

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Arquitetura
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (NPGAU)

Gabriel de Sousa Castro

**ObRV: protótipo de um canteiro didático em realidade virtual para o ensino de
construção integrado à projeção arquitetônica**

Belo Horizonte
2025

Gabriel de Sousa Castro

**ObRV: protótipo de um canteiro didático em realidade virtual para o ensino de
construção integrado à projeção arquitetônica**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (NPGAU) da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador(a): Profa. Dra. Maria Lúcia Malard

Belo Horizonte

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

C355o

Castro, Gabriel de Sousa.

Obrv [recurso eletrônico] : protótipo de um canteiro didático em realidade virtual para o ensino de construção integrado à projeção arquitetônica / Gabriel de Sousa Castro. - 2025.

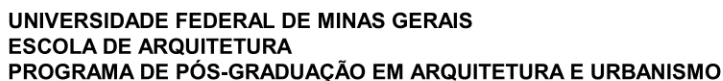
1 recurso online (291 p. : il.).

Orientadora: Maria Lúcia Malard

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Arquitetura - Ensino de projetos - Teses. 2. Realidade virtual na arquitetura - Teses. 3. Canteiro de obras - Teses. I. Malard, Maria Lúcia. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.7



GABRIEL DE SOUSA CASTRO

Às nove horas e trinta minutos do dia quatorze de fevereiro de dois mil e vinte e cinco, reuniu-se, na Escola de Arquitetura da UFMG, a Comissão Examinadora de Tese para julgar o trabalho intitulado “*ObRV: protótipo de um canteiro didático em realidade virtual para o ensino de construção integrado à projeção arquitetônica*”, requisito final para obtenção do Grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo, na área de concentração “Teoria, produção e experiência do espaço”. Abrindo a sessão, a orientadora – Professora Maria Lúcia Malard – após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao aluno Gabriel de Sousa Castro para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa da candidata. Logo após, a Comissão reuniu-se, sem a presença da doutoranda e do público, para julgamento e expedição do seguinte resultado:

- O resultado final foi comunicado publicamente à candidata pela Presidente da Sessão, com as seguintes considerações da Comissão Examinadora:

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Nada mais havendo a tratar, a Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente Ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora, a saber:

Profa. Dra. Maria Lúcia Malard (Orientadora-EA-UFMG) _____

gov.br

Documento assinado digitalmente
MARIA LUCIA MALARD
Data: 20/02/2025 08:41:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Guilherme Nunes de Vasconcelos (EA-UFMG) _____

Guil

Digitally signed by Guilherme Nunes
de Vasconcelos
Location: Belo Horizonte, MG
Date: 2025.02.26 19:16:18-03'00'
Foxit PDF Reader Version: 2024.2.3

Prof. Dr. Mateus de Sousa Van Stralen (EA-UFMG) _____

gov.br

Documento assinado digitalmente
MATEUS DE SOUSA VAN STRALEN
Data: 27/02/2025 22:42:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Francisco Ferreira Cardoso (Politécnica USP-SP – por videoconferência) _____

gov.br

Documento assinado digitalmente
FRANCISCO FERREIRA CARDOSO
Data: 25/02/2025 11:12:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Wallace Lages (Northeastern University-USA– por videoconferência) _____

gov.br

Documento assinado digitalmente
WALLACE SANTOS LAGES
Data: 25/02/2025 13:35:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

GABRIEL DE SOUSA
CASTRO:07366336696

Digitally signed by GABRIEL DE SOUSA
CASTRO:07366336696
DN: c=BR, ou=CFP Brasil, ou=Secretaria da Receita
Federal do Brasil - RFB, ou=RFB e CPF A3, ou=EM
BRASIL, ou=073302000186, ou=gerencial,
ou=GABRIEL DE SOUSA CASTRO:07366336696
Date: 2025.02.28 15:53:51 -03'00'

Ciente: _____

Discente Gabriel de Sousa Castro

[Em caso de aprovação condicionada à entrega das revisões constantes nesta Ata e aceitas pela orientadora]

Atesto que as alterações exigidas _____ cumpridas.

Belo Horizonte, ____ de ____ de ____

Orientadora: _____

Professora Maria Lúcia Malard

Homologada a _____ pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo em ____ / ____ / ____ .

Coordenador(a): _____

AGRADECIMENTOS

A realização deste doutorado foi, sem dúvida, um dos maiores desafios nestes meus 40 anos de vida. Iniciado em plena pandemia, em um período de incertezas, o desenvolvimento deste trabalho só se tornou possível graças a uma base de apoio — direta e indireta, profissional, familiar e circunstancial —, que me sustentou ao longo de toda a trajetória.

Agradeço em especial à minha orientadora, Maria Lucia Malard, pela generosidade em aceitar a tutoria deste trabalho, pelo olhar visionário, pelas críticas construtivas e pelo apoio constante ao longo do percurso.

À Escola de Arquitetura da UFMG e ao NPGAU, pela excelência na condução do programa, e ao Laboratório NEXT, pela disponibilização dos dispositivos e do espaço físico que tornaram possíveis os experimentos.

Ao intermédio do PROEX, que possibilitou a realização do presente trabalho com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Aos amigos e professores Alexandre, Fernando e Mateus, que compartilharam parte deste caminho durante meu período como professor na Fundamentação II e como colaborador do projeto MIRA. À Júlia Machado e à Larissa Arenales, pela escuta cuidadosa.

Sou grato também aos arquitetos que contribuíram para minha formação prática fora da escola: Freuza Zechmeister (*in memoriam*), Fernando Maculan, Zenon Lago, Bernardo Farkasvolgy, Pierre Guérin, Hector Pedroza, Paula Zasnicoff e Alexandre Brasil.

À equipe MOBIO: Lorena, Pedro, Duda e Rodrigo, pela compreensão e por “segurar a barra” nos períodos de ausência do escritório.

Aos amigos Guilherme e Clara, pelos momentos de escape e descompressão tão necessários, bem como pela compreensão silenciosa de quem já vivenciou esse desafio.

Agradeço à minha família: aos meus pais, Elena e Audir, pelo incentivo desde transição para a Arquitetura em 2005; aos meus irmãos, Marianna e Júnior, pela companhia, de perto ou à distância; à Flávia, ao Agnaldo e à Luiza. E, sobretudo, agradeço ao meu companheiro, Daniel, pela partilha cotidiana, pela paciência e pelo constante estímulo para seguir em frente.

A empreitada de um doutorado e a escrita de uma tese são processos essencialmente solitários, mas não teriam sido possíveis sem cada um de vocês. Muito obrigado!

“Porque a vida não é uma marcha ou um fluxo uniforme e ininterrupto. É feita de histórias, cada qual com seu enredo, seu início e movimento para seu fim, cada qual com seu movimento rítmico particular, cada qual com sua qualidade não repetida, que a perpassa por inteiro”.

(Dewey, 2010, p. 110)

RESUMO

A formação em Arquitetura e Urbanismo apresenta significativa defasagem no ensino de Construção, caracterizada por uma abordagem fragmentada, predominantemente teórica e desvinculada do processo de projeto. Este estudo propõe a criação de um canteiro de obras didático em realidade virtual (RV) como ferramenta para mitigar essas lacunas, proporcionando experiências imersivas que integram teoria e prática, favorecem a compreensão de sistemas construtivos e ampliam o engajamento dos estudantes. A pesquisa foi estruturada em quatro etapas principais: (1) análise do contexto acadêmico do ensino de Construção no curso de Arquitetura; (2) revisão bibliográfica sobre o uso da realidade virtual no ensino de Construção; (3) desenvolvimento do protótipo de um canteiro de obras em realidade virtual e (4) aplicação e avaliação do protótipo em um ambiente acadêmico, com a realização de sessões práticas e coleta de dados qualitativos e quantitativos. Os resultados indicaram o potencial do canteiro de obras em RV para melhorar a assimilação de conceitos técnicos e viabilizar a articulação entre projeto e simulação da execução, ao mesmo tempo que reduz barreiras logísticas e riscos associados aos canteiros experimentais físicos. Além disso, o protótipo demonstrou impacto positivo na motivação e no engajamento dos estudantes, evidenciando sua eficácia como ferramenta pedagógica. Conclui-se que o canteiro de obras didático em RV constitui uma alternativa viável e eficiente para enriquecer o ensino de Construção, contribuindo para a formação holística de arquitetos mais aptos aos desafios da prática profissional.

Palavras-chave: Realidade virtual; Ensino de construção; Arquitetura; Aprendizagem experiencial; Processo de projeto.

ABSTRACT

The education in Architecture and Urbanism exhibits a significant gap in construction education, characterized by a fragmented, predominantly theoretical approach disconnected from the design process. This study proposes the creation of a didactic construction site in virtual reality (VR) as a tool to address these gaps, providing immersive experiences that integrate theory and practice, enhance the understanding of construction systems, and increase student engagement. The research was structured into four main stages: (1) analysis of the academic context of construction education in architecture programs; (2) literature review on the use of virtual reality in construction education; (3) development of a virtual reality construction site prototype; and (4) application and evaluation of the prototype in an academic environment, including practical sessions and the collection of qualitative and quantitative data. The results highlighted the potential of the VR construction site to improve the assimilation of technical concepts and facilitate the articulation between design and execution simulation, while also reducing logistical barriers and risks associated with physical experimental construction sites. Additionally, the prototype demonstrated a positive impact on student motivation and engagement, proving its effectiveness as a pedagogical tool. It is concluded that the didactic VR construction site represents a viable and efficient alternative to enhance construction education, contributing to a holistic education of architects better prepared to meet the challenges of professional practice.

Keywords: Virtual reality; Construction education; Architecture; Experiential learning; Design process.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma geral da tese.....	19
Figura 2 – Distribuição da carga horária no curso de Arquitetura da UFMG	24
Figura 3 – Projeto de implantação do Canteiro Experimental da USP	34
Figura 4 – Canteiro experimental da USP	35
Figura 5 – Canteiro experimental FAU-UFRJ em 2017	35
Figura 6 – Canteiro experimental PUC Minas	36
Figura 7 – Diagrama de estereoscopia	40
Figura 8 – <i>House Builder</i>	64
Figura 9 – <i>Builder Simulator</i>	65
Figura 10 – <i>Minecraft</i>	67
Figura 11 – <i>The Sims</i>	68
Figura 12 – Captura de tela da interface do Unity	80
Figura 13 – Captura de tela da área de trabalho do Unity com a visão geral do terreno em projeção ortográfica.....	82
Figura 14 – Captura de tela da área de trabalho do Unity com a bancada fixa no ambiente do protótipo	83
Figura 15 – Instrução da bancada na perspectiva do jogador.....	84
Figura 16 – Ferramentas de medição e precisão	87
Figura 17 – Ferramentas manuais	88
Figura 18 – Equipamentos de apoio.....	88
Figura 19 – Itens estruturais.....	89
Figura 20 – Insumos gerais	91
Figura 21 – Instrução sobre o inventário na bancada de trabalho na visão do usuário	92
Figura 22 – O sistema de inventário em uso	93
Figura 23 – Primeira tela do painel de introdução do Tutorial 1	95
Figura 24 – Segunda tela do painel de introdução do Tutorial 1	96
Figura 25 – Hologramas utilizados no processo de marcação. À esquerda, o holograma indica o ponto de marcação; à direita, mostra o holograma atualizado para a próxima tarefa.....	97
Figura 26 – Tela de instruções para posicionamento dos pontaletes.....	98
Figura 27 – Pontaletes sendo colocados pelo usuário	98

Figura 28 – Instrução para colocação das tábuas.....	99
Figura 29 – Instalação das tábuas pelo jogador.....	99
Figura 30 – Instrução para marcar os eixos da obra.....	100
Figura 31 – Vista do usuário com a marcação pronta.....	100
Figura 32 – Diagramas axonométricos das etapas construtivas	101
Figura 33 – Painel de introdução do Tutorial 2 com fotos ilustrativas de diferentes tipologias de fundação	103
Figura 34 – Instrução para cavar as valas para as sapatas	104
Figura 35 – Usuário realizando a tarefa de cavar as valas para as sapatas	104
Figura 36 – Instrução para cavar a vala da viga baldrame.....	105
Figura 37 – Usuário cavando a vala da viga baldrame	105
Figura 38 – Instrução para colocação das ferragens das sapatas	107
Figura 39 – Usuário posicionando a armadura na vala para realização da sapata ..	107
Figura 40 – Instrução para concretagem das sapatas	108
Figura 41 – Usuário posicionando a ferragem na vala da viga baldrame.....	109
Figura 42 – Instrução para concretagem das vigas baldrames.....	110
Figura 43 – Usuário ajustando a dimensão da ferragem na vala da viga baldrame	110
Figura 44 – Usuário instalando a fôrma de madeirite	111
Figura 45 – Instrução para concretagem das vigas baldrames.....	112
Figura 46 – Usuário derramando o concreto na fôrma.....	112
Figura 47 – Instrução para finalização da fundação	113
Figura 48 – Usuário aterrando trechos do terreno.....	114
Figura 49 – Diagramas axonométricos das etapas construtivas	115
Figura 50 – Instrução para aplicação da lona.....	117
Figura 51 – Usuário colocando a lona.....	117
Figura 52 – Instrução para posicionamento da armadura	118
Figura 53 – Ferragem distribuída pelo usuário	119
Figura 54 – Instrução para concretagem do contrapiso	120
Figura 55 – Usuário distribuindo o concreto	120
Figura 56 – Diagramas axonométricos das etapas construtivas	121
Figura 57 – Painel de introdução à construção dos pilares.....	122
Figura 58 – Instrução para concretagem do contrapiso	123
Figura 59 – Usuário complementando a armadura do pilar	123
Figura 60 – Painel de introdução sobre o andaime	124

