look and sometimes interact.

The most appropriate reading of buildings and architectural sites indeed occurs "live." As constructions are unavailable for displacement, the virtual reality may be a way of bringing the user closer to a site visit, and providing a deep sense of being present in the building (Witmer and Singer 1998), enabling a vibrant walk, with scenography, interactions, among others.

Moreover, there are several places in the world with restricted or almost uninhabitable access, that configure architectural spaces of public interest for visitation, whether for academic and cultural reasons or even just for human curiosity. In this sense, VR technology has established new ways to explore places with such peculiarities; that is, the virtual immersion tool has helped in solving one of the most important historical heritage problems: offer access that is both secure for visitors and non-destructive to the place (Refsland et al. 2000). An example of this is the work of Mah et al. (2019), who collected 360 photographs of a Chinese temple in Singapore to create a virtual tour, presenting users with various interactive information, including intangible data, such as the religious hierarchy of deities, ritual practices, and other information.

Several reasons bring VR closer to architectural preservation, like many works since the past decades, like Stones's (1998), who found in VR a way to safeguard and disseminate with high precision the immense body of information collected about Stonehenge. This offered people the ability to virtually move between rocks and observe different textures and three-dimensional features. Kim et al. (2006) recreated a VR-optimized three-dimensional version of the Northwest Palace of King Ashurnasirpal II, Iraq (883–859 BC) for education and public demonstration purposes.

More recently, Agirachman et al. (2017) refurbished a part of a famous street in the historical and colonial center of Bandung, Indonesia. The purpose of the authors was test the visual impact of future modifications to buildings along the road, as well as help determine site-specific regulations. In the same way, Gomes et al. (2018) proposed VR as a tool to analyze changes in the historical architecture of the city of Belém, Brazil. They virtually rebuilt a part of the historic city center as it was 100 years ago, the work intended to enable the public oversight agencies to perform analyses through virtual travels in time, allowing to observe and compare how the place once was, how it is today and how it may become if a specific architectural or urban intervention is approved.

Still in the line of virtual time travel, a research group from the Federal University of Rio de Janeiro⁴ developed a digital simulator to enable virtual visitation to Largo de São Francisco, in Rio de Janeiro—in the years 1870 and 2018—with the objective of reveal the city's transformations between times. The work also aims to allow the visualization of buildings designed for the city, but which were never built (Boas 2018).

Another branch of the market that has more recently associated VR and architectural heritage is the sale of immersive products in online game stores, which virtually rebuild past buildings or urban sites. Examples of this are the series that reconstruct areas of the ancient Roman Empire, allowing the public to take virtual trips in time to experience ancient Rome. Another example is the virtual architectural reconstructions of historic buildings that no longer exist, such as the Larkin Building, designed by architect Frank Lloyd Wright, built in 1904 and demolished in 1954. It is also worth mentioning the reproduction of architectural and archaeological spaces such as the tomb of the Egyptian queen Nefertari, which was scanned and optimized for free immersive virtual visitation.

3.5 Discussions

The work sought to discuss the benefits that Virtual Reality can offer to the professional and academic architectural field, especially those related to teaching, virtual modelling and historical heritage. In all three cases, positive examples were suggesting a fruitful relationship.

The researched references also mentioned some difficulties and needs for VR improvements for use in architecture. One of them is the isolation caused by the individual use of HMD, which can, for example, decrease the dialogue between students in a classroom (Kieferle and Woessner 2019). This may not be desirable when sometimes the goal is to encourage discussions between students. However, this can be minimized with the use of a TV or similar display that allows other participants to visualize, in real-time, what is being observed by the HMD user. Also, VR equipment for use in architecture requires computers with a good processing capacity, especially concerning video cards, which increases the cost of acquisition. That can make access difficult, especially for some students or recently graduated professionals.

The absence of materiality in VR is also a factor that deserves reflection. Because of this, the designer cannot perform some desirable checks on the architecture. For example, the act of pulling a chair with your hands and sitting down can be important to confirm ergonomics, but VR generally still does not offer this. It is certainly possible to plan a scene with a real chair that also exists in the virtual world, but cases like this require more

⁴ LAURD - Laboratory of Urban Analysis and Digital Representation/PROURB.

time and more profound knowledge of programming, which hardly fits into the dynamics of day-to-day architectural design.

The benefits that Virtual Reality can offer to the professional and academic architectural field are unique, providing advantages that today's tools cannot achieve. VR is not expected to replace today's productive means, but rather to integrate the range of standard tools available, similar to how the computer did in architectural firms and colleges decades ago.

Finally, Virtual Reality is a technology that is still under development, which needs evolving and should evolve in the coming years. However, the results found indicate that currently, the benefits it offers outweigh the imperfections and problems described, suggesting that its implementation is viable and positive.

Acknowledgment

Research funded by CIAUD Project UID/EAT/4008/2020, and ITI/LARSyS-FCT Plurianual fundings 2020–2023 (UIDB/50009/2020).

References

- Agirachman, F. A., Ozawa, Y., Indraprastha, A., Michihiko Shinozaki, M., Debora, I., Sitompul, M., Nuraeni, R., Chirstanti, A. R., Putra, A. C. and Zefanya, T. 2017. REIMAGINING BRAGA remodeling bandung's historical colonial streetscape in virtual reality. *CAADRIA*, 23–33. http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2017_147.pdf.
- Alvarado, R. G. and Maver, T. 1999. Virtual reality in architectural education: defining possibilities. In: *ACADIA Quarterly*, 18, 97–99. [http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?_id=4d95&sort=DEFAULT&search=virtual reality&hits=2442](http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?_id=4d95&sort=DEFAULT&search=virtual+reality&hits=2442).
- Angulo, A. 2015. Rediscovering virtual reality in the education of architectural design: the immersive simulation of spatial experiences. *Ambiances [on-Line]*, no. September: 0–23. <https://doi.org/10.4000/ambiances.594>.
- Asanowicz, A. 2018. Digital architectural composition in virtual space. In: *ECAADe* 36(2), 703–10. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2018_124.
- Bartosh, A. and Anzalone, P. 2019. Experimental applications of virtual reality in design education. pp. 458–67. In: *ACADIA 2019*. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/acadia19_458%0A.
- Bashabsheh, A. K., Alzoubi, H. H. and Ali, M. Z. 2019. The application of virtual reality technology in architectural pedagogy for building constructions. *Alexandria Engineering Journal* 58(2), 713–23. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.06.002>.
- Blanchard, C., Burgess, S., Harvill, Y., Lanier, J., Lasko, A., Oberman, M. and Teitel, M. 1990. Reality built for two: a virtual reality tool. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics* 24, 35–36. <https://doi.org/10.1145/91394.91409>.
- Boas, N. V. 2018. Máquina Do Tempo Digital. *Ciência Hoje* 347. <http://cienciahoje.org.br/artigo/maquina-do-tempo-digital/>.
- Butterworth, J., Davidson, A., Hench, S., Olano, T. M. and Hill, C. 1992. 3DM: A three dimensional modeler using a head-mounted display. pp. 135–138. In: *ACM Symposium on Interactive 3D Graphics*. <http://papers.cumincad.org/data/works/att/9b34.content.pdf>.
- Clark, J. H. 1976. Designing surfaces in 3-D. *Communications of the ACM* 19(8), 454–60. <https://doi.org/10.1145/360303.360329>.

- Dokonal, W., Knight, M. and Dengg, E. 2016. VR or not VR—no longer a question? *In: ECAADe*, 2, 573–79. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2016_033.
- Dokonal, W. and Medeiros, M. L. 2019. I want to ride my bicycle—I want to ride my bike using low cost interfaces for virtual reality. *In: ECAADe 37 / SIGraDi 23*, 465–72. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaadesigradi2019_309.
- Donath, D. and Regenbrecht, H. 1996. Using virtual reality aided design techniques for three—dimensional architectural sketching, pp. 201–12. *In: ACADIA Conference Proceedings*. <https://cumincad.architexturez.net/doc/oai-cumincadworks-id-656d>.
- Donath, D., Kruijff, E. and Regenbrecht, H. 1999. Spatial knowledge implications by using a virtual environment during design review, pp. 332–333. *In: ACADIA Conference Proceedings*. https://www.researchgate.net/publication/250025732_Spatial_knowledge_implications_by_using_a_Virtual_Environment_during_design_review.
- Gomes, E. B. de O., Machado, R. C. da S., Gomes, C. M. and Xavier, L. G. de S. 2018. The virtual reality as a tool to analyze modifications in the architecture of the city. Case study: the historical center of the city of Belém-Pará. pp. 860–65. *In: Blucher Design Proceedings*. São Paulo: Editora Blucher. <https://doi.org/10.5151/sigradi2018-1412>.
- Hill II, L. C., Chan, C.-S. and Cruz-Neira, C. 1999. Virtual architectural design tool (VADEt). pp. 231–241. *In: Proceedings of the 3rd International Immersive Projection Technology Workshop*. https://www.researchgate.net/publication/231513985_Virtual_Architectural_Design_Tool_VADEt.
- Jackson, B. and Keefe, D. F. 2016. Lift-off: using reference imagery and freehand sketching to create 3D models in VR. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 22(4), 1442–51. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2518099>.
- Kieferle, J. and Woessner, U. 2019. Virtual reality in early phases of architectural studies experiments with first year students in immersive rear projection based. *In: ECAADe 37/SIGraDi*, 23(3), 99–106. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaadesigradi2019_399.
- Kim, Y. S., Kesavadas, T. and Paley, S. M. 2006. The virtual site museum: a multi-purpose, authoritative, and functional virtual heritage resource. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 15(3), 245–61. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2005.11.020>.
- Klerk, R. D., André Mendes, A., Pires, D. and Pinto, J. 2019. Usability studies on building early stage architectural models in virtual reality. *Automation in Construction* 3(March). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.009>.
- Machado, L. dos S. 1995. Conceitos Básicos Da Realidade Virtual. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. http://www.di.ufpb.br/liliane/publicacoes/1995_rt.pdf.
- Machover, C. and Tice, S. E. 1994. Virtual reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 4(3). <https://doi.org/10.1109/38.250913>.
- Mah, O. B. P., Yan, Y., Tan, J. S. Y., Tan, Y. X., Tay, G. Q. Y., Chiam, D. J., Wang, Y. C., Dean, K. and Feng, C. C. 2019. Generating a virtual tour for the preservation of the (in)tangible cultural heritage of tampines Chinese temple in Singapore. *Journal of Cultural Heritage*, 39, 202–11. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.04.004>.
- Mapes, D. P. and Moshell, J. M. 1995. A two-handed interface for object manipulation in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 4(4), 403–16. <https://doi.org/10.1162/pres.1995.4.4.403>.
- Milovanovic, J., Moreau, G., Siret, D. and Miguët, F. 2017. Virtual and augmented reality in architectural design and education an immersive multimodal platform to support architectural pedagogy. pp. 513–32. *In: CAADFutures*. http://papers.cumincad.org/data/works/att/cf2017_513.pdf%0A.
- Milovanovic, J., Siret, D., Moreau, G. and Miguët, F. 2018. Representational ecosystems in architectural design studio critiques—do changes in the representational ecosystem affect tutors and students behaviors during design critiques? *Computing for a Better Tomorrow—Proceedings of the 36th ECAADe Conference*, 1, 351–60.