Figura 61 – Instrução para ajuste de medida das armaduras	125
Figura 62 – Usuário ajustando a altura da armadura a partir do andaime	125
Figura 63 – Instrução para montagem do madeirite	126
Figura 64 – Usuário montando o madeirite	126
Figura 65 – Instrução para concretagem.....	127
Figura 66 – Pilar concretado pelo usuário em cima do andaime.....	127
Figura 67 – Diagramas axonométricos das etapas construtivas	128
Figura 68 – Instrução para posicionamento das escoras	129
Figura 69 – Posicionamento da escora pelo usuário.....	130
Figura 70 – Instrução para posicionamento das escoras	130
Figura 71 – Usuário montando a fôrma da viga	131
Figura 72 – Visão do usuário com a estrutura de apoio completa.....	131
Figura 73 – Instrução para a montagem da fôrma da laje	132
Figura 74 – Usuário instalando o madeirite da laje	132
Figura 75 – Instrução para a montagem das armaduras.....	133
Figura 76 – Usuário posicionando as ferragens	133
Figura 77 – Instrução para a realização da concretagem	135
Figura 78 – Usuário realizando a concretagem do conjunto laje e viga	135
Figura 79 – Instrução para a remoção dos apoios e fôrmas	136
Figura 80 – Visão da estrutura pronta	137
Figura 81 – Diagramas axonométricos das etapas construtivas	138
Figura 82 – Primeira tela do painel de introdução de alvenaria.....	140
Figura 83 – Segunda tela do painel de introdução de alvenaria	140
Figura 84 – Terceira tela do painel de introdução de alvenaria.....	141
Figura 85 – Quarta tela do painel de introdução de alvenaria.....	141
Figura 86 – Tela de instrução para o assentamento dos tijolos	142
Figura 87 – Tela de instrução para o levantamento otimizado da parede	143
Figura 88 – Parede sendo erguida pelo usuário.....	143
Figura 89 – Tela do painel informativo sobre vergas.....	144
Figura 90 – Parede sendo erguida pelo usuário.....	145
Figura 91 – Instrução para subir a parede e para a criação do vão	145
Figura 92 – Parede sendo erguida pelo usuário.....	146
Figura 93 – Parede sendo erguida pelo usuário.....	146
Figura 94 – Instrução para finalizar o assentamento.....	147

Figura 95 – Painel informativo sobre encunhamento	148
Figura 96 – Parede construída pelo usuário	148
Figura 97 – Diagramas axonométricos das etapas construtivas	149
Figura 98 – Tela 1 do painel informativo sobre <i>steel frame</i>	151
Figura 99 – Tela 2 do painel informativo sobre <i>steel frame</i>	151
Figura 100 – Tela 3 do painel informativo sobre <i>steel frame</i>	152
Figura 101 – Tela 4 do painel informativo sobre <i>steel frame</i>	152
Figura 102 – Tela 5 do painel informativo sobre <i>steel frame</i>	153
Figura 103 – Usuário instalando a guia inferior	154
Figura 104 – Instrução para instalação dos montantes verticais	154
Figura 105 – Usuário determinando o sentido de instalação do montante	155
Figura 106 – Instruções para instalar os montantes menores	155
Figura 107 – Usuário instalando os montantes menores	156
Figura 108 – Instruções para instalar os montantes menores	156
Figura 109 – Usuário instalando os montantes horizontais	157
Figura 110 – Estrutura finalizada	157
Figura 111 – Instruções para instalar o isolamento acústico	158
Figura 112 – Usuário instalando a manta de isolamento	158
Figura 113 – Instruções para instalação da chapa cimentícia	159
Figura 114 – Vedação concluída	159
Figura 115 – Instruções para instalação de acabamentos	160
Figura 116 – Diagramas axonométricos das etapas construtivas	161
Figura 117 – Alunos durante as sessões	175
Figura 118 – Croquis de projeto do aluno 3	184
Figura 119 – Croquis de projeto do aluno 6	185
Figura 120 – Croquis de projeto do aluno 4	185
Figura 121 – Croquis de projeto do aluno 5	186
Figura 122 – Croquis de projeto do aluno 9	186
Figura 123 – Croquis de projeto do aluno 10	187
Figura 124 – Croquis de projeto do aluno 8	187
Figura 125 – Croquis de projeto do aluno 7	187
Figura 126 – Croquis de projeto do aluno 2	188
Figura 127 – Croquis de projeto do aluno 2	188
Figura 128 – Construção realizada pelo aluno 10	191

Figura 129 – Construção realizada pelo aluno 4	192
Figura 130 – Construção realizada pelo aluno 2	193
Figura 131 – Construção realizada pelo aluno 8	193
Figura 132 – Construção realizada pelo aluno 3	194
Figura 133 – Mecanismo de ajuste da posição solar	195
Figura 134 – Construção realizada pelo aluno 7	196
Figura 135 – Construção realizada pelo aluno 1	197
Figura 136 – Construção realizada pelo aluno 6	198
Figura 137 – Construção realizada pelo aluno 9	198
Figura 138 – Construção realizada pelo aluno 6	199
Figura 139 – Construção realizada pelo aluno 9	202
Figura 140 – Construção realizada pelo aluno 9	203
Figura 141 – Diagrama ilustrativo de montagem de cobertura.....	204
Figura 142 – Diagrama ilustrativo de montagem de laje seca.....	205
Figura 143 – Croquis de projeto do aluno 4	207
Figura 144 – Croquis de projeto aluno 6	207
Figura 145 – Croquis de projeto do aluno 5	208
Figura 146 – Croquis de projeto do aluno 9	208
Figura 147 – Croquis de projeto do aluno 7	209
Figura 148 – Processo de construção da laje radier com madeirite montado pelo aluno 4	210
Figura 149 – Montantes de quina posicionados pelo aluno 6	210
Figura 150 – Estrutura de <i>steel frame</i> montada pelo aluno 4.....	211
Figura 151 – Estrutura em processo do aluno 6.....	211
Figura 152 – Construção realizada pelo aluno 5	212
Figura 153 – Construção realizada pelo aluno 9	213
Figura 154 – Estrutura em processo do aluno 7	213
Figura 155 – Aluno 5 instalando a telha sanduíche no telhado	214
Figura 156 – Aluno 4 cobrindo a estrutura com chapas de OSB.....	215
Figura 157 – Aluno 4 adicionando a camada de XPS e em seguida aplicando (à esquerda) a manta impermeabilizante (à direita)	215
Figura 158 – Laje seca construída pelo aluno 4 vista de baixo	216
Figura 159 – Aluno 4 instalando as chapas cimentícias após a manta de isolamento térmico e acústico	216

Figura 160 – Aluno 9 instalando o forro de gesso	217
Figura 161 – Construção realizada pelo aluno 4	218
Figura 162 – Construção realizada pelo aluno 6	218
Figura 163 – Fluxo de ventilação ativado pelo aluno 6 que evidencia a existência de ventilação cruzada na edificação	218
Figura 164 – Construção realizada pelo aluno 5	219
Figura 165 – Construção realizada pelo aluno 7 com fluxo de ventilação ativado evidenciado a incidência do vento na fachada lateral	220
Figura 166 – Construção realizada pelo aluno 9	220
Figura 167 – Diagrama sintético do desenvolvimento do protótipo ObRV	230

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	A DEFASAGEM NO ENSINO DE CONSTRUÇÃO: CONTEXTO E PROBLEMÁTICAS NO CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO	20
2.1	Ênfase no ensino de Projeto	21
2.2	A importância da experiência	26
2.3	O canteiro experimental	31
2.4	A proposta de um canteiro didático em realidade virtual	36
3	FUNDAMENTOS E DESAFIOS DA REALIDADE VIRTUAL NO ENSINO DE CONSTRUÇÃO	39
3.1	Realidade virtual (RV)	39
3.2	Desafios na implementação da realidade virtual	43
3.2.1	Limitações biológicas e <i>cybersickness</i>	43
3.2.2	Adaptação e sensação de presença na RV	44
3.2.3	Limitações de hardware e evolução tecnológica	46
3.2.4	Interface e usabilidade dos dispositivos de RV	47
3.3	Referências e casos correlatos	49
3.4	Jogos digitais	61
4	DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA DO OBRV: PROTÓTIPO DO CANTEIRO DE OBRAS EM REALIDADE VIRTUAL	70
4.1	Metodologia para o desenvolvimento e implementação do protótipo ObRV	70
4.2	Desenvolvimento do protótipo ObRV	72
4.2.1	Os sistemas construtivos	75
4.2.1.1	<i>Sistema construtivo em concreto armado e alvenaria</i>	76
4.2.1.2	<i>Sistema steel frame</i>	77
4.2.2	A criação do ambiente virtual e da interface	79
4.2.2.1	<i>Desenvolvimento do ambiente virtual</i>	81
4.2.2.2	<i>Integração dos mecanismos de interação</i>	83
4.2.3	Ferramentas e materiais construtivos	86
4.2.3.1	<i>Ferramentas e equipamentos</i>	86
4.2.3.2	<i>Materiais e componentes</i>	88
4.2.4	Os procedimentos construtivos e as interações guiadas	93

4.2.4.1	Marcação do terreno	95
4.2.4.2	Fundações.....	101
4.2.4.3	Contrapiso	116
4.2.4.4	Pilares.....	121
4.2.4.5	Vigas e laje de cobertura	128
4.2.4.6	Alvenaria.....	139
4.2.4.7	Vedação em steel frame.....	150
4.2.5	Interação livre	162
4.3	Implementação do protótipo	163
4.3.1	Criação da disciplina.....	163
4.3.2	Instrumentos para coleta de dados.....	166
5	IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO PRÁTICA DO OBRV NO CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO	170
5.1	Aplicação da disciplina	170
5.1.1	Informações prévias e introdução ao dispositivo Quest 2.....	171
5.1.2	Sessões guiadas	174
5.1.3	Desenvolvimento dos projetos.....	183
5.1.4	Construção no modo livre	189
5.1.5	Tutorial extra: vedação em steel frame.....	199
5.2	Aprimoramento do protótipo ObRV	202
5.2.1	Melhorias e desenvolvimento do sistema steel frame	202
5.2.2	Segunda iteração de testes com voluntários e refinamentos do protótipo..	206
5.3	Análise dos resultados e discussões sobre o protótipo	221
6	CONCLUSÃO.....	231
	REFERÊNCIAS	234
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PRÉVIO	241
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 2: TUTORIAL 1.....	244
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO 3: TUTORIAL 2.....	247
	APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO 4: TUTORIAL 3.....	251
	APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO 5: CONSTRUÇÃO NO MODO LIVRE .	256
	APÊNDICE F – QUESTIONÁRIO 6: TUTORIAL DE STEEL FRAME	264
	APÊNDICE G – QUESTIONÁRIO 7: SOBRE A EXPERIÊNCIA GERAL COM O PROTÓTIPO DO CANTEIRO DE OBRAS DIDÁTICO EM REALIDADE VIRTUAL	268

APÊNDICE H – QUESTIONÁRIO 8: MODO LIVRE <i>STEEL FRAME</i>	277
APÊNDICE I – QUESTIONÁRIO DE PRESENÇA.....	284
APÊNDICE J – QUESTIONÁRIO SUS	286
APÊNDICE K – QUESTIONÁRIO NASA (CARGA DE TRABALHO – MEDIDAS DE DEMANDA, DESEMPENHO, ESFORÇO E FRUSTRAÇÃO)	288
APÊNDICE L – QUESTIONÁRIO VRSQ <i>CYBERSICKNESS</i> (SINTOMAS FISIOLÓGICOS – ÍNDICES DE NÁUSEA, TONTURA, ETC.)	290

1 INTRODUÇÃO

A formação em Arquitetura e Urbanismo enfrenta uma defasagem significativa no ensino de Construção, tratada como um conteúdo técnico isolado, fragmentado e predominantemente teórico. Embora o projeto ocupe tradicionalmente posição central no trabalho do arquiteto, o desequilíbrio na formação resulta na marginalização do ensino de Construção, dificultando sua integração à lógica projetual e aos desafios práticos do canteiro de obras. Essa defasagem pode limitar a capacidade dos alunos de aplicar conhecimentos técnicos no desenvolvimento de projetos e restringir sua compreensão sobre o impacto das decisões arquitetônicas no contexto prático.

A literatura sobre aprendizagem e educação, amparada por autores como John Dewey e David Kolb, reforça a importância da experiência direta e da prática no processo de ensino-aprendizagem. A imersão em contextos próximos ao mundo real favorece a assimilação de conteúdos técnicos e a internalização de noções abstratas, resultando em um aprendizado mais profundo e significativo. Entretanto, as iniciativas convencionais para oferecer tal vivência — como visitas a obras e a criação de canteiros experimentais físicos — enfrentam obstáculos logísticos, custos elevados, limitações de segurança e disponibilidade, revelando-se insuficientes ou inviáveis como estratégia ampla e contínua.

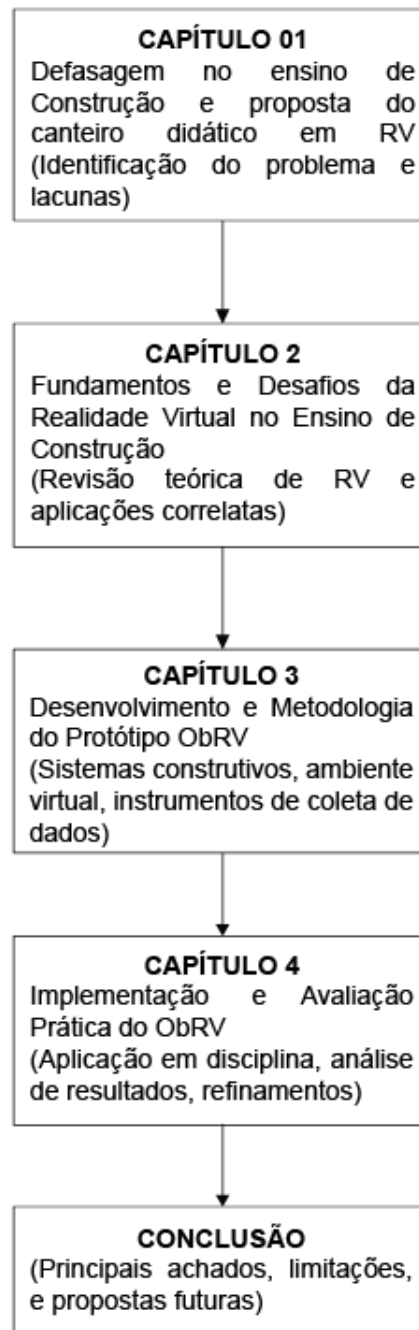
Nesse cenário, esta pesquisa propõe a implementação de um canteiro de obras didático em realidade virtual (RV) como alternativa promissora. Ao criar um ambiente imersivo e interativo, a RV pode permitir que o estudante vivencie processos construtivos, manipule ferramentas, compreenda a lógica executiva e observe a relação direta entre o projeto arquitetônico e sua materialização, tudo isso sem as restrições e riscos presentes em um canteiro físico. A hipótese central da tese é que o uso de um canteiro virtual pode contribuir para mitigar as deficiências do ensino de Construção, tornando-o mais dinâmico, integrado ao projeto e efetivamente vinculando teoria e prática.

Para testar essa hipótese, desenvolveu-se um protótipo de canteiro didático em RV. Esse protótipo foi aplicado em um contexto acadêmico, analisando-se o impacto sobre a compreensão dos sistemas construtivos, a motivação, o engajamento dos estudantes e a articulação entre concepção arquitetônica e execução prática. Ao final, a pesquisa busca demonstrar a potencialidade dessa

abordagem, indicando caminhos para o aprimoramento do ensino de Construção no curso de Arquitetura e Urbanismo e, conseqüentemente, formando profissionais mais conscientes, preparados e aptos a enfrentar os desafios da prática profissional.

Para orientar o leitor quanto à sequência lógica do trabalho, apresenta-se a seguir um fluxograma com a organização geral desta tese, evidenciando como cada seção se relaciona e contribui para a condução da pesquisa.

Figura 1 – Fluxograma geral da tese



Fonte: Autor (2024).

2 A DEFASAGEM NO ENSINO DE CONSTRUÇÃO: CONTEXTO E PROBLEMÁTICAS NO CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO

A constatação da defasagem no ensino de Construção no curso de Arquitetura resultou, inicialmente, de minha própria experiência profissional. Embora essa lacuna não tenha se manifestado de forma evidente durante a graduação, ela se tornou clara nos primeiros anos de atuação no mercado, especialmente após a fundação do meu escritório de projetos. Nesse contexto, lidar com as demandas concretas da obra — desde a compreensão de sistemas invisíveis de infraestrutura até a especificidade dos detalhes construtivos — revelou-se um desafio. Enquanto o processo projetual e o uso de ferramentas de representação eram domínios familiares, os aspectos práticos da execução escapavam à compreensão imediata, gerando ansiedade e insegurança.

A falta de preparo para enfrentar a realidade do canteiro de obras foi perceptível tanto no nível técnico quanto na dinâmica de comunicação com engenheiros, mestres de obras e equipes de execução. Esse relacionamento — marcado por tensões em torno de prazos, custos e soluções construtivas — expôs um descompasso entre a formação acadêmica e as exigências do ambiente profissional. Ao longo do tempo, o aprendizado ocorreu de forma híbrida, por meio de pesquisas pontuais ditadas pelas urgências de cada projeto e pela observação empírica das práticas de obra. Experiências negativas — como o contato com profissionais pouco dispostos ao diálogo — e positivas — como trabalhar em canteiros organizados — contribuíram para ampliar a compreensão da diversidade de cenários da construção civil no Brasil. Aos poucos, as visitas aos canteiros tornaram-se menos intimidadoras, à medida que a experiência prática consolidava um repertório técnico mais amplo.

Posteriormente, atuando como professor nas disciplinas de Projeto e Fundamentação em um curso de Arquitetura, constatei que a lacuna identificada não era um fenômeno isolado. Apesar do envolvimento dos estudantes com as dimensões conceituais e formais do projeto arquitetônico, observava-se um desinteresse ou desconhecimento sobre aspectos construtivos. Essa constatação indicava que o conhecimento sobre construção permanecia subexplorado no ambiente acadêmico, além de ser pouco aprofundado e frequentemente negligenciado em relação a outros conteúdos.

Os fatores que contribuem para essa situação são complexos e multifacetados. Entre eles, destaca-se a desvalorização do conhecimento construtivo diante da hegemonia do projeto como disciplina central da formação em Arquitetura. A ênfase prioritária no projeto, consolidada ao longo de décadas, relegou as disciplinas técnicas a um plano secundário, restringindo o desenvolvimento de um entendimento integral do fazer arquitetônico. Esse desequilíbrio, refletido na carga horária e na hierarquia dos saberes transmitidos, gera um ensino fragmentado e pouco efetivo no que diz respeito à integração entre teoria, desenho e execução.

Diante desse panorama, coloca-se uma questão crucial: como promover um aprendizado que supere as limitações atuais do ensino de Construção, integrando teoria e prática para fortalecer o conhecimento construtivo e impactar positivamente o processo de projeto?

É essa indagação que orienta a presente seção, dedicado a identificar a base da deficiência no ensino de Construção, repensar metodologias pedagógicas e propor novas estratégias que possam reposicionar a construção como um componente fundamental na formação do arquiteto.

2.1 Ênfase no ensino de Projeto

Historicamente, os cursos de Arquitetura no Brasil têm priorizado o projeto arquitetônico como o núcleo da formação acadêmica. A disciplina compreende a maior carga horária do curso, demanda o maior trabalho extraclasse e, tradicionalmente, os trabalhos de conclusão de curso refletem essa perspectiva, concentrando-se em projetos arquitetônicos.

Conforme demonstra a pesquisa realizada por Veloso (2009) sobre os Trabalhos Finais de Graduação (TFG) de nove escolas de Arquitetura e Urbanismo consideradas referências no Brasil, a maior parte dos TFGs se concentra no projeto de arquitetura como objeto principal. Os temas abordados incluem edificações para atividades culturais (23,70%), escolas ou edificações educacionais (7,78%), habitação (14,81%), instituições públicas e privadas (9,63%), hospedagem (5,19%) e outras temáticas variadas (28,89%).

Nos últimos anos, algumas instituições têm promovido reformas para tornar a formação mais flexível e abrangente. Um exemplo é a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), que reorganizou as disciplinas de Projeto em módulos

menores e mais diversos, chamados de PFLEX. Além disso, o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), anteriormente limitado à elaboração de projetos arquitetônicos, passou a permitir a produção de pesquisas acadêmicas, possibilitando a entrega de monografias sobre temas relacionados à Arquitetura e Urbanismo.

Apesar dessa recente abertura, o cenário da produção de TCCs continua fortemente centrado em projetos, como mostram os dados dos TCCs do curso diurno da UFMG em 2024, com 78% no formato de projeto e 22% no formato de monografia.¹

De acordo com Leite (2005), o problema não está na ênfase em projeto em si, mas nas consequências dessa priorização, que frequentemente relegam outros campos do conhecimento, como o saber técnico-construtivo, a uma posição marginal. Essa centralidade excessiva do projeto no contexto da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP) está relacionada com a reforma nos padrões de ensino consolidada em 1962, conhecida como “Reforma Artigas”.

A reorganização curricular promovida pela chamada “Reforma Artigas” ampliou o campo de atuação do arquiteto, que passou a ser visto como um agente integral responsável pela concepção e planejamento do espaço habitado. Suas responsabilidades se expandiram além das edificações, incorporando áreas como comunicação visual, design de objetos e mobiliário, urbanismo e paisagismo. Um ponto fundamental dessa reforma foi a criação do grande ateliê de projeto como o núcleo principal de toda a atividade acadêmica. Contudo, como observa Leite (2005), no contexto da FAU-USP essa ampliação de atribuições não foi acompanhada por um fortalecimento equivalente das disciplinas técnicas, resultando na marginalização do conhecimento construtivo.

O “Currículo Mínimo Nacional de Arquitetura”, também estabelecido em 1962, buscava diferenciar o arquiteto do engenheiro e consolidar o campo disciplinar da Arquitetura. Segundo Leite (2005), esse currículo também guarda relação com a “Reforma Artigas”, sobretudo na atualização ocorrida entre 1962 e 1969, que reforçou a ênfase na atividade projetual. Essa ampliação permitiu que o arquiteto

¹ Os dados foram obtidos a partir da checagem dos termos de compromisso disponibilizados internamente pelo Colegiado do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFMG (2024).

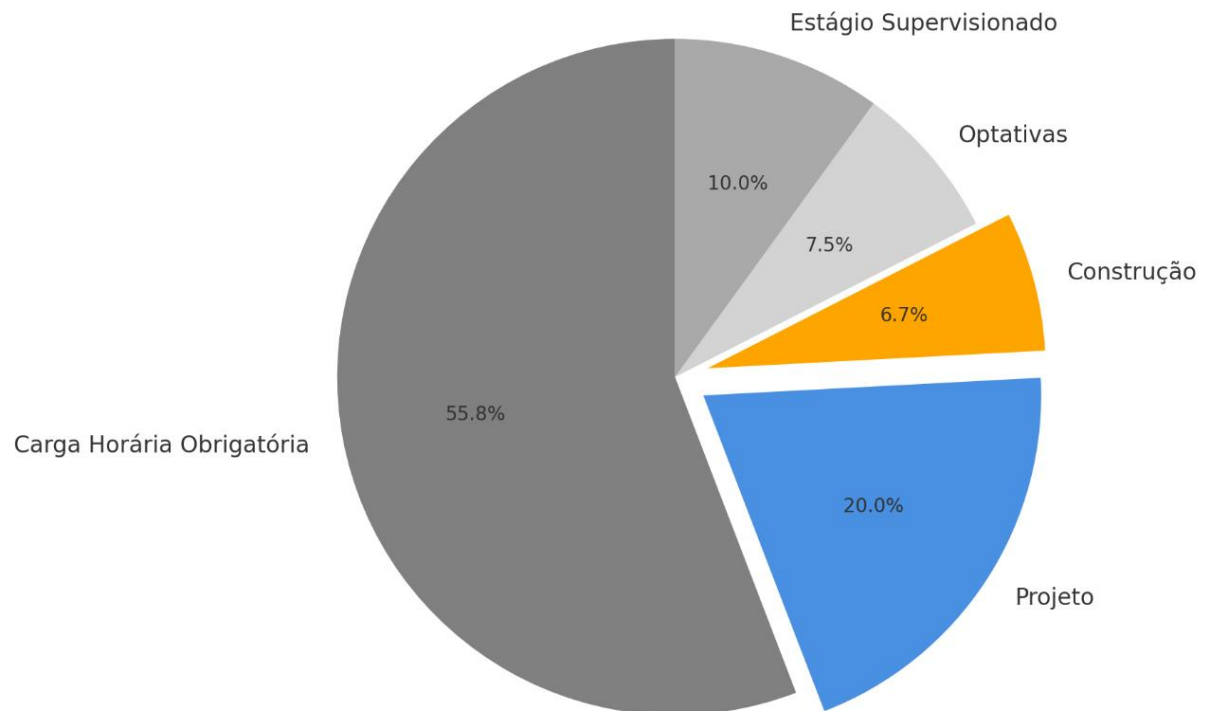
passasse a atuar em novos campos por meio do projeto, mantendo a centralidade do ateliê e expandindo o escopo profissional delineado pela reforma.