- Moloney, J., Twose, S., Jenner, R., Globa, A. and Wang, R. 2017. Lines from the past—non-photorealistic immersive virtual environments for the historical interpretation of unbuilt architectural drawings. In: *ECAADe*, 35(2), 711–21. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2017_151.
- Paes, D., Arantes, E. and Irizarry, J. 2017. Immersive environment for improving the understanding of architectural 3D models: comparing user spatial perception between immersive and traditional virtual reality systems. *Automation in Construction*, 84(August 2016), 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.016>.
- Rahimian, F. P. and Ibrahim, R. 2011. Impacts of VR 3D sketching on novice designers' spatial cognition in collaborative conceptual architectural design. *Design Studies*, 32(3), 255–91. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2010.10.003>.
- Rebello, F., Noriega, P., Duarte, E. and Soares, M. 2012. Using virtual reality to assess user experience. *Human Factors*, 54(6), 964–82. <https://doi.org/10.1177/0018720812465006>.
- Rebello, I. B. 1999. REALIDADE VIRTUAL APLICADA À ARQUITETURA E URBANISMO: REPRESENTAÇÃO, SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PROJETOS. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/80518>.
- Refsland, S. T., Ojika, T., Addison, A. C. and Stone, R. 2000. Virtual heritage: breathing new life into our ancient past. *IEEE Multimedia*, 7(2), 20–21. <https://doi.org/10.1109/MMUL.2000.848420>.
- Renner, R. S., Velichkovsky, B. M. and Helmert, J. R. 2013. The perception of egocentric distances in virtual environments—a review. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 46(2), 1–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1145/2543581.2543590>.
- Sampaio, A. Z., Ferreira, M. M., Rosário, D. P. and Martins, O. P. 2010. 3D and VR models in civil engineering education: construction, rehabilitation and maintenance. *Automation in Construction*, 19(7), 819–28. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.05.006>.
- Sasaki, N., Chen, H. T., Sakamoto, D. and Igarashi, T. 2013. Facetons: face primitives with adaptive bounds for building 3D architectural models in virtual environment. pp. 77–82. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST*. The University of Tokyo. <https://doi.org/10.1145/2503713.2503718>.
- Schnabel, M. A., Kvan, T., Kruijff, E. and Donath, D. 2001. The first virtual environment design studio. pp. 394–400. In: *19th ECAADe Conference Proceedings*. <http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/1d5a>.
- Schnabel, M. A. 2011. The immersive virtual environment design studio. pp. 177–91. In: Wang, X. and Tsai, J. J. H. (eds.). *Collaborative Design in Virtual Environments. Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0605-7_16.
- Schultheis, U., Jerald, J., Toledo, F., Yoganandan, A. and Mlyniec, P. 2012. Comparison of a two-handed interface to a wand interface and a mouse interface for fundamental 3D tasks. pp. 117–24. In: *IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2012, 3DUI 2012—Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/3DUI.2012.6184195>.
- Sheridan, T. B. 2000. Interaction, imagination and immersion some research needs. 7. <https://doi.org/10.1145/502390.502392>.
- Silverman, R. J. 1993. The stereoscope and photographic depiction in the 19th century. *Technology and Culture*, 34(Biomedical and Behavioral Technology), 729–56. <http://links.jstor.org/sici?sici=0040-165X%28199310%2934%3A4%3C729%3ATSAPDI%3E2.0.CO%3B2-O>.
- Slater, M., Linakis, V., Usoh, M. and Kooper, R. 1996. Immersion, presence, and performance in virtual environments: an experiment with tri-dimensional chess. *Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 1996)*, Hong Kong, China, no. JUNE, 163–72. <https://doi.org/10.1.1.34.6594>.

- Slater, M. and Wilbur, S. 1997. A framework for immersive virtual environments (FIVE): speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6), 603–16. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>.
- Sönmez, O. and Sorguç, A. G. 2018. Evaluating an immersive virtual learning environment for learning how to design in human-scale. In: *Ecaade2018*, 1, 371–78. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2018_289.
- Sopher, H., Kalay, Y. E. and Fisher-Gewirtzman, D. 2017. Why immersive?—using an immersive virtual environment in architectural education. *The 35th ECAADe Conference 1*(Figure 1), 313–22. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2017_215.
- Sorguç, A. G., Yemişcioğlu, M. K., Özgenel, C. F., Katipoğlu, M. O. and Rasulzade, R. 2017. The role of VR as a new game changer in computational design education. In: *ECAADe 35*(1), 401–8. http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2017_142.pdf.
- Steuer, J. 1993. Defining virtual reality: dimensions determining telepresence. *Communication in the Age of Virtual Reality*, 33–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x>.
- Stone, R. J. 1998. Virtual stonehenge: sunrise on the new. *PRESENÇA: Realidade Virtual e Aumentada*, 7, 317–19. <https://doi.org/10.1162/10547469856565749>.
- Sutherland, I. E. 1965. The ultimate display. *Proceedings of the Congress of the International Federation of Information Processing (IFIP)*, 506–8. <https://doi.org/10.1109/MC.2005.274>.
- Sutherland, I. E. 1968. A head-mounted three dimensional display. *Proceedings of the December 9–11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I on—AFIPS '68 (Fall, Part I)*, 757. <https://doi.org/10.1145/1476589.1476686>.
- Tiani, A. 2007. O Uso Do Computador No Ensino de Projeto de Arquitetura: Análise Crítica Da Produção Dos Seminários Sigradi e Projetar. Universidade Federal do Rio de Janeiro. <http://www.proarq.fau.ufrj.br/teses-e-dissertacoes/564/o-uso-do-computador-no-ensino-de-projeto-de-arquitetura-analise-critica-da-producao-dos-seminarios-sigradi-e-projetar>.
- Vilas Boas, N. 2005. ALÉM DA IMAGEM ESTÁTICA: A REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DIGITAL DA EXPERIÊNCIA ESPACIAL NA ARQUITETURA. pp. 371–76. In: *SIGRADI 2005*. https://cumincad.architexturez.net/system/files/pdf/sigradi2005_371.content.pdf.
- Voshart, D. 2015. March thesis: VR and architecture. <http://www.voshart.com/filter/Virtual-Reality/MARCH-THESIS-VR-AND-ARCHITECTURE>.
- Vries, B. De and Achten, H. H. 2002. DDDoolz: designing with modular masses. *Design Studies*, 23(6), 515–31. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(02\)00006-6](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(02)00006-6).
- Wendell, A. and Altin, E. 2017. Learning space—incorporating spatial simulations in design history coursework. In: *ECAADe*, 35(1), 261–66. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2017_183.
- Wheatstone, C. 1838. Contributions to the physiology of vision—part the first—on some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 128. <https://doi.org/https://doi.org/10.1098/rstl.1838.0019>.
- Wilson, E. L. 1869. *Pholadelphia Photographer. Benerman & Wilson*. Vol. 6. Boston Public Library. https://ia800207.us.archive.org/10/items/philadelphiaphot1869phil/philadelphiaphot1869phil_bw.pdf.
- Witmer, B. G. and Singer, M. J. 1998. Measuring presence in virtual environments: a presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 225–40. <https://doi.org/10.1162/105474698565686>.
- Zevi, B. 1996. *Saber Ver Arquitetura*. 5ª Ed. São Paulo: Martins Fontes.

Anexo II – Artigo original

Título: *Virtual Reality in the teaching of history of architecture and urbanism:
a literature review*

Ano da publicado: 2023

Local: *HCI International 2023.*



Virtual Reality in the Teaching of History of Architecture and Urbanism: A Literature Review

Emerson Gomes^{1,3}(✉), Francisco Rebelo^{1,2}, Naylor Vilas Boas³, Paulo Noriega^{1,2}, and Elisângela Vilar^{1,2}

¹ CIAUD, Research Centre for Architecture, Urbanism and Design, Lisbon School of Architecture, University of Lisbon, Lisbon, Portugal
b.emersongomes@gmail.com

² ITI/LARSys, University of Lisbon, Lisbon, Portugal

³ PROURB, Postgraduate Program in Urbanism of the Faculty of Architecture and Urbanism of the Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil

Abstract. Virtual reality has become popular recently, and many Colleges now have immersive labs. However, the application of this tool still needs to be widely consolidated, mainly in teaching theoretical subjects related to the field of design, such as the History of Architecture and Urbanism. In addition, only some publications still discuss the advantages of using VR on this theme. The objective of this research is to map the scientific articles published in the last 25 years related to the use of virtual reality in teaching the history of architecture and urbanism.

The scientific research sites ScienceDirect.com, CuminCad.org and GoogleScholar.com were chosen to perform data collection. The keywords “history of architecture”, “virtual reality” and “learning” were used in the advanced search of each of the three sites mentioned. Subsequently, a two-stage filtering was carried out, the first related to reading the titles and the second aimed at reading the abstracts. Finally, the works found were all classified according to their own methodology, as well as their main contributions were identified.