Essa discrepância entre o ensino de Projeto e o ensino de Construção nos cursos de Arquitetura e Urbanismo é claramente observada na distribuição da carga horária. No caso da UFMG, uma análise detalhada do currículo revela uma desproporção considerável entre as disciplinas dedicadas ao ensino de projeto e aquelas voltadas ao ensino técnico de construção.

O curso de Arquitetura e Urbanismo possui uma carga horária mínima obrigatória de 3.600 horas e uma duração de cinco anos (Resolução CNE/CES Nº 2/2007) (Brasil, 2007). Na UFMG, das 3.600 horas mínimas obrigatórias, 2.745 horas são destinadas à grade curricular fixa. Além disso, 540 horas são alocadas para as disciplinas de Projetos de Arquitetura, chamadas de PFLEX, 360 horas para o estágio supervisionado, 270 horas para disciplinas optativas e 120 horas para disciplinas complementares de livre escolha. As disciplinas de Projeto somam um total de 720 horas, incluindo Projeto Integrado, PFLEX e o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), que ainda se baseia majoritariamente em projetos.

Em contraste, as disciplinas obrigatórias que tratam de Construção — Materiais e Técnicas de Construção I e II, Técnicas Retrospectivas, Tecnologia da Construção e Orçamento, Planejamento e Administração de Obras — somam apenas 240 horas. Essa disparidade na carga horária revela um desequilíbrio claro: enquanto as disciplinas de Projeto correspondem a 20% da carga horária total do curso, as disciplinas de Construção representam 6,7% do tempo total contemplado na formação acadêmica obrigatória.

Figura 2 – Distribuição da carga horária no curso de Arquitetura da UFMG



Fonte: Autor (2024).

Esse padrão de distribuição de horas se repete em outras universidades. Na Universidade Federal da Bahia (UFBA), por exemplo, as disciplinas de projeto correspondem a 43% da carga horária, enquanto as disciplinas de construção representam 9% (Santos Neto, 2019).

A questão didática no ensino de Construção é outro ponto crítico. Embora a carga horária seja um fator a considerar, o problema maior reside na abordagem pedagógica. O ensino de Construção, em sua maioria, é teórico e ministrado por meio de aulas expositivas, com pouca ou nenhuma integração prática. As disciplinas obrigatórias abordam temas fundamentais, como materiais, sistemas construtivos e normas técnicas — presentes em conteúdos como Materiais e Técnicas de Construção I e II, Técnicas Retrospectivas e Tecnologia da Construção —, mas ainda apresentam um viés predominantemente teórico. As atividades práticas, quando existentes, são pontuais e não se articulam com o desenvolvimento de projetos nas disciplinas de Projeto Arquitetônico. Isso reflete uma lacuna no ensino, onde o conhecimento técnico poderia ser melhor explorado e integrado à prática projetual.

Esse formato, embora amplamente implementado e aceito na transmissão de conceitos técnicos, pode ser insuficiente em uma área que depende essencialmente

da prática e da execução. A construção envolve processos que exigem habilidades manuais, vivência no ambiente de obra e domínio de técnicas e materiais — elementos que dificilmente são transmitidos por métodos puramente teóricos.

Por outro lado, o ensino de Projeto é desenvolvido de maneira mais interativa e prática. Os estudantes são incentivados a resolver problemas concretos por meio de exercícios de projeto em um ambiente onde recebem feedback contínuo e orientação dos professores. Esse processo de aprendizagem, mais dinâmico, proporciona uma formação que reflete melhor as exigências contemporâneas, ao preparar o aluno para lidar com desafios e aplicar seus conhecimentos de forma prática.

Outro fator relevante é a falta de interdisciplinaridade e a desconexão entre as disciplinas de Projeto e Construção. As disciplinas voltadas para a construção são frequentemente tratadas de forma isolada, focadas em seus próprios conteúdos, sem interagir de maneira efetiva com o campo do projeto arquitetônico. Essa abordagem fragmentada impede que os alunos percebam a relação direta entre o conhecimento técnico de construção e sua aplicação no desenvolvimento de projetos. Como resultado, ao invés de serem integradas de maneira complementar, as disciplinas de construção acabam sendo vistas como “paralelas”, limitando a capacidade dos estudantes de aplicar os conceitos construtivos em situações práticas de projeto.

As disciplinas de Projeto, que frequentemente exigem dedicação extraclasse significativa, poderiam servir como um campo fértil para a aplicação dos conhecimentos técnicos adquiridos nas disciplinas de construção. No entanto, essa integração raramente acontece de maneira efetiva, visto que os projetos de arquitetura são tratados majoritariamente como exercícios criativos e conceituais, vinculados às realidades construtivas. Essa separação limita a formação dos estudantes, que deixam de desenvolver uma compreensão holística do processo arquitetônico, desde a concepção até a execução.

Em suma, embora a disparidade na carga horária entre disciplinas de Projeto e Construção seja um indicador claro de desequilíbrio, o cerne do problema está na abordagem pedagógica. A falta de integração entre teoria e prática, aliada à desconexão entre as disciplinas de Projeto e Construção, favorece uma formação fragmentada, dificultando que os futuros arquitetos relacionem efetivamente a concepção do espaço com sua execução. Portanto, é essencial repensar as

metodologias de ensino e adotar estratégias que promovam uma aprendizagem mais integrada, contextualizada e coerente com as exigências profissionais contemporâneas.

2.2 A importância da experiência

Diante do cenário delineado sobre o ensino de Construção nos cursos de Arquitetura e Urbanismo, torna-se fundamental repensar a abordagem pedagógica adotada. O ensino/aprendizagem baseado na experimentação emerge como uma estratégia promissora, ao permitir que o estudante vivencie de forma direta os processos construtivos, essenciais em uma área que depende profundamente da prática. O conceito de aprendizagem pela experiência — amplamente discutido por autores como John Dewey (1959, 1976), David Kolb (1984) e Donald Schön (2000) — fornece uma base teórica sólida para entender como a prática pode ser integrada ao processo educacional.

John Dewey (1959), um dos pioneiros nessa abordagem, defendeu que o aprendizado ocorre de forma mais eficaz quando os estudantes são colocados em situações onde podem experimentar e refletir sobre suas ações. Para Dewey (1959, p. 239, tradução nossa), “a educação é um processo de viver e não uma preparação para a vida futura”, enfatizando que o conhecimento se constrói a partir da interação ativa entre o indivíduo e o ambiente. No contexto do ensino de Construção, isso sugere que os estudantes devem ser expostos a experiências práticas que simulem as condições reais de um canteiro de obras.

Seguindo essa linha de pensamento, Dewey (1959) enfatiza que a tarefa do educador é organizar essas experiências de forma intencional, garantindo que elas não apenas sejam proveitosas no momento presente, mas que também proporcionem ao estudante ferramentas para enfrentar desafios futuros. Ele sugere que as experiências educacionais devem ser estrategicamente planejadas para incentivar o crescimento contínuo do aluno, preparando-o para novas situações.

A qualidade de qualquer experiência tem dois aspectos: o imediato de ser agradável ou desagradável e o mediato de sua influência sobre experiências posteriores. O primeiro é óbvio e fácil de julgar. Mas, em relação ao efeito de uma experiência, a situação constitui um problema para o educador. Sua tarefa é a de dispor as coisas para que as experiências, conquanto não repugnem ao estudante e antes mobilizem seus esforços, não sejam

apenas imediatamente agradáveis, mas o enriqueçam e, sobretudo, o armem para novas experiências futuras. Assim como homem nenhum vive ou morre para si mesmo, nenhuma experiência vive ou morre para si mesma. Independentemente de qualquer desejo ou intento, toda experiência vive e se prolonga em experiências que se sucedem (Dewey, 1976, p. 16, tradução nossa).

A ideia de aprender com a experiência vai além da simples ação de fazer algo; ela envolve um processo dinâmico que integra corpo, mente e reflexão crítica, criando uma conexão entre a prática e o conhecimento. Kolb (2015), ao formular a teoria do ciclo de aprendizagem experiencial, propõe uma abordagem estruturada para compreender como o aprendizado ocorre a partir da vivência e da reflexão sobre a prática.

O princípio central é que a vivência de uma experiência concreta (EC) — isto é, a prática de uma ação — desencadeia as demais etapas, que estão conectadas entre si de forma contínua e recursiva. A segunda etapa consiste na reflexão sobre a ação realizada (OR), buscando compreender seus resultados e impactos. Na terceira, formula-se uma ideia ou conceito abstrato a partir dessa reflexão (CA), construindo um entendimento mais amplo da experiência. Por fim, esse novo conhecimento guia a próxima ação (EA), potencialmente enriquecendo as futuras práticas com base no aprendizado adquirido.

O Ciclo de Kolb, originalmente publicado na obra *“Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development”* em 1984, foi amplamente difundido e apresentava uma visão sequencial das etapas de aprendizagem. No entanto, na edição mais recente de 2015, Kolb revisa essa abordagem e apresenta uma visão mais dinâmica e interconectada das etapas. Ele destaca as relações dialéticas entre ação/reflexão e experiência/abstração, enfatizando que, em vez de uma progressão rígida e linear, o processo de aprendizagem envolve flexibilidade. Assim, o aprendiz pode alternar entre diferentes estilos ou modos de aprendizado, de acordo com as demandas da situação (Kolb, 2015).

Essa revisão impacta a aplicação prática no ensino ao reconhecer que os estudantes possuem diferentes estilos de aprendizagem e que uma abordagem flexível pode responder de forma mais eficaz às suas necessidades individuais. No ensino de Construção, isso implica que as atividades educacionais deveriam permitir que os estudantes transitassem entre a prática e a teoria, entre a ação e a reflexão, de maneira adaptativa.

O ponto central da nova abordagem é reconhecer a relação dialética entre formas complementares de aprendizado: o abstrato e o concreto, que envolvem tanto a ação direta quanto a interpretação conceitual, e o ativo e o reflexivo, que se manifestam pela manipulação prática do mundo externo ou pela reflexão interna. Dessa maneira, Kolb (2015) considera que o conhecimento é resultado de uma experiência quando ela é intencionalmente apreendida e transformada. No contexto do ensino de Construção, isso implica criar oportunidades onde os estudantes possam experimentar diretamente os processos construtivos e, simultaneamente, refletir e abstrair conceitos a partir dessas experiências.

Donald Schön (2000) também contribui para a compreensão do aprendizado vinculado à experiência, destacando a importância da aula prática, ou “ateliê”, que é tradicionalmente central no ensino de Projeto nos cursos de Arquitetura. Schön argumenta que o processo de ensino não deve se limitar à transmissão de conhecimentos teóricos, mas deve envolver uma prática reflexiva, onde os estudantes aprendem fazendo e refletindo sobre suas ações. Nesse contexto, o ensino de Projeto incorpora elementos da prática, permitindo que os alunos experimentem de forma direta, lidando com problemas reais ou simulados.

A prática reflexiva, como caracterizada por Schön (2000), envolve um processo contínuo de descoberta e aprendizado, onde o estudante se torna capaz de pensar como um profissional ao confrontar desafios, discutir soluções e ajustar seus métodos em resposta ao feedback. No entanto, enquanto o ensino de Projeto incorpora esses aspectos de prática reflexiva, o ensino de Construção não dispõe de abordagens equivalentes que aproximem os alunos da vivência prática dos processos construtivos.

Para superar essa lacuna no ensino de construção, é interessante desdobrar o aprendizado experiencial sob a perspectiva de Kolb. Sua teoria destaca diferentes formas de apreensão e transformação da experiência, que podem resultar em diversos tipos de conhecimento, dependendo da combinação dos estágios envolvidos.

Kolb (2015) identifica quatro tipos de conhecimento resultantes dessas combinações:

- **O Conhecimento Acomodativo:** surge da combinação de Experiência Concreta (EC) e Experimentação Ativa (EA). Por exemplo, ao construir um protótipo e imediatamente aplicar esse conhecimento em novas situações

práticas. Esse tipo de conhecimento é caracterizado pela adaptabilidade e pela resolução prática de problemas;

- **O Conhecimento Divergente:** surge da combinação de Experiência Concreta (EC) e Observação Reflexiva (OR). Ocorre quando o estudante participa de uma atividade prática e, em seguida, reflete profundamente sobre essa experiência para gerar novas ideias. Esse conhecimento enfatiza a capacidade imaginativa e a percepção de múltiplas perspectivas;
- **O Conhecimento Assimilativo:** surge da combinação de Observação Reflexiva (OR) e Conceitualização Abstrata (CA). Manifesta-se quando o estudante observa um fenômeno, reflete sobre ele e desenvolve teorias ou modelos conceituais. Aqui, o foco está na integração lógica e na criação de conceitos abstratos;
- **O Conhecimento Convergente:** surge da combinação de Conceitualização Abstrata (CA) com Experimentação Ativa (EA). É exemplificado quando se aplicam teorias abstratas para resolver problemas práticos específicos. Esse tipo de conhecimento valoriza a aplicação prática de ideias e a resolução técnica de problemas.