The main conclusion from this study is that, although VR is not yet consolidated in most architecture courses, especially in history teaching, the studies showed several benefits of applying the tool. However, the ways to do so still require further investigation, especially considering the emergence of new applications that are increasingly easy to use.

Keywords: history of architecture · Virtual reality · Learning

1 Introduction

1.1 Context

The discipline history of architecture and urbanism is considered fundamental in teaching the profession by many authors. It is present in the most diverse faculties focused on design and construction [1–4]. It seeks, among other things, to study and interpret the forms, purposes, and evolutions of the constructed spaces, considering the social, economic, technological, and cultural context of each epoch and place.

Conventionally, in the subject matter classes, it is common for teachers to use a wide variety of photos, maps, drawings, and in some cases, even physical maquettes to transmit to students the three-dimensional spatial content of the place to be taught [5, 6]. In a complementary way, whenever possible, some colleges add to the teaching methodology the realization of field trips so that students can have a more complete and efficient learning experience about a given space.

1.2 Justification

Although photographs, drawings and perspectives are of enormous help in learning, occasionally there is a gap in which students are led to learn about a given building or urban space, visualizing it only through the photos, leaving all the rest of the space, that is, the area not shown in the images, depending on the abstraction exercise of each student, which can vary considerably and not reflect what is actually built [5, 6].

For the above reasons, many architecture schools schedule field trips for their students, including them in their curriculum [7], so that, at least in certain subjects, knowledge can be understood in a more complete, face-to-face, and interactive way and, by analogy, more efficient and desirable. This method, however, is quite limited due to high financial costs, limitations of public access, and sanitary restrictions, among others [5, 8].

Furthermore, when it comes to disciplines such as the history of architecture and urbanism, depending on the space and time that one intends to investigate, the place may already have undergone drastic changes over decades, centuries, or even millennia. In cases where this happened, even field trips may need to be increased, limiting the transfer of knowledge [9].

Another variable that interests the topic in question is student engagement, especially nowadays when digital technologies are part of everyday life. Considering the ease of access to a smartphone, even within the classroom, more traditional teaching methods, for example, a long PowerPoint full of images and texts [10], maybe unattractive for those watching, resulting in the difficulty that many teachers have keeping students focused on the subject being taught.

For this reason, and often faced with the impossibility of carrying out a visit to the site (whether due to the high financial costs, sanitary reasons, or simply because it is inaccessible), many teachers saw in virtual reality a way of offering the student the experience of entering the place and observe it from the angles of your choice, walking and interacting in real scale, as if you were there, thus obtaining two great advantages that are usually present in field trips: 1) a more complete spatial perception due to the freedom of exploration and interaction, and 2) having the professor himself as a tour guide, being able to walk around the buildings and explain the details and elements he considers relevant.

In addition, contrary to what happens with works of art (which can be transported from one city to another), buildings are immovable, which results in a great limitation in the practice of architectural teaching or even in the dissemination of an architectural culture [11]. In this sense, VR has shown a high potential to change this paradigm [12], since given the due limits, it makes it possible for users, for example, students and teachers, to collectively enter (virtual) buildings and walk through them, allowing

interaction through avatars, which replicate human movements and reactions in real-time, as if everyone were there [2].

1.3 Research Problem

Although virtual reality has become popular in recent years and several colleges already have immersive laboratories, the practical application of VR in teaching the history of architecture and urbanism is not yet widely consolidated, as well as, so far, few publications discuss the advantages and disadvantages of using VR for the purpose discussed here.

In this sense, it is not uncommon for professors of predominantly theoretical disciplines, such as the history of architecture and urbanism, to encounter situations in which, during class, they need to make a considerable effort to keep students' attention [10]. Mainly in view of the ease of losing focus that today is amplified, for example, due to the banality of access to cell phones in classrooms. This problem can become even more emphatic if the teaching is of the remote type, when students often turn off their cameras and the teacher must teach the content just by looking at the computer screen, that is, without getting immediate feedback on how the message was transmitted.

Thus, with the popularization of virtual reality equipment in recent years and its potential use in teaching, it is not uncommon for professors of disciplines such as the history of architecture to be interested in the application of technology. But due to the frequent lack of familiarity with immersive environments and the low number of articles reporting teaching practices [13–15] makes implementation difficult. Thus, the doubts of architecture professors about the real benefits, the difficulties of use and the paths to be taken form, sometimes, an abyss between the intention of use and the effective practice.

In addition, the application of VR, whether in teaching history or other disciplines, needs to occur in a planned and structured way, so that the content is transmitted efficiently, enhancing the use of the tool. Applications without due care on the part of the teacher can bring negative results, even causing disinterest and even nausea in students [16].

For this reason, the present work carries out a literature review that aims to find scientific investigations that have applied immersive technology in teaching history of architecture and urbanism, seeking to bring to light the advantages, limitations, and relevant knowledge for its implementation in said classes.

2 Objectives

The general objective of this work is to map the scientific articles published in the last 25 years, related to the use of virtual reality in teaching the history of architecture and urbanism. This research encompasses works that portray different ways of using immersive environments in the didactics of the discipline in question. It is intended to list the methodologies used, the contributions, as well as the problems and limitations reported.

3 VR – Basic Concepts

Before analyzing the investigated works, it is considered relevant to clarify some concepts necessary to understand the application of VR in teaching architecture and urbanism. Several terms are frequently mentioned when discussing virtual reality, for example, presence, immersion, interaction, imagination, involvement, engagement, and incorporation, among others [17–19]. Although there is no current, we will adopt lines from authors frequently cited in scientific papers in this article. We will explore three specific expressions: presence, immersion, and virtual reality.

3.1 Presence

A consensus among many researchers is that ‘presence’ is the key to defining virtual reality [20]. In general terms, presence can be described as a psychological state in which the user feels and acts as if he were in a different place than he is physically [18, 21, 22].

In this sense, it is a sensation that can occur at different levels of depth, due to factors such as: the type of experiment; the quality of the equipment or even the psychological condition of the user. For example, if two people carry out the same experience in VR, but only the second is having serious personal problems, it is possible that this person will dedicate little focus to the experiment, and consequently will tend to feel the presence with less depth than the first.

Within this context, we can mention the example of a user who enters a virtual environment where he sees himself on the edge of a precipice. Even though he is fully aware that he is in a physical room (a college laboratory, for example), his reactions are like those of someone who moves under the imminent threat of falling, sometimes with a racing heart and even anxiety [23]. By reacting to the digital space as if it were there, the participant demonstrates heightened sensations of presence.

3.2 Immersion

There are several concepts on this topic, but similarly to the item above, a consensus among authors is that immersion should be distinct from presence [17, 18, 24]. In the context in question, the term is related to the illusion of perceiving yourself as inserted in the digital space, that is, to feel inside it. This is a variable in which the user can also have more or less deep levels, depending mainly on the type of hardware used [21]. For example, a person who, sitting in his chair, plays a video game through a common screen, may even feel psychologically very involved with the events, but he will hardly perceive himself within the game environment. A conventional computer screen tends to offer low levels of immersion, even if the experience offers high levels of involvement and interaction. On the other hand, if the game takes place on a relatively large display, of the wide (ultrawide) and curved type (reaching a viewing angle close to 180°), there will certainly be greater sensations of immersion than in the case of the simple conventional screen.

In this sense, the more advanced the hardware, such as the high resolution of the screen, wide viewing angle, real-time response to human movements, and good auditory

and tactile feedback, among others, the greater the user's perception of being immersed. For this reason, virtual reality is typically associated with high levels of immersion [23].

It should be noted that immersion and presence can be related, but high levels of immersion do not necessarily imply high levels of presence. For example, if an experience was performed with very advanced immersive technology, but the virtual environment needed to be more complete, the user probably felt immersed but hardly had high levels of presence. It is added that, for some authors, for example Brown [25] and Paes [26], if the virtual world was created through a computer, it can be considered a type of virtual reality. For this reason, it is not uncommon to come across the expression Immersive Virtual Reality – RVI, used when researchers want to ensure that the digital world they are referring to is, without a doubt, one that offers high immersive levels.

3.3 Virtual Reality

The first scientific publications on immersive equipment appeared in the 1960s, by Ivan Sutherland [27, 28], while the term virtual reality was coined in the 1980s by Jaron Lanier [29, 30] and evolved considerably until today. In a broad concept, virtual reality can be considered a way to experience presence. In it, one or more users immerse themselves in an environment produced by a computer, and in it they feel as if they were there, often reacting in a natural way, even knowing that physically they are in another place [19, 22].

4 Method

The present work is a literature review that investigates scientific research based on the use of the keywords “history of architecture”, “virtual reality” and “learning”, applied on the sites ScienceDirect.com, CuminCad.org and GoogleAcademico.com.

The articles were selected considering the insertion of all keywords in the advanced search of the three sites. Then, two filters were adopted: a) reading the titles and b) reading the abstracts. After these steps, the works that effectively discuss the immersive tool in on-screen teaching were segregated. The results culminate in the selection of 17 investigations dated from 1999 to 2023.

The first search site was ScienceDirect.com, which displays the Scopus database, one of the most relevant in scientific research. He listed 31 works and, after reading the titles and abstracts, resulted in the selection of 7 texts effectively linked to virtual reality and history of teaching architecture and urbanism.

The second site was CuminCad.org, a repository of scientific articles containing research published in six international conferences, distributed in five continents, and focused on research on computer-aided architecture. In the search engine, after filling in the keywords in the advanced search, 29 articles related to the topic were listed, and after reading the abstracts, 6 research remained highlighted.

The third and last site was Google Scholar, one of the most complete search engines for scientific research. The initial result was 1,210 works, a number considerably higher than that presented in the two previous sites. For this reason, it was decided to start

reading the titles according to the list presented by the search engine, separating the works that seemed most related to the theme in question.

Each displayed page contained a list of 10 jobs. As the pages advanced, the content of the investigations moved away from the theme, until in the twentieth sequence (after 200 works) it was decided to end the search because the listed titles no longer demonstrated any relationship with the desired content. So, discarding the titles already found in the two previous searches, therefore repeated, 31 articles remained, and finally, after reading the abstracts, 5 were related to this research.

Among the articles selected in the three search engines, we chose to include the contribution from the literature reviews. To this end, two criteria were considered: a) VR reviews applied to teaching (various areas) and b) VR reviews applied to architecture and urbanism teaching. In both cases, only revisions whose findings contained research related to the teaching of the history of architecture and urbanism were considered.

5 Results

The table below is a summary of the 17 selected investigations. These studies were classified by year and methodology, with the description of the contribution of each research to the theme discussed here being clarified in the last column. The four approached methodologies, their results, and their limitations are presented in the following topics (Table 1).

Most works used experimental methodology, often comparing, among other things, the performance of students who used VR with that of students who used conventional

Table 1. Classification of selected articles.

Author	Year	Methodology	Contribution
Won, Mihye [31]	2023	Literary review	It analysed 219 empirical studies concerning learning activity with immersive Virtual Reality, including virtual trips to historic cities
Gomes, Emerson [2]	2022	Workflow	It presents a collaborative virtual reality application workflow, where teachers and students interact simultaneously within an immersive environment, through avatars. The discipline history of architecture is used as an example

(continued)

Table 1. (continued)

Author	Year	Methodology	Contribution
Gomes, Emerson [32]	2022	Literary review	The article discusses the benefits of using immersive virtual environments in the routine of architects and students. Professional practice, teaching design and historic buildings are discussed here
Carrasco-Walburg [33]	2022	Experimental	The article evaluates the impact of VR on the observation task and development of spatial thinking. Teaching design and history of architecture used as a research discipline
Chan, Chiu-Shui [14]	2022	Experimental	Explores the use of virtual reality technologies in teaching architectural history
Gaafar, Ashraf A [34]	2021	Workflow	Proposes the use of a metaverse in the teaching of architectural history. A pharaonic tomb was used as an example
Puggioni, Mariapaola [16]	2021	VR tool prototype	It proposes ScoolAR, an easy-to-use didactic VR tool, including in disciplines such as the history of architecture
Ibrahim, Anwar [15]	2021	Experimental	Examines the effect of using VR technology on students' learning skills in the history discipline of architecture

(continued)

Table 1. (continued)

Author	Year	Methodology	Contribution
Kowalski, Szymon [35]	2020	Experimental	It examines the impact of virtual reality and remote education on the history and conservation of architecture. It concludes that VR can positively affect the transfer of knowledge in the discipline under the
Ge, Yanru [36]	2020	Experimental	Examines how immersive technologies can influence the development of students' technical skills and their logical reasoning skills
Ghida, Djamil Ben [10]	2020	Literary review	Describe the importance of using virtual reality and augmented reality tools in architecture teaching, especially architecture history
Gomes, Emerson [40]	2018	Workflow	The article presents a workflow for modelling historic urban spaces optimized for virtual reality applications
Wendell, Augustus [6]	2017	Experimental	The article comes on traditional teaching of architectural history, through photos and drawings, with the use of VR in the classroom. The results indicate that VR has proposed high gains in learning
Moloney, Jules [37]	2017	Immersive tool prototype	Propose two VR applications, based on Unity, intended for virtual immersion for architectural historical interpretations of buildings that have not been built

(continued)

Table 1. (continued)

Author	Year	Methodology	Contribution
Agirachman, Fauzan Alfi [38]	2017	Workflow	Features a workflow for historic city modelling, optimized for virtual reality applications
De Freitas, M Regina [39]	2013	Literary review	Conducts a survey of research activities in Virtual and Augmented Reality applied to architecture. 200 articles were researched, of which 23% deal with the history of architecture
Chan, Chiu-Shui [5]	1999	Experimental	The work proposed a digital library of buildings relevant to the teaching of architecture history, for use in virtual reality

(non-immersive) systems. In general, groups that had VR as a tool available in most surveys did better, especially in recent years.

Exceptions occasionally occurred, for example, with students who had some type of nausea and, in these cases, preferred conventional classes.

5.1 Experimental Works

The work by Chan et al. [5] discusses the importance of the on-screen tool from several points of view, including:

- a) the fact that field visits (made by teachers and students) often do not allow an accurate reading of the original building, either because time and lack of maintenance have caused severe wear, or because the site has already undergone several remodelling.
- b) when the space taught by the teacher is currently inaccessible, or where the value of the visit is too expensive.
- c) when changes throughout history are relevant for teaching, VR can be programmed to allow students to observe the passage of time.
- d) when geographically very distant buildings are relevant to be studied in sequence, for example, European baroque churches, immersive environments can allow you to easily jump from one place to another with a simple button.

In all cases, VR is proposed as a tool that can help broaden the student's perception of works often taught mainly through photos and PowerPoint drawings.

More than 20 years later Chan published again on the subject [14], now seeking to compare experiments that allow to better clarify the benefits of the use of VR in

the history teaching of architecture. The work was attended by 123 students. The Pantheon of Rome was the building chosen as the theme of the lesson. Among the results, 74% of the participants considered that VR helped to understand the architecture of the historic environment. It was also observed that more detailed virtual models with audio-guided scripts received almost 50% more votes in user opinion about the best learning experience.

Although not making a direct comparison between immersive and conventional classes (with little or no immersion), the authors asked the participants what their preference would be, and only 17% said that the lecture format was more efficient in learning. This number, despite not being as expressive, corroborates the idea that the application of VR in the classroom does not refer to a replacement of previous tools, but to a complementation [2, 33].

Another relevant work was that of Ibrahim et al. [15], which examined the effect of VR technology on students' learning skills in architectural history. They conducted two experiments, the first based on the BLOOM taxonomy and the second aimed at testing the participants' skills. In both, the group that used VR obtained better knowledge gains compared to traditional methods. Participants also reported a high level of satisfaction with technology use. Among the limitations pointed out, it is reported that the research focused only on a subject of a certain time and other works should investigate different contents. It is also described that the research did not consider the effects of VR in a group class, that is, the investigations took place with a single student at a time within the virtual environment.

Other experimental works also proved to be quite relevant in examining the benefits of VR in teaching architectural history, such as Wendell [6] and Kowalski [35], who identified gains related to the use of the tool.

5.2 Literary Review Works

An argument present in several of the investigated works was about the scarcity of publications on the subject in this article, which is why the present literature review is, so far, the first specifically intended for works that applied the RV in the field of education of history of the architecture and urbanism.

Three of the four selected reviews surveyed articles on the use of VR in teaching historical places [31, 32, 39]. Won et al. analysed 219 studies (in various areas of knowledge) on learning using immersive environments. They noted that resources about physical presence were investigated more than pedagogical resources. Among the findings, although numerous studies report positive results from the use of VR in teaching, it was not clear to the authors what specifically makes VR efficient for learning. It was also mentioned that the pedagogical characteristics related to engagement were rarely reported.

Among the limiting is the difficulties with the variations of the expressions used in the search, for example: "virtual reality", which sometimes writes "immersive virtual reality" or even "VR". Another example was "Head Mounted Display" which is sometimes called "headset" or "HMD". As a result, other relevant studies may have been left out of the literary review.

From Freitas and Ruschel [39] reviewed 200 articles extracted from the database of international congresses ACADIA, ECAADE, CAAD, CAADRIA, ASCAAD e SIGRADI. The authors classified 23% of the findings to be related to the history of architecture, and only 9% fell into architecture education. Both virtual reality and augmented reality were part of the study. In the end it was observed that the technologies discussed showed a shy incorporation in both architectural practice and teaching.

Gomes et al. [32], in turn analysed 67 articles extracted from the ScienceDirect and Cumincad database. Among the investigated works, there are research that reports the use of VR in the profession, teaching of architecture and in historical heritage. Part of the findings were incorporated into this research, for example Wendel and Altin [6].

Ghida's work [10], on the other hand, discusses the practice of architectural history teaching, pointing out with considerable wealth the difficulties of teachers in the discipline and the potential of RV to improve the learning system. The author reports his personal teaching experience on architecture history, including attempts to prevent the class from becoming a memorization course, or the display of a long sequence of images that eventually make the class boring. Among the obstacles described, it is mentioned that teaching about buildings through photos and drawings can fall to the loss of much geometric information. Then VR is pointed out to minimize problems, reducing the existing gap between teaching architecture using photos and drawings, and performing with the class a face-to-face visit to the works.

5.3 Workflows

With the exception of the few cases in which the teacher can gain access to some digitized models of historic buildings, for example on the free sites described by Gomes [2, p. 454], the other situations will require that a group of people get together to investigate and model the architectural or urban environments that will be explained in the classes, seeking to make them as faithful as possible to their existence in the past [9]. In this sense, research that indicates workflows on the subject can help to shorten such paths.

Of the four selected workflows, two specifically address historic building modelling and VR experimentation [38, 40]. The other two discuss flows aimed at the collaborative use of the immersive system in learning the history of architecture.

The first job [40] presents a path aimed at recreating the facades of historic buildings in urban areas. The researchers reconstructed a stretch of the city of Belém, Brazil, from around 100 years ago. A step-by-step guide includes, among others: a) crossing maps of the past with old photographs, b) guidelines on modelling facades, c) modelling characters, and d) exporting to Unity software, in which lighting treatments and basic VR programming were carried out. Finally, the package was exported in an executable format, making it possible to use it in virtual reality. Experiments were carried out with students and professors from the Architecture and Urbanism course at the University of Amazônia, who were able to experience the place in real scale, textured, shaded, and with small animations of the characters.

Among the limitations of this research, it is reported that there was not a considerable number of students who experienced the place in a controlled way. As a distant past was modelled, users had few references to locate themselves and make their own comparisons with the present day. Finally, as the focus of the research was the reconstruction and

experimentation of the historic space, despite having involved students and teachers, no practical application in teaching architectural history was reported.