A partir desses conceitos é pertinente frisar que o ensino de Construção nos cursos de Arquitetura apoia-se predominantemente em aulas teóricas expositivas. Em uma situação ideal, na qual o envolvimento do aluno ocorre de maneira significativa — o que nem sempre ocorre na prática — esse formato favorece a construção do conhecimento assimilativo. Isso ocorre porque esse tipo de ensino tende a promover a Observação Reflexiva (OR) e, em seguida, a Conceitualização Abstrata (CA), incentivando o estudante a organizar e integrar o que foi observado de maneira teórica em conceitos mais amplos. No entanto, a ausência de Experiência Concreta (EC) e de Experimentação Ativa (EA) limita o processo de aprendizagem, impedindo que o estudante vivencie e aplique o conhecimento de forma prática.

Ou seja, o ensino de Construção, mesmo nas melhores situações, contempla apenas dois dos estágios da aprendizagem experiencial, o que limita os estilos e as variedades de aprendizagem, restringindo o processo a um nível predominantemente teórico e abstrato, focado na assimilação. Além disso, a falta de motivação e engajamento representa um desafio significativo, uma vez que o

interesse dos alunos é essencial para mobilizar foco e energia mental, permitindo que o aprendizado ocorra de maneira efetiva. Nesse sentido, o ensino tradicional de Construção enfrenta dificuldades adicionais, visto que, por ser frequentemente secundarizado em relação ao ensino de Projeto — considerado o foco central dos cursos de Arquitetura —, tende a despertar menos interesse entre os estudantes, reforçando um contexto desfavorecido desde o início.

Com a introdução da experimentação ou da experiência concreta, que pode ser transformada pela reflexão, o ensino de Construção poderia gerar um conhecimento que estimula a capacidade imaginativa e a percepção de significados e valores. Isso possibilita visualizar situações concretas sob diferentes perspectivas. Por exemplo, atividades práticas como a construção de modelos em escala real ou a simulação de processos construtivos podem enriquecer a compreensão dos estudantes. Esse processo é capaz de gerar diferentes tipos de conhecimento, como o acomodativo, o divergente ou o convergente, dependendo da forma como cada aluno apreende a experiência.

Além disso, é possível alcançar um nível mais abrangente de aprendizado por meio do conhecimento integrativo, que perpassa todos os estágios do ciclo de aprendizagem experiencial. Esse tipo de conhecimento combina elementos de todas as formas de aprendizado e reflete uma compreensão mais rica e abrangente da experiência. Trata-se de um processo dinâmico e cíclico, que percorre todas as fases do ciclo de aprendizagem — experimentação, reflexão, conceituação e ação — de maneira contínua e recursiva.

Como define Kolb (2015):

O conhecimento integrativo representa a forma mais elevada de aprendizado, onde o indivíduo transcende os domínios de conhecimento especializado e os integra em uma compreensão coesa. Essa abordagem holística do aprendizado não apenas sintetiza diferentes tipos de conhecimento, mas também permite adaptabilidade na aplicação desse conhecimento em diversos contextos (Kolb, 2015, p. 328, tradução nossa).

No ensino de Construção, promover o conhecimento integrativo significa proporcionar aos estudantes experiências práticas significativas que os desafiem a aplicar conceitos teóricos em situações práticas, refletir sobre essas experiências e desenvolver novas conceituações que podem ser novamente testadas. Isso não apenas enriquece o aprendizado, como também prepara os futuros arquitetos para

lidar com a complexidade e a diversidade de situações que encontrarão na prática profissional.

É importante reconhecer que algumas iniciativas práticas já foram contempladas nos cursos de Arquitetura, como demonstram iniciativas conhecidas, a exemplo das visitas técnicas a canteiros de obras e das oficinas de técnicas construtivas em espaços como os “canteiros experimentais”. No entanto, apesar de seu potencial, essas práticas ainda enfrentam desafios em termos de implementação e alcance.

No próximo tópico, serão apresentadas essas abordagens que buscam integrar a prática ao ensino, examinando seu potencial, características e limitações no contexto atual da formação em Arquitetura, preparando o terreno para uma visão crítica sobre sua eficácia e a abertura para uma nova proposição.

2.3 O canteiro experimental

No contexto do ensino de Construção no Curso de Arquitetura, podem ser identificadas duas principais iniciativas que buscam aproximar a teoria da prática e do canteiro de obras: as visitas técnicas e as iniciativas de prática manual, realizadas por meio de oficinas, workshops ou experiências didáticas, sejam externas ou no próprio espaço físico da instituição. Essas estratégias têm como objetivo tornar os estudantes mais próximos da realidade prática do canteiro, permitindo uma experiência mais direta dos processos construtivos.

As visitas técnicas são a estratégia predominante nas disciplinas de construção. Elas buscam aproximar os alunos da realidade de uma obra em andamento, agendando visitas a canteiros ativos. No entanto, as visitas técnicas enfrentam desafios significativos.

Em primeiro lugar, destaca-se a dificuldade de acesso: canteiros de obras são ambientes fechados e a autorização para visita depende de terceiros, o que nem sempre é viável. Nem todas as obras estão dispostas ou preparadas para receber alunos, especialmente em momentos de maior complexidade no cronograma da obra.

Em segundo lugar, há questões de segurança envolvidas. Dependendo da escala da obra, pode ser difícil garantir a visita de um grande número de alunos. É necessário assegurar equipamentos de proteção individual (EPIs) e organizar um

ambiente seguro para os visitantes, além de considerar que o movimento de muitas pessoas no canteiro pode representar um risco à segurança.

Outro ponto relevante é a descontinuidade dessas visitas. Elas são normalmente pontuais, organizadas conforme a disponibilidade de uma obra em fase de execução. Isso fragmenta a compreensão dos diversos procedimentos, pois os alunos geralmente têm acesso a apenas uma etapa do processo construtivo, dificultando o acompanhamento contínuo da evolução da obra.

Além disso, embora esclarecedoras, as visitas permitem apenas uma visualização passiva dos processos. Logo, acabam funcionando mais como **complemento** à aula expositiva tradicional, sem proporcionar uma verdadeira **imersão prática**. Outro aspecto crítico é a forma como essas visitas são conduzidas. Existe uma preparação prévia que inclua análise crítica do projeto, leitura dos desenhos e entendimento profundo das etapas da obra? Ou, pelo contrário, são visitas superficiais, sem vínculo direto com a aprendizagem teórica?

A segunda modalidade relevante para a aproximação do ensino à prática construtiva é a realização de **exercícios práticos de execução**, que podem proporcionar um contato direto com os procedimentos de construção. No curso de Arquitetura e Urbanismo da UFMG, por exemplo, essas iniciativas são esporádicas e, geralmente, ocorrem em oficinas organizadas de forma isolada por professores. Entre os exemplos, podemos citar a construção de pavilhões efêmeros, mutirões em comunidades carentes e atividades internas simples, como o assentamento de tijolos. Entretanto, essas práticas resultam em impactos pontuais, sem planejamento contínuo e, em muitos casos, deixam resíduos como entulho no espaço físico da instituição.

Apesar dessas limitações, algumas escolas de Arquitetura já almejam a criação de **canteiros experimentais permanentes** dentro das instituições. Idealmente, o canteiro experimental não seria apenas um espaço físico, mas uma **infraestrutura completa e integrada**, capaz de proporcionar experiências construtivas variadas, diretamente vinculadas às disciplinas do curso.

A criação de um canteiro experimental exige um planejamento detalhado, incluindo a seleção dos equipamentos necessários, a definição das áreas de experimentação — cobertas ou descobertas — e a logística para armazenamento e descarga de materiais. Medidas de segurança adequadas também são fundamentais para garantir a proteção dos estudantes e professores envolvidos. Além disso, o

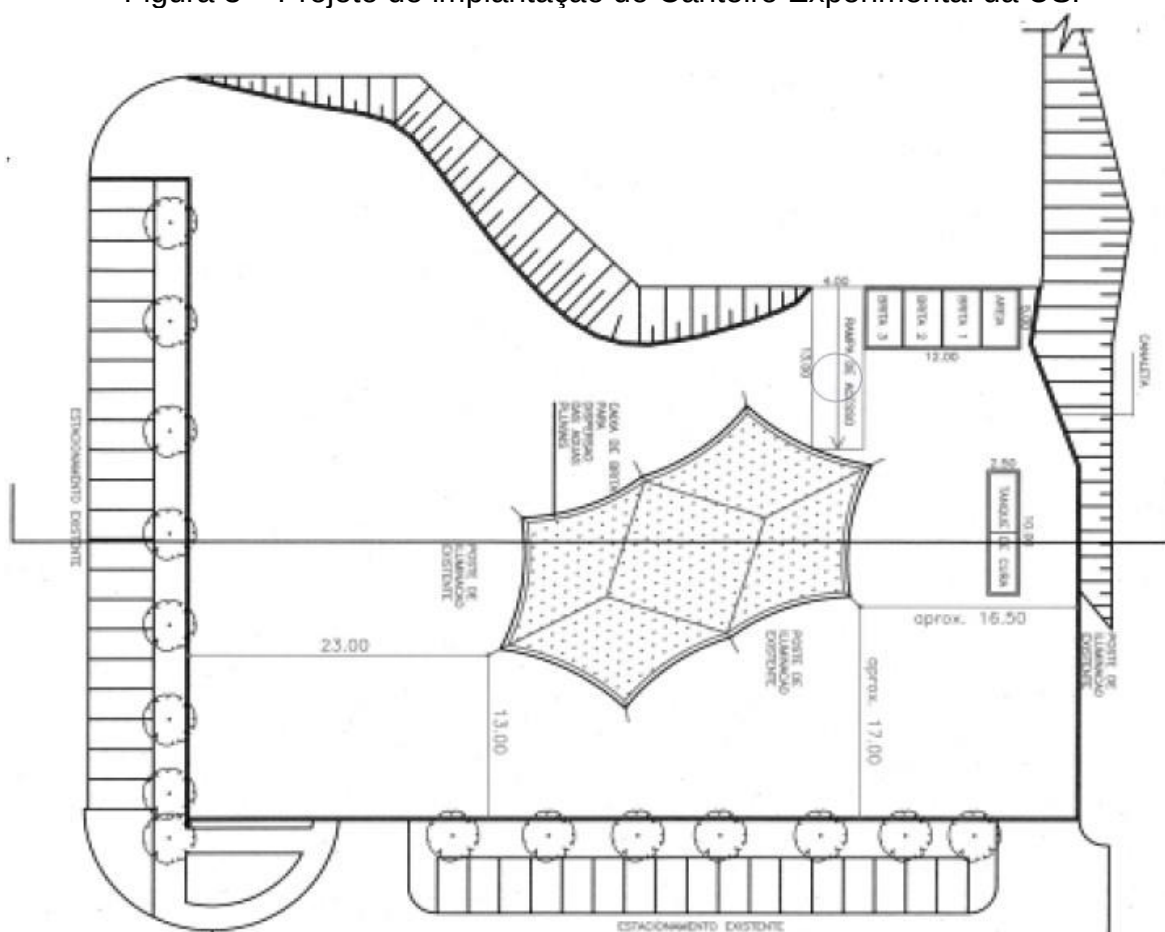
funcionamento eficaz desse espaço depende de uma equipe técnica qualificada, responsável por supervisionar as atividades e assegurar que os procedimentos sejam executados corretamente. Sem esses elementos, o canteiro corre o risco de ser subutilizado ou desconectado do currículo acadêmico.

Outro desafio é a manutenção contínua dessa infraestrutura. O desgaste de materiais, a necessidade de manutenção/atualização de equipamentos e os custos recorrentes demandam investimentos regulares. Sem isso, o canteiro experimental pode se tornar obsoleto, comprometendo tanto a qualidade pedagógica quanto a segurança dos envolvidos.

Entre os canteiros mais consolidados está o Canteiro Experimental da FAU-USP, criado em 1993. Inicialmente, esse espaço foi estabelecido em um canteiro de obras existente do campus e, em 1997, realocado para uma área projetada exclusivamente para abrigar de forma definitiva o canteiro experimental, proporcionando uma infraestrutura mais adequada para as atividades práticas dos alunos.

Este espaço dispõe de uma área coberta de 380 m², com uma cobertura tensionada, bancadas equipadas com tomadas elétricas e cubas, tanque para a cura submersa de materiais e baias designadas para o armazenamento de insumos como pedras, areias e solos. Segundo Ronconi (2005), o canteiro atende a quatro disciplinas do curso — três obrigatórias e uma optativa — e combina a explanação teórica em sala com a construção de protótipos e atividades práticas no próprio espaço. Técnicas exploradas incluem alvenaria armada, argamassa armada, alvenaria portante e exercícios avançados, como estruturas catenárias.

Figura 3 – Projeto de implantação do Canteiro Experimental da USP



Fonte: Ronconi (2005).

Para ilustrar o cenário atual da adoção dos canteiros experimentais, existem 812 cursos de Arquitetura e Urbanismo em atividade no Brasil, segundo dados do Ministério da Educação (Brasil, [2024]). No entanto, apenas 12 canteiros experimentais estão implementados em cursos de Arquitetura (Rubens; Dias, 2019)², dos quais 25% pertencem a instituições privadas e 75% a instituições públicas. Esse número reduzido evidencia tanto a raridade dos canteiros experimentais no panorama educacional como a disparidade entre instituições públicas e privadas. Tal discrepância se justifica, em parte, pelo alto investimento e pela complexidade técnica que a implantação e manutenção de um canteiro experimental demandam.