The second workflow [38] depicts the reconstruction of a historic stretch of Braga, in Bandung, Indonesia. A research group worked on the modelling, carrying out field visits (for measurements and capturing photographs), using maps and georeferenced satellite images, among others. Next, a step-by-step guide on editing the photos, preparing the modelling, and applying textures was described. Subsequently, the data were exported to the Unity software where, similarly to the previous workflow, the lighting procedures and basic VR programming were carried out. Finally, after these steps, the product could be used in immersive mode. The results indicated that users were enthusiastic about the potential of the system, although part of the responses indicated the need for several improvements in modelling. No limitations were reported by the authors.

The two workflows below discuss methods of implementing collaborative virtual reality¹ in architecture teaching, especially in the case of the discipline history of architecture. In both research's, the idea of the metaverse seems to be at the heart of the author's intentions, but only in the second work are practical ways presented for the implementation of online systems using VR in architecture teaching.

Gaafar's work [34] refers to the teaching of architectural history in a college in Egypt. As an example of an environment to be virtually reconstructed, the author chose Pashedu's tomb, located in the West Bank. Like other modelling workflows, the research focused on how to develop virtual buildings step-by-step. Field visits, photograph treatment, modelling, exports to the Unity software and basic programming for VR are steps that are present in the article. The research makes references to the use of the metaverse in the teaching of the history of architecture, however, there is little clarification about which paths should be followed for this purpose.

Among the limitations, the research did not carry out controlled experiments using the virtual environment in the teaching context. Also, the work did not explore the use of the Metaverse in practice, it only recommended and indicated some resources for such.

Gomes et al. [2] proposed the work that comes closest to a workflow for the metaverse in the teaching at hand. The authors deal with the implementation of multiplayer virtual reality in architecture teaching, where several users can simultaneously access the same virtual environment, on a 1:1 scale, interacting with each other through avatars. The authors present a brief description of basic concepts related to virtual reality, followed by a step-by-step guide that explains how to collectively implement immersive technology in the classroom.

Among the reported problems, teleportation² is cited, which when used in groups, led some students to easily get lost from the rest of the class. The online chat (by audio) also presented considerable delays, making dialogue between those present in the same room difficult.

¹ When several users (for example, teachers and students) can simultaneously access the same virtual environment, and in it they can observe and communicate, interacting through avatars.

² Allows users to move quickly in long distances in the immersive virtual world.

5.4 Prototypes

Two studies were selected that developed prototypes related to the use of virtual reality in teaching. In the first, Moloney et al. [37] proposed the use of non-realistic immersive virtual environments intended for historical architectural interpretations. This idea seems to corroborate one of the findings by Slater [41], which suggests that environments with a high degree of realism are not necessary to achieve high levels of presence. In this sense, if we bring Moloney's proposal and Slater's discovery into the context of teaching architectural history, this union may indicate that teachers do not need to spend a lot of time with the realism of the environment.

Furthermore, the author also considers that even buildings that were never built have didactic relevance and can collaborate in enriching discussions in the classroom and in the students' repertoire.

Moloney's work, therefore, brings, among other things, two relevant contributions to the topic at hand, the first, as already mentioned, is the proposal that realistic finishes are not necessary for a good VR experience; and the second is that walking, in full scale, through projects that were never built can bring new interpretations about the evolution of cities and, consequently, new lessons or reflections for classes in the history of architecture and urbanism.

The second work listed was that of Puggioni et al. [16], who noted that the various software programs today aimed at creating new experiences in VR (for example, a history of architecture class) are usually not intended for non-programmers, often requiring the user to have a minimum level of knowledge about 3D modelling, programming, among others, something that is not common among architecture history professors. Faced with this bottleneck, the author proposed ScoolAR, a tool that allows the creation of VR/AR applications for users without programming skills.

The author described a fast workflow for using the platform, then presented an experiment with 50 students to test the effectiveness of the proposed program in teaching the history of architecture. The results indicated high satisfaction for the group that used the new system. In addition, the percentage of correct answers for those using the virtual platform was around 20% higher than for those using traditional methods. In the same line of Puggioni's article, there are other applications available on the market that also facilitate the creation of visits in virtual reality, provided that the buildings have already been modelled, as exemplified by Gomes et al. [2]. However, in all cases there is some kind of benefit and limitation, for example, the @VRSketch and @Arkio software offer visits in collaborative mode (multiplayer type) and real-scale modelling, in addition, their use is considerably facilitated, not requiring any knowledge in programming, but its graphics are not realistic. In another sense, renderers like Enscape and Twinmotion are realistic and easy to use, allowing access to VR with a single click, but the visit to the immersive space is only individual.

6 Limitations

As in Won's work [31], the various existing denominations for the keywords used may have masked some works that ended up being left out of the searched list. For example, the term virtual reality, in some cases it was observed as immersive environments or virtual environments.

In the same sense, in the Google Scholar search engine, despite observing that there were no longer works related to the search objectives from a given sequence of pages, it is possible that the engine has left some relevant research in the last pages. This possibility is small, but it exists, and if it occurred, such research might have been left out of the list.

7 Considerations

Most of the selected articles contain some argument that supports the idea that VR can efficiently integrate conventional techniques for teaching the history of architecture and urbanism. There are also recurrent claims that VR can considerably alleviate the impossibility of visiting the study sites, and is therefore a cheaper and safer way to carry out field trips, something highly desirable in the context of teaching the history of architecture, despite considering the due limitations as it is a virtual system.

In addition, it is understood that the objectives of mapping the scientific works that associate VR with the teaching in question were achieved, as well as the methods, contributions and problems/limitations presented were discussed.

It should be noted that only two works were dedicated to the use of VR cooperatively (multiplayer) and, in both cases, it is believed to be a promising teaching method.

The results reflect two relevant points; the first is that almost all the findings suggest a positive or very positive relationship with implementing virtual reality in the teaching purposes discussed here. Second is verifying a reasonable scarcity of scientific works aimed directly at, for that matter.

Finally, although VR is not yet consolidated in most architecture courses, especially in history teaching, the studies showed several benefits of applying the tool. However, the ways to do so still require further investigation, especially considering the emergence of new applications that are increasingly easy to use.

Acknowledgments. The authors would like to acknowledge the Portuguese National funds finance this work through FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., under the Strategic Project with the references UIDB/04008/2020 and UIDP/04008/2020 and ITI-LARSyS FCT Pluriannual fundings 2020–2023 (UIDB/50009/2020).

References

1. Brandão, C.A.L.: Porque estudar história da arquitetura? (2012). <https://doi.org/10.11606/issn.2317-2762.v19i32p26-36>

2. de Gomes, E.B.O., Rebelo, F., Vilas Boas, N., Noriega, P., Vilar, E.: A workflow for multi-user VR application within the physical classrooms of architecture and urbanism courses. *Ergon. Des.* **47** (2022). <https://doi.org/10.54941/ahfe1001969>
3. Hein, C., van Dooren, E.: Teaching history for design at TU Delft: exploring types of student learning and perceived relevance of history for the architecture profession. *Int. J. Technol. Des. Educ.* **30**(5), 849–865 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10798-019-09533-5>
4. Nofal, E.: Virtual 3D modelling of built heritage in history of architecture course: digital didactic activities. In: *International Conference of Cultural Heritage among the Present Challenges and Future Prospects* (2013). https://www.researchgate.net/publication/258510256_Virtual_3D_Modeling_of_Built_Heritage_in_History_of_Architecture_Course_Digital_Didactic_Activities
5. Chan, C.-S., Maves, J., Cruz-Neira, C.: An electronic library for teaching architectural history. In: *Proceedings of the 4th Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)*, pp. 335–344 (1999). <https://doi.org/10.52842/conf.caadria.1999.335>
6. Wendell, A., Altin, E.: Learning space – incorporating spatial simulations in design history coursework. In: *eCAADe 35*, vol. 1, pp. 261–266 (2017)
7. Universidade Federal de Minas Gerais. Ementa do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Minas Gerais (2023). <https://ufmg.br/cursos/graduacao/2372/91203/61618>. Accessed 09 Feb 2023
8. De Farias, T.C.: *As viagens de estudo como prática educativa no curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo* (2013)
9. de Gomes, E.B.O., Araujo, T.S.L., Ferraz, A.S.P., Aflalo, A.-B.B.: Mapa de confiabilidade: um método quantitativo para análise do grau de confiança nas reconstruções digitais de patrimônios históricos demolidos ou fortemente modificados. *Gestão Tecnologia de Projetos* **17**(1), 219–237 (2021). <https://doi.org/10.11606/gtp.v17i1.183924>
10. Ben Ghida, D.: Augmented reality and virtual reality: a 360° immersion into western history of architecture. *Int. J. Emerg. Trends Eng. Res.* **8**(9), 6051–6055 (2020). <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/187892020>
11. Zevi, B.: *Saber ver arquitetura*, 5th edn. Martins Fontes, São Paulo (1996)
12. Esteves, J.C., Falcowski, L.A.N.: gestão do processo de projetos em universidades públicas: estudos de caso. *Gestão Tecnologia de Projetos* **8**(2), 67 (2013). <https://doi.org/10.11606/gtp.v8i2.80950>
13. Leal, B.M.F.: *Propostas para o ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo através de ferramentas digitais*. UFRJ (2018). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27891.22564>
14. Chan, C.-S., Bogdanovic, J., Kalivarapu, V.: Applying immersive virtual reality for remote teaching architectural history. *Educ. Inf. Technol.* **27**(3), 4365–4397 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10786-8>
15. Ibrahim, A., Al-Rababah, A.I., Baker, Q.B.: Integrating virtual reality technology into architecture education: the case of architectural history courses. *Open House Int.* **46**(4), 498–509 (2021). <https://doi.org/10.1108/OHI-12-2020-0190>
16. Puggioni, M., Frontoni, E., Paolanti, M., Pierdicca, R.: SchoolAR: an educational platform to improve students' learning through virtual reality. *IEEE Access* **9**, 21059–21070 (2021). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3051275>
17. Murphy, D., Skarbez, R.: What do we mean when we say “presence”? *Presence Virtual Augment. Reality* **29**, 171–190 (2022). https://doi.org/10.1162/pres_a_00360
18. Witmer, B.G., Singer, M.J.: Measuring presence in virtual environments: a presence questionnaire. *Presence Teleoper. Virtual Environ.* **7**(3), 225–240 (1998). <https://doi.org/10.1162/105474698565686>
19. Rebelo, F., Noriega, P., Duarte, E., Soares, M.: Using virtual reality to assess user experience. *Hum. Fact.* **54**(6), 964–982 (2012). <https://doi.org/10.1177/0018720812465006>

20. Steuer, J.: Defining virtual reality: dimensions determining telepresence. *J. Commun.* **42**(4), 73–93 (1992). <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x>
21. Slater, M., Linakis, V., Usoh, M., Kooper, R.: Immersion, presence, and performance in virtual environments: an experiment with tri-dimensional chess. In: Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 1996), Hong Kong, China, pp. 163–172 (1996). 10.1.1.34.6594
22. Slater, M.: Presence, Virtual Characters and Immersion (2013)
23. Slater, M.: Immersion and the illusion of presence in virtual reality. *Br. J. Psychol.* **109**(3), 431–433 (2018). <https://doi.org/10.1111/bjop.12305>
24. Bystrom, K.-E., Barfield, W., Hendrix, C.: A conceptual model of the sense of presence in virtual environments. *Presence Teleoper. Virtual Environ.* **8**(2), 241–244 (1999). <https://doi.org/10.1162/105474699566107>
25. Brown, E., Cairns, P.: A grounded investigation of game immersion. In: Conference on Human Factors in Computing Systems – Proceedings, pp. 1297–1300 (2004). <https://doi.org/10.1145/985921.986048>
26. Paes, D., Arantes, E., Irizarry, J.: Immersive environment for improving the understanding of architectural 3D models: comparing user spatial perception between immersive and traditional virtual reality systems. *Autom. Construct.* **84**, 292–303 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.016>
27. Sutherland, I.E.: A head-mounted three dimensional display. In: Proceedings of the December 9–11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I on – AFIPS 1968 (Fall, Part I), p. 757 (1968). <https://doi.org/10.1145/1476589.1476686>
28. Sutherland, I.E.: The ultimate display. In: Proceedings of the Congress of the International Federation of Information Processing (IFIP), pp. 506–508 (1965). <https://doi.org/10.1109/MC.2005.274>
29. Machover, C., Tice, S.E.: Virtual reality. *IEEE Comput. Graph. Appl.* **4**(3) (1994). <https://doi.org/10.1109/38.250913>
30. Lanier, J., Heilbrun, A.: A Portrait of the Young Visionary (1988). <http://www.jaronlanier.com/vrint.html>. Accessed 20 Apr 2018
31. Won, M., et al.: Diverse approaches to learning with immersive virtual reality identified from a systematic review. *Comput. Educ.* **195**, 104701 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104701>
32. de Gomes, E.B.O., et al.: Architecture, virtual reality, and user experience. In: Vilar, E., Filgueiras, E., Rebelo, F. (eds.) *The Wiley Handbook of Human Computer Interaction Set*, 1st ed., vol. 1, pp. 191–206 (2022). <https://doi.org/10.1002/9781118976005.ch10>
33. Carrasco-Walburg, C., Valenzuela-Astudillo, E., Maino-Ansaldo, S., Correa-Díaz, M., Zapata-Torres, D.: Experiential Teaching-Learning Tools: Critical Study of Representational Media and Immersion in Architecture, pp. 475–488 (2022). <https://doi.org/10.5151/sigradi2021-359>
34. Gaafar, A.A.: Use of Fully Immersive Virtual Reality Techniques to Generate Scale 1:1 Interactive Models of Pharaonic Tombs, vol. 6, pp. 66–86 (2021)
35. Kowalski, S., Samól, P., Hirsch, R.: Virtual reality tools in teaching the conservation and history of Polish architecture. *World Trans. Eng. Technol. Educ.* **18**(4), 399–404 (2020)
36. Ge, Y.: Teaching research on ‘experience’ architecture history with VR technology. *Front. High. Educ.* **1**(1), 5–9 (2020). <https://doi.org/10.36012/fhe.v1i1.569>
37. Moloney, J., Twose, S., Jenner, R., Globa, A., Wang, R.: Lines from the past – non-photorealistic immersive virtual environments for the historical interpretation of unbuilt architectural drawings. In: eCAADe 35, vol. 2, Evans 1995, pp. 711–721 (2017)
38. Agirachman, F.A., et al.: REIMAGINING BRAGA remodeling Bandung’s historical colonial streetscape in virtual reality. In: CAADRIA, pp. 23–33 (2017)

39. De Freitas, M.R., Ruschel, R.C.: What is happening to virtual and augmented reality applied to architecture? In: Open Systems – Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2013, pp. 407–416 (2013)
40. de Gomes, E.B.O., da Machado, R.C.S., Gomes, C.M., de Xavier, L.G.S.: The Virtual Reality as a tool to analyze modifications in the architecture of the city. Case study: the historical center of the city of Belém-Pará. In: Blucher Design Proceedings, pp. 860–865 (2018). <https://doi.org/10.5151/sigradi2018-1412>
41. Slater, M., Lotto, B., Arnold, M.M., Sanchez-Vives, M.V.: How we experience immersive virtual environments: the concept of presence and its measurement. *Anuario de Psicologia* **40**(2), 193–210 (2009)

Anexo III – Roteiro de entrevistas semiestruturadas

Nome do(a) entrevistado (a):

Data:

Entrevistador: Você é ou já foi professor(a) de História da Arquitetura? Se sim, há quanto tempo?

Entrevistado(a):

Entrevistador: Mencione pelo menos uma dificuldade relevante que você identifica ao ensinar a disciplina de História da Arquitetura nos dias de hoje?

Entrevistado(a):

Entrevistador: Se pudéssemos usar realidade virtual em aulas de história da arquitetura para visitar locais, quais desafios você acha que essa tecnologia ajudaria a superar?

Entrevistado(a):

Entrevistador: Vou mencionar alguns recursos possíveis de serem implantados, peço que você manifeste sua opinião a respeito, especialmente no âmbito do ensino de história da arquitetura

Entrevistado(a):

Entrevistador: Como você avalia as diferentes formas de navegação no cenário virtual, por exemplo, poder se teletransportar e voar, juntamente com os alunos?

Entrevistado(a):

Entrevistador: A interação por meio de avatares em realidade virtual entre professores e alunos pode melhorar a qualidade de uma aula no tema em pauta? Você tem sugestões para aprimorar essa interação?

Entrevistado(a):

Entrevistador: Você acredita que recursos como a) viagens virtuais no tempo, b) banners informativos inseridos no cenário e c) visualizadores de imagens (fotos, desenhos e outros), são itens que podem ajudar no ensino de história da arquitetura?

Entrevistado(a):

Entrevistador: Recursos como a) som ambiente (incluindo narrativas) e b) câmera fotográfica, podem ser relevantes para uma aula imersiva de história da arquitetura?

Entrevistado(a):

Entrevistador: Como as ferramentas de interação como a garra (pegar e soltar com as mãos), a caneta 3D/borracha, a função de corte e a troca entre escalas, ajudam na exploração e compreensão do ambiente virtual?

Entrevistado(a):

Entrevistador: O uso de um quadro de rascunho, trena, nível, prumo e a capacidade de redimensionar objetos dentro do ambiente virtual, auxiliam como ferramenta de ensino da disciplina em pauta?

Entrevistado(a):

Entrevistador: Ferramentas como modelagem em tempo real e modelagem paramétrica urbana são relevantes para o ensino de história da arquitetura? Por quê?

Entrevistado(a):

Entrevistador: Você considera o acabamento realístico fundamental? Por quê?

Entrevistado(a):

Entrevistador: Diante do contexto tratado, você teria alguma sugestão a fazer?

Entrevistado(a):

Anexo IV – Termo de consentimento

Experimento em Realidade Virtual Metaverso na história da arquitetura

Eu, _____ [nome completo do participante], declaro que li e compreendi todas as informações fornecidas a seguir sobre o experimento em realidade virtual no qual irei participar. Concordo em participar voluntariamente deste experimento e compreendo que tenho o direito de desistir a qualquer momento, sem que isso resulte em qualquer prejuízo para mim.

Descrição do experimento: consiste em uma experiência em realidade virtual na qual o participante será exposto a diferentes estímulos visuais e sonoros.

Riscos: O experimento em realidade virtual pode causar enjoo ou mal-estar em pessoas que sofrem de doenças no labirinto ou tenham sensibilidade a elevados brilhos coloridos. Além disso, mulheres grávidas não devem participar deste experimento. Se eu sentir algum desconforto durante o experimento, informarei imediatamente o pesquisador responsável.

Benefícios: Não há benefícios diretos para o participante. No entanto, este experimento pode contribuir para o avanço da ciência e do conhecimento.

Confidencialidade: Todas as informações coletadas durante o experimento serão confidenciais e serão utilizadas somente para fins científicos. Nenhum dado será analisado individualmente, todas as informações coletadas destinam-se às análises coletivas.

Em caso de dúvidas ou preocupações sobre o experimento, posso entrar em contato com o pesquisador responsável, Prof. Emerson Gomes, pelo telefone (91) 98127-9829 ou pelo e-mail b.emersongomes@gmail.com.

Eu, _____ [nome completo do participante], declaro que li e compreendi todas as informações fornecidas acima e concordo em participar voluntariamente deste experimento.