² **Nota de rodapé:** As instituições que possuem canteiros experimentais são: FAUUSP (pública, São Paulo, SP), USP – São Carlos (pública, São Carlos, SP), Mackenzie (privada, São Paulo, SP), FAUUFRRJ (pública, Rio de Janeiro, RJ), UFMS (pública, Campo Grande, MS), UFBA (pública, Salvador, BA), UFFS (pública, Chapecó, SC), UFG (pública, Goiás, GO), UTFPR (pública, Paraná, PR), UFPR (pública, Paraná, PR), PUC-Minas (privada, Belo Horizonte, MG), UNIFEMM (privada, Sete Lagoas, MG).

Figura 4 – Canteiro experimental da USP



Fonte: Ronconi (2005).

Além da FAU-USP, outras instituições mantêm canteiros experimentais, como a instituição pública FAU-UFRJ (Figura 5) e a instituição privada PUC Minas (Figura 6). Contudo, há pouca informação disponível sobre a situação e o uso efetivo desses espaços.

Figura 5 – Canteiro experimental FAU-UFRJ em 2017



Fonte: UFRJ (2017).

Figura 6 – Canteiro experimental PUC Minas



Fonte: PUC Minas (2022).

Além dos canteiros experimentais, também é relevante considerar os laboratórios de fabricação digital, ou *maker spaces*, que surgiram em algumas instituições na última década. Contudo, embora tenham um importante valor pedagógico, esses espaços não se concentram diretamente no ensino de Construção. Normalmente, trata-se de ambientes adaptados para acomodar equipamentos como fresadoras CNC, cortadoras a laser e impressoras 3D, voltados principalmente para a prototipagem e a representação de maquetes e objetos, sendo ocasionalmente utilizados para construções temporárias. Portanto, diferentemente dos canteiros experimentais, esses laboratórios não abordam a aplicação prática de sistemas construtivos em escala real.

2.4 A proposta de um canteiro didático em realidade virtual

Diante da defasagem do ensino de Construção nos cursos de Arquitetura — marcada por sua condição de marginalidade e desconexão com o ensino de Projeto — e reconhecendo a importância da experiência prática como elemento engajador e enriquecedor da aprendizagem, torna-se imperativo buscar novas abordagens. Além disso, os desafios relacionados à implantação e à gestão de canteiros experimentais físicos — como altos custos, ampla demanda de espaço físico e infraestrutura adequada, questões de segurança, além da crescente raridade dessas iniciativas

nas instituições de ensino — reforçam a necessidade de alternativas inovadoras. Nesse contexto, propõe-se o uso de tecnologias digitais para criar um canteiro de obras didático em realidade virtual.

Nos últimos anos, a tecnologia da realidade virtual (RV) avançou de forma extraordinária. Dispositivos como *headsets* e controles se tornaram mais acessíveis e ergonômicos, permitindo períodos de uso mais prolongados. Essas melhorias proporcionaram um alto grau de imersividade e de sensação de presença, possibilitando experiências e interações no ambiente virtual cada vez mais envolventes. Melhorias na qualidade gráfica, na precisão dos sensores de movimento e no desenvolvimento de softwares especializados ampliam o potencial da RV em diversas áreas, incluindo educação, treinamento profissional e simulações complexas.

Ao possibilitar vivências simuladas de processos construtivos, a RV apresenta potencial para alinhar-se aos princípios da aprendizagem experiencial já discutidos, permitindo que o estudante transite da teoria à prática, reflita sobre suas ações e construa novos entendimentos. Assim, limitações físicas, estruturais e financeiras poderiam ser amenizadas, enriquecendo o ensino de Construção no curso de Arquitetura sem as barreiras impostas por um canteiro experimental físico.

A adoção da realidade virtual no ensino de Construção também pode favorecer a inclusão de conteúdos que seriam logisticamente inviáveis em um canteiro experimental físico. Por exemplo, a simulação pode englobar fases da obra difíceis de presenciar ao vivo, testar novas tecnologias construtivas ou incluir materiais e sistemas pouco acessíveis. Além disso, os riscos envolvidos em atividades práticas podem ser eliminados no ambiente virtual, permitindo o estudo seguro e contínuo de técnicas construtivas diversificadas.

Essa abordagem busca não apenas superar limitações existentes, mas abrir novas perspectivas para a formação de profissionais mais preparados para os desafios contemporâneos. Ao integrar a realidade virtual, espera-se promover um ensino mais interativo e alinhado com as demandas tecnológicas atuais, integrando-se de forma orgânica ao currículo e potencializando o ciclo de aprendizado (teoria-prática-reflexão-aplicação).

Para testar essa hipótese, desenvolveu-se um protótipo do Canteiro Didático em Realidade Virtual utilizando o motor de jogos Unity e o dispositivo Oculus Quest 2. A escolha dessas ferramentas se deve à acessibilidade, versatilidade e

capacidade de criar ambientes imersivos de alta qualidade, permitindo avaliar o potencial pedagógico da RV no ensino de Construção.

Na próxima seção, serão exploradas as nuances e possibilidades da RV no contexto educacional, bem como pesquisas prévias que evidenciam seus impactos positivos na aprendizagem. Esses estudos buscam oferecer um respaldo conceitual e empírico à proposta, fundamentando o uso da tecnologia como uma ferramenta promissora para o ensino integrado de Construção no curso de Arquitetura.

3 FUNDAMENTOS E DESAFIOS DA REALIDADE VIRTUAL NO ENSINO DE CONSTRUÇÃO

A Realidade Virtual (RV) tem emergido como uma das tecnologias mais promissoras e transformadoras das últimas décadas, estendendo seus impactos para além do entretenimento e alcançando áreas como educação, engenharia, saúde e arquitetura. Sua capacidade de criar ambientes tridimensionais interativos e imersivos abre novas possibilidades para experiências que transcendem as limitações do mundo físico, permitindo simulações complexas e aprendizagens mais engajadoras.

Esta seção explora os fundamentos da RV, seus desafios e projeções futuras, com um foco especial na aplicação dessa tecnologia no ensino de Construção e Projeto Arquitetônico. Inicia-se com uma revisão dos conceitos básicos da RV, incluindo sua evolução histórica e as taxonomias que a definem. Em seguida, discutem-se os desafios biológicos e técnicos na implementação da RV, como a *cybersickness* e as limitações de hardware, bem como estratégias para superar esses obstáculos.

A gamificação e o uso de motores de jogos, como o Unity, são abordados como ferramentas essenciais que têm impulsionado o desenvolvimento de aplicações interativas em RV. Exemplos de jogos ilustram como essas plataformas podem ser utilizadas para simular processos construtivos e enriquecer o aprendizado.

Por fim, a seção apresenta uma revisão bibliográfica de pesquisas recentes que exploram experiências imersivas no ensino de Construção e Projeto. São analisados estudos relacionados e aplicativos desenvolvidos por outras pesquisas, identificando lacunas e oportunidades para o desenvolvimento de interfaces mais interativas e integradas que contribuam para o aprimoramento do ensino de Construção.

3.1 Realidade virtual (RV)

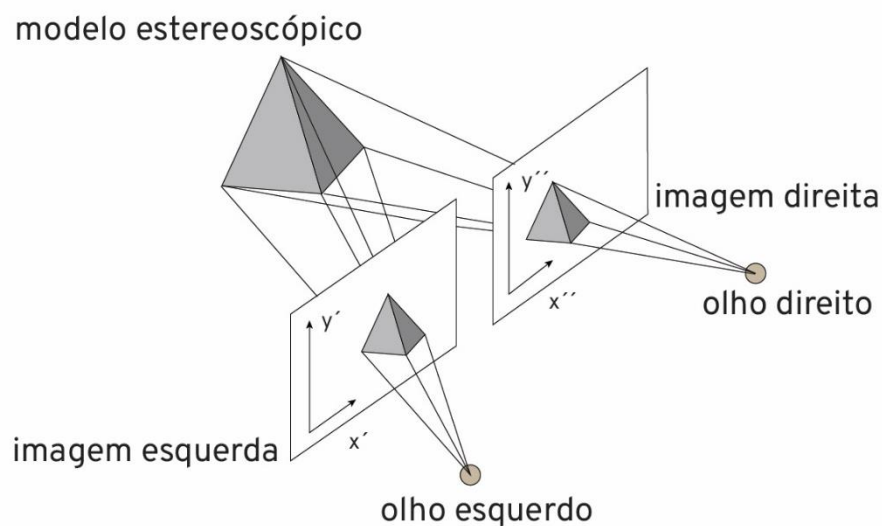
A realidade virtual (RV) tem se consolidado como uma tecnologia promissora, proporcionando experiências envolventes que transcendem os limites do mundo físico. Sua capacidade de criar ambientes tridimensionais interativos oferece

oportunidades inéditas em diversos campos, incluindo educação, saúde, engenharia e entretenimento. Com o avanço acelerado das tecnologias computacionais, a RV tornou-se mais acessível e popular, ampliando seu impacto na sociedade contemporânea.

O conceito de RV é definido como uma imersão completa do usuário em um ambiente sintético gerado por computador. Diferentemente de outras experiências tecnológicas, a RV pode replicar ou até ultrapassar as leis físicas do mundo real, criando a ilusão de presença no ambiente virtual. Essa imersão é alcançada por meio de dispositivos como *headsets* de realidade virtual, que proporcionam ao usuário uma visão tridimensional interativa, reforçando a sensação de presença e interação (Milgram; Kishino, 1994).

Para compreender a origem da RV, é fundamental considerar o princípio da estereoscopia. Desenvolvida no século XIX, juntamente com o advento da fotografia, a estereoscopia explora a capacidade humana de perceber profundidade ao combinar duas imagens ligeiramente deslocadas — uma para cada olho — criando uma única imagem tridimensional (Figura 7). Essa técnica pioneira estabeleceu as bases para futuras tecnologias de visualização tridimensional e experiências imersivas.

Figura 7 – Diagrama de estereoscopia



Fonte: Elaborada pelo autor, a partir de Corrêa (2009).

No contexto da RV, diversas definições e taxonomias foram propostas para categorizar as diferentes modalidades de ambientes virtuais. Milgram e Kishino (1994) introduziram o “Continuum de Virtualidade”, modelo que descreve a transição entre ambientes totalmente reais e totalmente virtuais, posicionando a RV na extremidade do ambiente totalmente virtual. Enquanto tecnologias como a realidade aumentada (RA) combinam elementos virtuais com o mundo real, a RV distingue-se por imergir o usuário em um ambiente completamente virtual, sem a interferência de elementos do mundo físico.

As dimensões da taxonomia de Milgram e Kishino ajudam a entender como a RV se diferencia das outras tecnologias e influenciam o design e a experiência em ambientes virtuais:

- **Extensão do Conhecimento do Mundo (*Extent of World Knowledge – EWK*):** na RV, um alto nível de EWK é essencial, pois o sistema precisa ter conhecimento detalhado sobre o ambiente virtual para proporcionar interações realistas. Isso inclui informações sobre a geometria do espaço, comportamentos físicos e respostas aos inputs do usuário. Por exemplo, em uma simulação de treinamento, o sistema deve reagir de forma precisa às ações do usuário para garantir a eficácia do aprendizado;
- **Fidelidade de Reprodução (*Reproduction Fidelity – RF*):** a RV busca maximizar a RF, reproduzindo ambientes com alta qualidade gráfica, áudio espacializado e física realista. Uma alta RF é crucial para criar um ambiente convincente, permitindo que o usuário se sinta verdadeiramente presente no mundo virtual. Detalhes como texturas, iluminação e som contribuem para a imersão e a satisfação do usuário;
- **Metáfora de Presença (*Extent of Presence Metaphor – EPM*):** a RV visa proporcionar a máxima EPM, onde o usuário se sente completamente inserido no ambiente virtual. Diferentemente de outras tecnologias menos imersivas, a RV oferece uma perspectiva em primeira pessoa, aumentando a sensação de presença e permitindo interações naturais dentro do ambiente virtual.

Essas dimensões fornecem uma estrutura clara para compreender as diferenças entre as formas de RV e suas aplicações, influenciando diretamente o design e a experiência imersiva.

A evolução da RV se manifestou em diversos formatos tecnológicos nas últimas décadas. Destacam-se os ambientes CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*) e os *headsets* de realidade virtual (dispositivos montados na cabeça), conhecidos como *head-mounted displays* (HMDs). Os sistemas CAVE consistem em salas projetadas onde imagens são exibidas nas paredes, teto e piso, permitindo ao usuário uma imersão total ao deslocar-se fisicamente pelo espaço virtual. Já os HMDs oferecem uma experiência individualizada e portátil, onde o usuário veste um dispositivo que exibe imagens estereoscópicas diretamente nos olhos, ampliando a sensação de presença.

Os HMDs apresentam vantagens significativas em termos de mobilidade e acessibilidade, pois permitem experiências tridimensionais em diversos contextos sem a necessidade de infraestruturas complexas. Com dispositivos mais leves, resoluções aprimoradas e maior capacidade de processamento, a RV tornou-se mais confortável e prática para usos prolongados.