Assinatura do participante: _____

Data: _____

Anexo V – Tutorial de Instalação

Guia para colocar o MetaQuest 2 em modo desenvolvedor e instalar o arquivo APK da aula

Aluno de doutoramento:
Emerson Bruno de Oliveira Gomes

Orientadores:
Prof. Francisco Rebelo – Uisboa
Prof. Naylor Vilas Boas – UFRJ

Belém
Maio de 2023

1. Introdução:

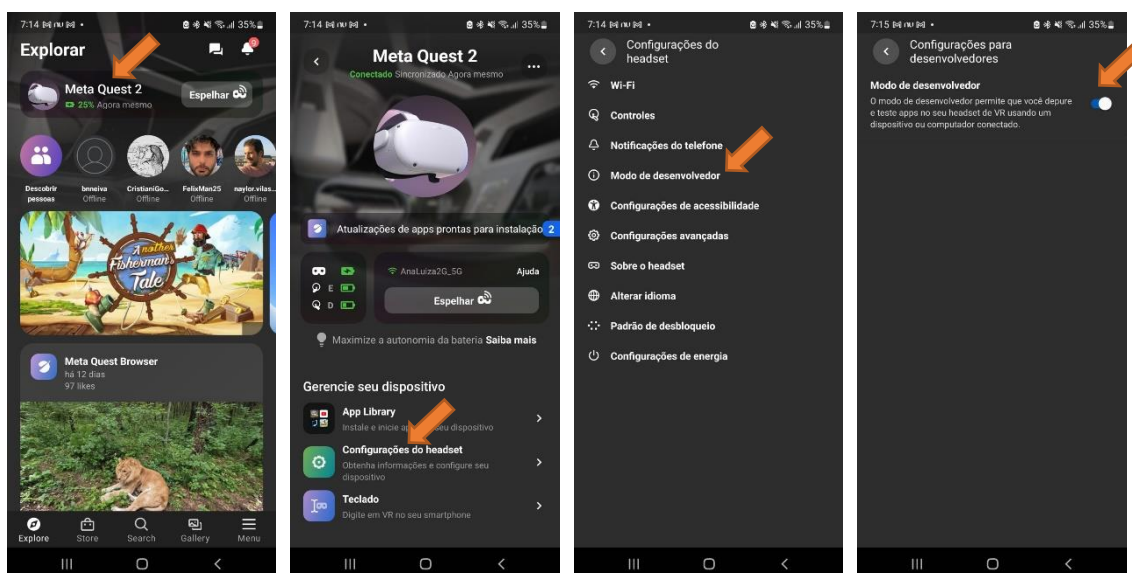
Este documento tem como objetivo fornecer orientações aos usuários sobre como instalar o aplicativo de aula imersiva nos dispositivos de realidade virtual. Neste caso, será abordado o MetaQuest 2, um equipamento que oferece experiências imersivas por meio de um capacete montado na cabeça e dois controles, um para cada mão, sem a necessidade de conexão com um computador.

Embora a loja oficial da Meta seja o local padrão para instalar aplicativos, é possível também criar e instalar programas personalizados para atender a necessidades específicas. No presente caso, foi gerado um arquivo com extensão APK, que deverá ser instalado no dispositivo para possibilitar o uso da aplicação.

2. Passos para a instalação:

Para começar, é preciso seguir alguns passos. Primeiramente, habilite o dispositivo para aceitar aplicativos externos à loja da Meta, identificando-se como desenvolvedor. Em seguida, utilize um programa específico para transferir a aplicação. Neste caso, recomenda-se o software SideQuest, conforme os passos descritos a seguir:

Passo 1: Informar que a sua conta é de desenvolvedor



Abra o aplicativo MetaQuest no seu celular, o mesmo utilizado para configurar seus óculos no primeiro uso.

Em seguida clique no botão indicado na seta laranja para acessar os itens relacionados ao headset

Clique no botão de configurações do headset

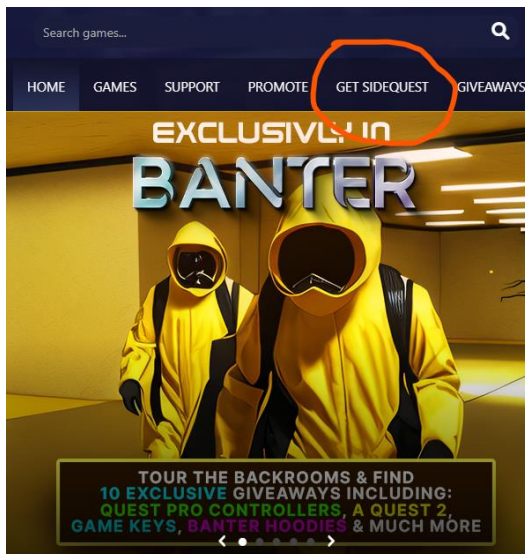
Clique no modo desenvolvedor e em seguida o habilite

Figura 1 – Imagens extraídas da tela do celular. Aplicativo utilizado: Meta. Fonte: o autor, 2023.

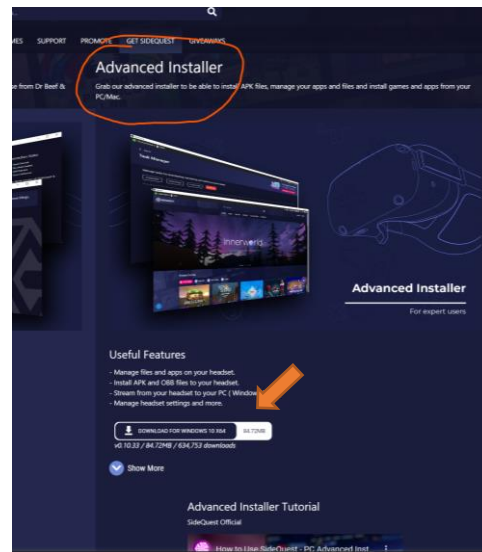
Passo 2: Instalar o programa Sidequest

1. Acesse o site oficial do SideQuest: <https://sidequestvr.com/>

2. Baixe e instale o SideQuest para o seu sistema operacional (Windows, macOS ou Linux). Utilize a opção instalação avançada, conforme as imagens abaixo.
3. Instale o software. Nenhum cadastro ou dado pessoal é necessário ser fornecido ao fabricante do programa.



No site, clique na guia *Get Sidequest*, indicado pela linha laranja.



Em seguida, escolha a aba *Advanced Installer*, e clique no botão para fazer o *download*. Posteriormente instale o *software*.

Figura 2 – Imagens extraídas do site <https://sidequestvr.com/> e complementadas com demarcações em laranja pelo autor. Fonte: o autor, 2023.

Passo 3: Instalar a aplicação

1. Ligue os óculos e o conecte ao computador através do cabo USB (pode ser o mesmo cabo utilizado para carregar o aparelho);
2. Na tela dos óculos aparecerão solicitações de permissão para acessar os arquivos através do computador. É preciso aceitar todos os pedidos;
3. Abra o programa SideQuest;
4. Observe que no canto superior direito do software há um pequeno círculo indicando se a conexão está ou não ativada. Ela precisa estar verde para que a instalação funcione corretamente;
5. Uma vez que o sinal esteja verde, clique no botão de instalação do arquivo APK, indicado na Figura 3, abaixo, pela letra “c”.
6. Informe o endereço em que está armazenado o arquivo, em seguida clique em ok e aguarde o processo de transferência e instalação, que deve durar cerca de 1 a 2 minutos.
7. Uma vez instalado, o software SideQuest indicará, na parte de baixo da tela, que a aplicação foi instalada com sucesso.



Figura 3 - Imagem do software SideQuest, ilustrada. Observe que a luz verde indica que o equipamento está apto a realizar a instalação. Fonte: o autor, 2023.

Passo 4: Carregue o arquivo denominado T-15.APK, que pode ser baixado do link:

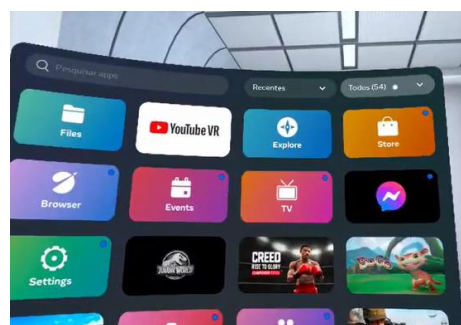
https://1drv.ms/u/s!Alln034BGMhdIK4Mj0ug_u11bAsxBg?e=I8JWE2

Após a instalação, coloque os óculos e siga os passos descritos abaixo:

1. Clique no botão App Library;
2. Clique em “todos”, no canto superior direito da tela, depois escolha a opção “origens desconhecidas”
3. Por fim, será exibida a aplicação personalizada. Basta clicar nela e utilizar.
4. Para finalizar a aplicação, utilize o botão de menu principal dos óculos, posicionado no controle da mão direita. Por fim, clique em sair.



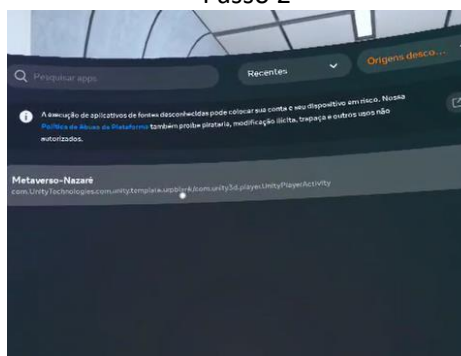
Passo 1



Passo 2



Passo 3



Passo 4

Figura 4 – Passos para abrir uma aplicação personalizada. Imagens obtidas do aplicativo nativo da Meta, a partir dos óculos MetaQuest 2. Fonte: o autor, 2023.

3. Como utilizar a aplicação

Uma vez aberto, o aplicativo tentará realizar a conexão online, que deve levar cerca de 5 a 15 segundos. O indicativo de que o usuário está conectado é a exibição dos controles nas mãos.

O primeiro cenário visível é um panorama azul e cinza. Para habilitar as navegações o utilizador deve acionar o menu principal (botão de letra “b”, da mão direita) e escolher um dos cenários disponíveis. O cenário programado para treinamento, inserção de codinome e escolha da cor do avatar é o denominado Sala de Controle. A imagem abaixo ilustra as funções do menu principal.