A expansão do uso de dispositivos como o Oculus Quest exemplifica como os avanços tecnológicos facilitaram o acesso à RV, tornando-a mais integrada às atividades cotidianas e profissionais.

A popularização da RV impulsionou pesquisas que exploram suas potencialidades e desafios. Estudos investigam aspectos como a interface humano-computador, a qualidade da experiência do usuário, a redução de efeitos adversos, como a *cybersickness*, e a integração com tecnologias emergentes, como inteligência artificial e realidade aumentada. Essas pesquisas contribuem para o aprimoramento contínuo da RV, ampliando suas aplicações em diferentes contextos.

Assim, o panorama atual da realidade virtual reflete um campo dinâmico e em constante evolução, marcado por inovações tecnológicas. Compreender a origem e evolução da RV é essencial para identificar oportunidades de pesquisa e desenvolvimento. Ao explorar essas implicações, vislumbra-se o potencial da RV como ferramenta inovadora para o ensino de Construção.

3.2 Desafios na implementação da realidade virtual

3.2.1 Limitações biológicas e *cybersickness*

As primeiras iniciativas de implementação de realidade virtual (RV) remontam a décadas atrás, com o lançamento do primeiro *headset* para uso geral em 1995: o console de videogame *Virtual Boy*. Apesar do pioneirismo tecnológico, o console foi descontinuado em menos de um ano, em grande parte devido ao fracasso comercial provocado pelo desconforto físico que causava nos usuários e pela baixa qualidade da experiência imersiva oferecida. Esse caso se tornou um marco ao evidenciar os desafios que a tecnologia de RV enfrentaria nas décadas seguintes.

Um dos principais obstáculos para a adoção da RV está relacionado aos sistemas biológicos de percepção espacial, que são complexos e diretamente conectados à percepção da realidade concreta. O desconforto gerado por essa tecnologia é considerado um dos maiores gargalos para sua aceitação ampla, sendo provocado principalmente pelo descompasso entre os estímulos visuais percebidos durante a experiência virtual e o funcionamento do sistema vestibular, responsável pela orientação corporal.

O sistema vestibular é uma parte fundamental do sistema nervoso, desempenhando um papel crucial na manutenção do equilíbrio e na orientação espacial do corpo. Ele detecta a posição e os movimentos da cabeça em relação à gravidade, bem como movimentos lineares e rotacionais, permitindo que o corpo mantenha o equilíbrio tanto em repouso quanto em movimento. Além disso, o sistema vestibular é essencial para a coordenação dos movimentos oculares, garantindo que os olhos permaneçam focados em um ponto fixo mesmo durante o movimento da cabeça. Ele também é responsável por transmitir ao cérebro informações precisas sobre a orientação do corpo no espaço, facilitando a postura e os movimentos corporais em diversas situações.

É comum ocorrerem enjoos em veículos, barcos ou aviões porque pode haver um conflito quando os olhos veem o ambiente estável, mas o sistema vestibular detecta o movimento do corpo, levando a sintomas como náusea, tontura e sudorese. De maneira análoga, na realidade virtual, ocorre um conflito inverso: os olhos percebem o movimento virtual, enquanto o corpo permanece parado, desencadeando sintomas similares.

De acordo com Gallagher e Ferrè (2018), a *cybersickness*:

[...] pode ser devido a um conflito entre os sinais sensoriais que fornecem informações sobre a orientação e o movimento do corpo. Os sinais visuais dizem aos usuários que estão se movendo no ambiente. Como os usuários não estão realmente se movendo, sua arquitetura vestibular não fornece sinais correspondentes de aceleração linear e angular. [...] Quando os sinais visuais de automovimento não são corroborados por forças inerciais transmitidas por meio dos órgãos vestibulares, um conflito visuo-vestibular é provável de ocorrer, levando à *cybersickness* (Gallagher; Ferrè, 2018, p. 647, tradução nossa).

Os sintomas que podem aparecer em episódios de *cybersickness* são diversos e podem variar para cada pessoa, sendo os mais comuns: náusea, vertigem, dor de cabeça, fadiga ocular, suor excessivo, confusão cognitiva, fadiga, dificuldade para focar e tontura.

Esse fenômeno é especialmente relevante em aplicações de RV que utilizam “fluxo óptico”, um mecanismo visual que simula o movimento do ambiente ao redor do usuário. O fluxo óptico é frequentemente utilizado em simuladores de direção ou voo para induzir a sensação de deslocamento, mesmo sem o movimento físico do corpo, o que aumenta o risco de *cybersickness*. O cérebro, ao processar essas informações conflitantes, interpreta-as como um sinal de alerta, o que pode gerar sintomas de enjoo.

3.2.2 Adaptação e sensação de presença na RV

A intensidade da *cybersickness* está fortemente ligada à duração do uso: a princípio, quanto mais tempo se passa no dispositivo, mais acentuados ficam os sintomas de mal-estar e náusea. Um estudo realizado por Liu (2014) revelou que os participantes experimentaram um aumento dos sintomas à medida que o tempo de exposição aumentava de 5 para 15 minutos. No entanto, os sintomas foram menos intensos após uma sessão de 20 minutos, possivelmente devido à adaptação gradual do corpo ao ambiente virtual.

Portanto, a adaptação ao uso de realidade virtual é um processo relevante para minimizar os sintomas de *cybersickness* ao longo do tempo. Pesquisas revelam que, após várias exposições a um mesmo cenário virtual, os usuários tendem a relatar menos desconforto. O estudo de Hill e Howarth (2000) demonstrou que, após cinco sessões de 20 minutos em um jogo de corrida utilizando um dispositivo de RV,

a maioria dos participantes não apresentou mais sintomas significativos de enjoo, indicando que o corpo pode se ajustar às condições imersivas.

Outro fator que pode influenciar os sintomas é a sensação de presença, que, de acordo com Weech, Kenny e Barnett-Cowan (2019), poderia reduzir os sintomas de enjoo. Isso foi demonstrado por Busscher *et al.* (2011), que conduziram um experimento no qual mediram a intensidade e a presença da *cybersickness* enquanto os participantes assistiam a um vídeo em um ambiente simulado de *lounge*. Os autores concluíram que o aumento da sensação de presença está relacionado à redução dos sintomas, destacando uma correlação negativa significativa entre os dois fatores.

Vale ressaltar que a sensação de presença não está relacionada somente à qualidade visual da imersão, mas também aos estímulos e à interação. McCall, O'Neil e Carroll (2004) demonstraram que a interação desempenha um papel crucial na intensificação da sensação de presença em ambientes virtuais. Seus experimentos mostraram que a possibilidade de interagir com objetos, como tocar em uma mesa em um cenário virtual de escadaria, aumentou significativamente a imersão dos participantes. Esses resultados sugerem que elementos interativos bem projetados, que respondem de forma intuitiva às ações do usuário, são essenciais para fortalecer a percepção de “estar lá” em ambientes de realidade virtual.

Além disso, é essencial considerar estratégias para a redução da *cybersickness*, que envolvem tanto técnicas de design de software quanto de hardware. No design de software, podem ser adotadas medidas como evitar movimentos bruscos e oferecer diferentes opções de deslocamento, como o teletransporte, uma alternativa ao método de locomoção contínua que pode induzir a cinetose. Estudos de Jerald *et al.* (2008) mostraram que métodos de locomoção alternativa, como o teletransporte, reduzem o conflito sensorial e, consequentemente, o enjoo em RV. Outra técnica importante é o uso de “pontos de repouso” (*rest points*) que funcionam como elementos estáticos no campo visual do usuário e servem como referência fixa durante a experiência em RV criando uma âncora visual. Esses elementos fixos ajudam a estabilizar a percepção visual, permitindo que o sistema sensorial concilie informações conflitantes e reduza os sintomas de desconforto.

Em termos de hardware, recomenda-se o aumento da taxa de atualização das telas, idealmente acima de 90Hz (90 vezes por segundo), para garantir visuais mais

suaves, a redução do *lag* (atraso perceptível na resposta do sistema aos comandos do usuário) e a otimização da resolução gráfica. Como destacado por Harsora *et al.* (2017), muitos *headsets* de RV, como o Oculus Rift CV1 e o HTC Vive, já possuem taxas de atualização de 90Hz e alta resolução (1080x1200 por olho). Isso representa uma evolução significativa em comparação com os primeiros HMDs, que tinham capacidades técnicas limitadas, como taxas de 60Hz e resoluções muito mais baixas.

Dessa forma, é fundamental considerar a *cybersickness* no desenvolvimento de qualquer experiência imersiva em RV, visando minimizar seus efeitos e melhorar a usabilidade dos sistemas. Para medir a intensidade da *cybersickness*, é amplamente utilizado o Questionário de Enjoo em Realidade Virtual (*Virtual Reality Sickness Questionnaire* – VRSQ), criado com foco nas características específicas dos ambientes de RV para avaliar fatores como sintomas oculomotores e desorientação.

3.2.3 Limitações de hardware e evolução tecnológica

Outro aspecto relevante para o aprimoramento dos dispositivos de RV ao longo dos anos foram as limitações de hardware e processamento. A complexidade de gerar ambientes virtuais imersivos, com gráficos de alta qualidade e taxas de quadros suaves, exige um poder de processamento robusto. Os dispositivos pioneiros, como o *Virtual Boy* e outras tentativas realizadas nos anos 1990 e 2000, falharam em parte devido à incapacidade do hardware disponível na época de suportar a carga necessária para proporcionar uma experiência fluida e satisfatória.

A chegada do Oculus Rift em 2012, inicialmente como um projeto no Kickstarter, marcou um ponto de virada. Equipado com telas de alta resolução e sistemas de rastreamento de movimento mais precisos, o Rift buscou resolver problemas de latência e qualidade de imagem. Contudo, sua exigência de um computador potente para funcionar restringia seu uso a usuários com acesso a hardware de alto desempenho, limitando sua popularização.

O HTC Vive, lançado em 2016, avançou ainda mais ao introduzir controles de movimento precisos e rastreamento de ambiente, permitindo que os usuários se movessem fisicamente dentro do espaço virtual. Ambos os dispositivos, porém,

enfrentaram desafios como a necessidade de cabos conectados ao computador, o que poderia restringir os movimentos e afetar a imersão.

O Oculus Quest, lançado em 2019, e seu sucessor, o Meta Quest 2, representaram um avanço significativo ao oferecer uma experiência de RV totalmente sem fio. Integrando todo o hardware necessário no próprio *headset*, eles eliminaram a dependência de um computador externo. O Quest 2 se destacou por suas melhorias na resolução, na taxa de atualização e no poder de processamento, atribuídas ao uso de chips móveis avançados, tornando-o uma opção mais acessível e prática. Recentemente, as gerações mais novas de dispositivos, como o Meta Quest Pro, têm avançado ainda mais com a crescente integração de funcionalidades de realidade mista, combinando características de realidade virtual e realidade aumentada.

No entanto, esses dispositivos enfrentam um desafio constante: equilibrar desempenho e portabilidade. Limitados pela capacidade dos processadores móveis e pela necessidade de conservar energia para prolongar a vida da bateria, os desenvolvedores precisaram otimizar os jogos e aplicações para funcionarem eficientemente em um hardware menos potente do que o de um computador.

Os dispositivos mais recentes já apresentam melhorias significativas, como telas micro-OLED, que oferecem resoluções mais altas e ajudam a reduzir o “efeito de tela de porta” (*screen-door effect*). O *screen-door effect* é um fenômeno visual que ocorre em dispositivos de RV quando o usuário consegue perceber a estrutura da tela ou a grade formada pelos pixels, semelhante a olhar através de uma tela de porta. Isso acontece devido à baixa resolução das telas ou à proximidade dos olhos com a tela no *headset*. Esse efeito compromete a imersão e pode gerar desconforto visual. Além disso, recursos como rastreamento ocular e rastreamento total do corpo estão sendo integrados, melhorando a imersão e a interatividade das experiências em RV.

3.2.4 Interface e usabilidade dos dispositivos de RV

A criação de interfaces de usuário intuitivas e eficientes também tem sido um desafio significativo ao longo do desenvolvimento da RV. Nos primeiros dispositivos de RV, como o *Virtual Boy*, as interfaces eram rudimentares, apresentando controles pouco intuitivos e ausência de feedback tátil ou respostas naturais aos movimentos

do usuário. Essa usabilidade precária foi um grande obstáculo, fazendo com que os usuários perdessem o interesse pela tecnologia.

Nos dispositivos modernos, houve avanços significativos em controladores de movimento e interfaces imersivas, como o uso de rastreamento de mãos (*hand-tracking*) e controladores com feedback háptico. O *hand-tracking* permite capturar os movimentos naturais das mãos do usuário sem a necessidade de controladores físicos, proporcionando interações mais intuitivas no ambiente virtual. O feedback háptico, por sua vez, oferece respostas táteis ou sensações físicas, como vibrações ou resistências, aumentando a sensação de realismo e imersão. Apesar desses avanços, ainda há desafios relacionados à precisão e à usabilidade das interfaces, especialmente em dispositivos que envolvem controle de movimento total. Problemas como o *drift* (deslocamento indesejado da posição do usuário) e erros de rastreamento em ambientes com iluminação inadequada podem comprometer a experiência, tornando-a menos confiável.