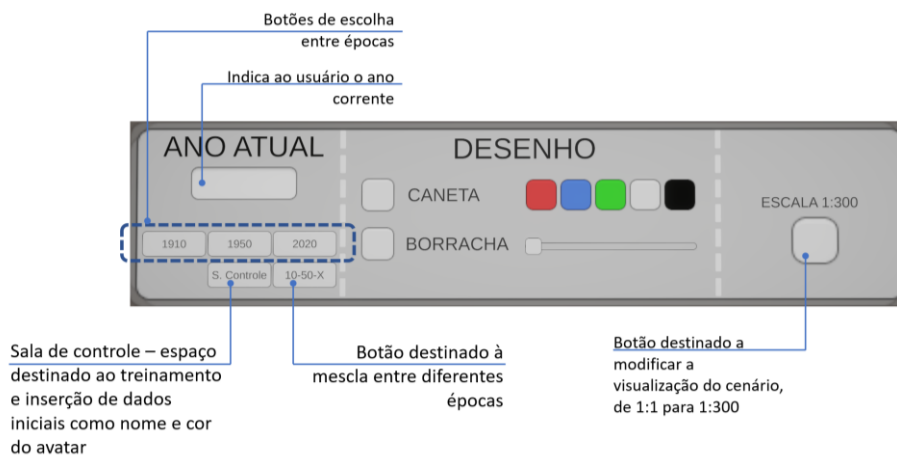


Figura 5 - Menu do usuário. Destina-se a permitir que o utilizador escolha a época que deseja navegar, entre outras opções. Fonte: o autor, 2023.

O menu principal é o responsável pelo controle dos eventos na aula. Entre eles a possibilidade de realizar a viagem no tempo e/ou troca de escala. Também é possível habilitar a caneta e realizar desenhos tridimensionais no espaço.

4. A navegação na escala 1:1 e na escala 1:300

Duas opções de navegação foram programadas, sendo a primeira por meio do teletransporte. Essa é a mais recomendada para a maioria das pessoas, pois apresenta menor risco de causar enjoos ou mal-estar (conhecido como doença do simulador). Para ativá-la, pressione e segure o botão direcional da mão direita na direção desejada, levantando a mão para indicar o local pretendido. Ao soltar o botão, o usuário é transportado para a nova posição, permitindo assim a navegação por longas distâncias.



Figura 6 – Sistema de navegação. À esquerda exibe-se o teletransporte, acionado via botão direcional. Fonte: o autor, 2023.

Além do modo teletransporte, outra opção de deslocamento disponível no ambiente virtual é o modo voo. No entanto, é importante ter em mente que este modo pode proporcionar ângulos e pontos de vista bastante diferentes daqueles que se experimenta no mundo real, o que pode causar sensações desagradáveis, como enjoo ou tontura. Portanto, é recomendado utilizá-lo de forma lenta e cautelosa. Caso o usuário comece a sentir qualquer desconforto, é necessário interromper imediatamente o modo voo e retornar ao modo teletransporte, que permite saltar de um ponto a outro sem realizar movimentos suaves.

Também é importante mencionar o sistema de navegação específico para a escala 1:300, que pode ser ativado ao pressionar o botão de mesmo nome, presente no Menu do Usuário, descrito na Figura 5. Nessa escala, o deslocamento no espaço é realizado principalmente por meio do botão associado ao dedo maior, frequentemente chamado de "garra". Ao pressionar e segurar a garra com apenas uma das mãos, o usuário consegue agarrar o cenário virtual e reposicioná-lo movimentando o braço. Por outro lado, ao pressionar e segurar o mesmo botão em ambas as mãos, mas movimentá-las em direções opostas (uma para a frente e outra para trás), o cenário virtual irá girar, auxiliando no reposicionamento do usuário no espaço virtual. A imagem abaixo ilustra uma perspectiva na escala 1:300, obtida diretamente dos óculos.



Figura 7 - Imagem ilustrativa de visualização na escala 1:300. Observe que os controles estão consideravelmente maiores em relação ao cenário. Fonte: o autor, 2023.

5. Considerações

Este documento buscou auxiliar os usuários a colocar o MetaQuest 2 em modo desenvolvedor e instalar o arquivo APK, destinado à realização da aula piloto, que propõe a utilização da ferramenta imersiva e colaborativa nas aulas da disciplina história da arquitetura e urbanismo.

Em caso de dúvidas, entre em contato pelo e-mail b.emersongomes@gmail.com.

Anexo VI – Instrumentos de avaliação

Escala	Fonte primária	Questões
Experiência do usuário - SUS (Escala likert 5 pontos)	Brooke, John. 1995 https://doi.org/10.1201/9781498710411-35	1- Acho que eu gostaria de usar esse sistema frequentemente.
		2- Eu achei esse sistema desnecessariamente complexo.
		3- Eu achei esse sistema fácil de usar
		4- Eu achei que precisaria de ajuda de uma pessoa técnica para ser capaz de usar esse sistema.
		5- Eu achei que as várias funções desse sistema foram bem integradas.
		6- Eu acho que o sistema apresenta muita inconsistência.
		7- Eu imagino que a maioria das pessoas pode aprender a usar esse sistema rapidamente.
		8- Eu achei esse sistema muito difícil de usar;
		9- Eu me senti muito seguro usando o sistema;
		10- Eu precisei aprender muitas coisas antes que pudesse utilizar esse sistema.
Cognitive absorption (Escala likert 7 pontos)	Agarwal, Ritu Karahanna, Elena, 2000 https://doi.org/10.2307/3250951	1- O tempo parece passar muito rápido quando estou usando a Realidade Virtual;
		2- O tempo voa quando estou usando a Realidade Virtual
		3- Enquanto uso a Realidade Virtual, sou capaz de bloquear a maioria das demais distrações;
		4- Enquanto uso a Realidade Virtual, fico absorto (focado) no que estou fazendo;
		5- Enquanto estou na Realidade Virtual, estou imerso na tarefa que estou realizando.
		6- Quando estou na Realidade Virtual, distraio-me facilmente com outras atenções.
		7- Enquanto estou na Realidade Virtual, minha atenção não é desviada com muita facilidade
		8- Eu me divirto interagindo com a Realidade Virtual
		9- Usar a Realidade Virtual me proporciona muito prazer.
		10- Eu gosto de usar a Realidade Virtual.
		11- Usar a Realidade Virtual me entedia.
		12- Ao usar a Realidade Virtual, sinto-me no controle do que eu estou fazendo
		13- Sinto que não tenho controle sobre minha interação com a Realidade Virtual

Presença física (Escala likert 5 pontos)	<p>Makransky, Guido. Lilleholt, Lau. Aaby, Anders. 2017</p> <p>https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.02.066</p>	<p>1- O ambiente virtual me pareceu real.</p> <p>2- Tive a sensação de atuar dentro do ambiente virtual, ao invés de operar algo de fora dele.</p> <p>3- Minha experiência no ambiente virtual parecia consistente com minhas experiências no mundo real.</p> <p>4- Enquanto estava no ambiente virtual, tive a sensação de “estar lá”.</p> <p>5- Fiquei completamente fascinado pelo mundo virtual.</p>
Presença social (Escala likert 5 pontos)	<p>Makransky, Guido. Lilleholt, Lau. Aaby, Anders. 2017</p> <p>https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.02.066</p>	<p>1- Me senti na presença de outra pessoa no ambiente virtual.</p> <p>2- Senti que as pessoas do ambiente virtual estavam cientes da minha presença.</p> <p>3- As pessoas no ambiente virtual pareciam ser sencientes (conscientes e vivas) para mim.</p> <p>4- Durante a simulação houve momentos em que a interface do computador parecia desaparecer e eu senti como se estivesse trabalhando diretamente com outra pessoa.</p> <p>5- Tive a sensação de estar interagindo com outras pessoas no ambiente virtual, ao invés de uma simulação de computador.</p>
Motion Sickness (Escala likert 4 pontos)	<p>Kim HK et al, 2018</p> <p>https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.12.016</p> <p>Carvalho, M, 2011</p> <p>https://doi.org/10.1590/S0047-20852011000400003</p>	<p>1- Mal-estar generalizado</p> <p>2- Cansaço</p> <p>3- Vista cansada</p> <p>4- Dificuldade de manter o foco</p> <p>5- Dor de cabeça</p> <p>6- “Cabeça pesada”</p> <p>7- Visão embaçada</p> <p>8- Tontura com olhos fechados</p> <p>9- Vertigem</p>
Satisfação (Escala likert 7 pontos)	<p>Lewis, James , 1995</p> <p>https://doi.org/10.1080/10447319509526110</p>	<p>1. No geral, estou satisfeito com a facilidade de assistir à aula no ambiente imersivo de múltiplos usuários.</p> <p>2. No geral, estou satisfeito com o tempo de duração da aula.</p> <p>3. No geral, estou satisfeito com as orientações técnicas do professor (ajuda que tive para aprender a usar a VR durante a aula).</p>
Afinidade com Tecnologia (Escala likert 6 pontos)	<p>Wessel, Daniel. Attig, Christiane. Franke, Thomas. 2019</p> <p>https://doi.org/10.1145/3340764.3340766</p>	<p>1- Gosto de me ocupar nos mínimos detalhes com as tecnologias digitais</p> <p>2- Gosto de testar as funções de novas tecnologias digitais.</p> <p>3- Basta-me que um sistema (de uma tecnologia digital) funcione. Eu não me importo como ou por quê.</p> <p>4- Basta-me conhecer as funções básicas de uma tecnologia digital.</p>

Dados demográficos (estaclas variadas)	Fonte: o autor, 2023	1- Em qual instituição de ensino você estuda?
		2- Em que país você reside?
		3- Em que cidade fica a faculdade em que você estuda?
		4- Qual a sua Idade?
		5- Qual semestre você está cursando?
		6- Já teve aulas da disciplina História da Arquitetura e Urbanismo (ou história da cidade, ou disciplina de conteúdo histórico semelhante)?
		7- Você diria que as aulas de disciplina História da Arquitetura e Urbanismo (ou nome semelhante) são:
		8- Com que frequência você utiliza ou já utilizou a realidade virtual?
Questões de respostas abertas	Fonte: o autor, 2023	1- Escreva aqui, com poucas palavras, considerações, críticas ou sugestões que vocês pensem ser relevantes sobre a experiência que teve
		2- Mencione os dois aspectos positivos e dois negativos da aula que acabou de assistir