Além disso, a curva de aprendizado para operar esses sistemas tende a ser alta, particularmente para usuários iniciantes ou pouco familiarizados com a tecnologia. Isso é especialmente crítico em aplicações educacionais, como o ensino de Construção, onde simplicidade e acessibilidade são fundamentais. Para os alunos, dificuldades de rastreamento ou imprecisões nos sensores podem impactar diretamente a precisão das simulações, prejudicando a execução de tarefas práticas e reduzindo a eficácia pedagógica.

Apesar dos avanços tecnológicos, a interface e a usabilidade dos dispositivos de RV ainda representam desafios consideráveis. Assim, interfaces intuitivas, confiáveis e de fácil uso são essenciais para a ampla adoção da RV, especialmente em contextos educacionais, nos quais a facilidade de uso, combinada com a confiabilidade das interações, é crucial para que os objetivos pedagógicos sejam plenamente alcançados.

Em suma, compreender e superar os desafios na implementação da realidade virtual é fundamental para promover seu desenvolvimento. Abordar questões como *cybersickness*, limitações de hardware e usabilidade não só aprimora a experiência do usuário, mas também possibilita a expansão das aplicações da RV em áreas diversas. No próximo tópico, serão analisadas algumas aplicações voltadas à educação e ao ensino de Construção, com o objetivo de entender como essas

práticas contribuíram para o desenvolvimento do campo e identificar potenciais pontos de avanço para o protótipo do canteiro de obras didático.

3.3 Referências e casos correlatos

O ensino de Arquitetura tem muito a se beneficiar da natureza imersiva da realidade virtual, o que é refletido na crescente produção acadêmica de pesquisas relacionadas à temática. A realidade virtual (RV) é identificada como uma ferramenta potencial para melhorar a retenção de conhecimento, aumentar a motivação e o engajamento dos alunos, além de proporcionar uma experiência de aprendizado mais rica e detalhada em comparação com métodos tradicionais baseados em papel.

Por isso, a aplicação da RV nos campos da Arquitetura e Construção vem ganhando atenção significativa, impulsionada tanto pelos avanços tecnológicos quanto pela busca por métodos mais inovadores de ensino e prática profissional.

Com o intuito de mapear a produção acadêmica relacionada a essa temática, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, visando identificar as principais aplicações e práticas da RV nesses setores. Para a condução da pesquisa, foram utilizadas três plataformas de reconhecimento acadêmico: o *Portal de Periódicos da Capes*, o *Semantic Scholar* e o *Scopus*. A escolha dessas bases de dados deve-se à sua ampla abrangência e à qualidade dos periódicos indexados, garantindo uma seleção criteriosa e relevante dos estudos. As palavras-chave empregadas na busca foram "virtual reality", "VR", "architecture" e "construction". Essas expressões foram selecionadas para abarcar trabalhos que explorassem a interseção entre a RV e os campos da Arquitetura e Construção, tanto em contextos educacionais quanto profissionais.

Notou-se, entretanto, que nem todos os artigos empregavam as palavras-chave de maneira precisa. A título de exemplo, muitos estudos utilizavam o termo "mixed reality", que engloba tanto a realidade virtual quanto a realidade aumentada. Optou-se por incluir esses artigos quando a presença da RV era mais evidente, reconhecendo que a distinção entre as tecnologias pode ser tênue em certos contextos, mas que a essência do estudo estava alinhada com o foco da pesquisa.

Após a primeira triagem, que buscou identificar estudos com relação direta aos termos pesquisados, chegou-se a um total de 122 artigos. Esses foram, então, categorizados de acordo com seu enfoque principal:

- **RV aplicada ao ensino de Projeto:** 30 artigos se enquadram nessa categoria, abordando a utilização da RV como ferramenta pedagógica no ensino de Projeto Arquitetônico;
- **RV aplicada ao ensino de Construção:** 15 artigos foram identificados como focados especificamente no ensino de Construção;
- **Interfaces de simulação de construção com RV:** 5 artigos focaram na utilização e desenvolvimento de plataforma ou aplicativo de RV para a simulação interativa de sistemas construtivos.

No ensino ou processo de projeto, os artigos analisados destacam como a RV facilita a visualização tridimensional de projetos, permitindo que estudantes e profissionais naveguem por espaços virtuais e avaliem aspectos como proporção, escala e iluminação. Essa imersão contribui para uma compreensão mais profunda dos projetos e auxilia na identificação precoce de problemas de design. Além disso, a RV pode estimular a colaboração entre equipes multidisciplinares, com a possibilidade de interação simultânea no ambiente virtual.

Uma das aplicações mais frequentes no ensino de Projeto com RV é a imersão em escala 1:1, considerada especialmente relevante porque permite vivenciar uma percepção espacial que seria acessível apenas com a construção física. A RV possibilita um entendimento do espaço que ultrapassa as limitações do desenho técnico em escalas reduzidas, oferecendo uma experiência que pode abranger a ambientação, o detalhamento arquitetônico e uma noção aprofundada de proporção.

Os experimentos revisados destacaram duas frentes principais para a aplicação da RV no curso de Arquitetura. A primeira está voltada aos estágios iniciais, onde a tecnologia é utilizada para estimular o desenvolvimento da criatividade e do senso de escala entre os estudantes. A segunda frente consiste no uso de ferramentas que facilitam a análise e a crítica de projetos, frequentemente integradas a sistemas de Modelagem da Informação da Construção (BIM, do inglês *Building Information Modeling*).

Um estudo realizado por Hou *et al.* (2024) comparou a eficácia do desenvolvimento do senso de escala entre estudantes de Arquitetura em ambientes virtuais e reais. O experimento envolveu dois grupos de estudantes: um treinado em um ambiente físico e outro em um ambiente de RV. Os resultados demonstraram que a RV tem potencial para aprimorar a capacidade dos estudantes de estimar distâncias e dimensões, de forma comparável ao treinamento em espaços reais. Os autores consideraram o uso da RV uma ferramenta eficaz para otimizar o aprendizado da escala, fundamental para o desenvolvimento de habilidades de projeto, proporcionando aos estudantes uma percepção espacial comparável à do espaço físico, especialmente para aqueles com pouca experiência prática na área.

Os processos tradicionais de concepção de projeto, baseados em maquetes e desenhos, foram comparados com a interação em RV por Gomez-Tone *et al.* (2022) utilizando *headsets* de realidade virtual e o software *Google Tilt Brush*. Os autores observaram que os alunos apresentaram melhorias significativas em diversas competências. Para eles, a interação proporcionada pela RV permitiu que os estudantes configurassem espaços arquitetônicos de maneira mais eficaz, demonstrando maior entendimento dos elementos verticais e horizontais.

Além disso, os autores relataram que os alunos otimizaram a qualificação dos espaços ao utilizarem luz, cor, grau de fechamento e materiais, alcançando uma compreensão mais aprofundada na composição volumétrica. A possibilidade de experimentar os projetos em escala real foi destacada como um diferencial, proporcionando uma percepção mais intuitiva e prática e superando as limitações dos métodos tradicionais, que os autores consideraram mais restritos para o desenvolvimento dessas habilidades espaciais (Gomez-Tone *et al.*, 2022).

Ceylan (2020) realizou um estudo comparativo sobre práticas tradicionais e o uso de realidade virtual (RV) com estudantes de Arquitetura do primeiro ano, investigando como diferentes técnicas de representação — modelos físicos, digitais e virtuais — afetam o desenvolvimento das habilidades de reconhecimento visual e espacial. Os resultados indicaram que a RV se destacou no reconhecimento de superfícies sólidas e vazias, bem como na percepção de luz e sombra, proporcionando uma experiência mais detalhada e imersiva. Relataram, ainda, que os estudantes que utilizaram a RV demonstraram maior engajamento e forneceram descrições mais ricas dos espaços, indicando que essa tecnologia pode aumentar a motivação e melhorar o aprendizado em comparação com métodos tradicionais.

Um estudo conduzido por Azarby e Rice (2022) explorou o impacto da RV em ambientes imersivos e semi-imersivos, analisando a eficácia em tarefas de design em diferentes níveis de imersão. No experimento denominado *Scale Estimation for Design Decisions in Virtual Environments*, foram comparados dois sistemas: um ambiente de RV interativo totalmente imersivo (IVRIE) e um sistema semi-imersivo baseado em desktop (DT). Os autores relataram que, para o IVRIE, foi utilizada a plataforma *VR Sketch* com o dispositivo Oculus Rift, incluindo sensores e controladores, enquanto no sistema DT, utilizou-se o *SketchUp* em um computador com monitor e teclado. Os resultados apontaram que o ambiente imersivo aumentou significativamente a presença espacial e a precisão em ajustes de design, especialmente para usuários menos experientes.

Essa questão do engajamento dos alunos é confirmada por diversos casos e corrobora o potencial da RV como ferramenta didática. Estudos indicam que o uso da RV está frequentemente relacionado ao aumento da motivação e do engajamento dos alunos, favorecendo a mobilização cognitiva necessária para a aprendizagem.

Rieuf *et al.* (2017) relataram que o uso da RV na concepção, especificamente durante a inspiração e geração de conceitos, promoveu um processo de aprendizado mais exploratório e envolvente para os alunos. A configuração imersiva proporcionou um aumento expressivo no tempo dedicado às atividades de inspiração e observação, permitindo uma exploração mais aprofundada dos conceitos e maior empenho nas tarefas criativas. Esse aumento de tempo foi associado a um maior engajamento emocional, intensificando a relação dos estudantes com os elementos visuais e espaciais oferecidos por *moodboards* e *sketches* virtuais. Segundo os autores, a experiência tridimensional proporcionada pela RV não apenas facilita a manipulação das formas, mas também fortalece a conexão emocional com o processo criativo, resultando em conceitos mais originais e com maior apelo estético.

Plata, Franco e Sánchez (2023) identificaram um aumento significativo no engajamento dos alunos durante workshops que utilizavam RV para a modelagem de detalhes construtivos e elementos de patrimônio histórico. Esses workshops faziam uso da plataforma *Sketchfab* para visualizações imersivas. Os autores concluíram que a RV contribui para aumentar a motivação e o envolvimento dos estudantes, promovendo uma compreensão mais profunda de conteúdos práticos e teóricos, com destaque para temas relacionados à preservação patrimonial.

Alizadehsalehi, Hadavi e Huang (2021) investigaram a integração de *Building Information Modeling* (BIM) com RV e os impactos na motivação dos estudantes. O estudo foi conduzido com 23 alunos, utilizando softwares como *Autodesk Revit* para modelagem BIM e *Enscape* para conversão em RV, além de dispositivos como HTC Vive e Oculus Rift. Os resultados indicaram que os dispositivos de RV aumentaram significativamente a motivação dos participantes, evidenciada por um Índice de Importância Relativa (RII) de 0,982. Além disso, os autores destacaram que a tecnologia facilitou a visualização de modelos complexos, proporcionando maior clareza e compreensão dos projetos apresentados.

Outro assunto que apareceu em diversos artigos foi o apoio da RV para a avaliação e crítica de projeto, tanto no contexto de ensino em Ateliê como no contexto profissional.

Castronovo, Razavialavi e Rodriguez (2023) indicaram que o potencial da realidade virtual (RV) para a revisão de projetos reside em sua capacidade de proporcionar uma experiência mais imersiva e envolvente. Os autores relataram que essa característica contribui para uma melhor compreensão do conteúdo pelos alunos, além de aprimorar a percepção sobre sua capacidade de realizar determinadas tarefas, conhecida como autoeficácia. Em um experimento com 165 estudantes no Reino Unido, o estudo identificou que a implementação da RV impactou positivamente a autoeficácia dos participantes, com a média do questionário de autoeficácia aumentando de 3,19 para 3,89. Esses resultados foram apresentados como evidências de que a experiência de aprendizagem com RV pode fortalecer a confiança dos alunos em suas capacidades de realizar revisões de projetos, evidenciando o papel positivo da tecnologia na educação.

Ibrahim e El Shakhs (2023) realizaram um estudo semelhante com alunos de Arquitetura em um Ateliê de Projetos. Os estudantes utilizaram a RV para revisar seus projetos com o dispositivo HTC Vive antes das apresentações finais. Segundo os autores, por meio de questionários qualitativos para avaliar a percepção dos alunos, a RV mostrou-se eficaz para aprimorar a percepção espacial e emocional dos projetos. A tecnologia foi associada à possibilidade de os alunos ajustarem seus trabalhos de forma mais precisa para alcançar as qualidades espaciais desejadas, algo que os desenhos em 2D e modelos de tela não conseguiam transmitir adequadamente.

Sopher e Gero (2021) monitoraram um curso de Ateliê de Projeto do terceiro ano que utilizou um sistema de RV imersivo com uma tela de 7 x 2,5 metros e sensores sincronizados para permitir a navegação em 3D, possibilitando uma experiência de presença compartilhada para até 20 pessoas. Os autores relataram que as sessões com RV resultaram em um aumento no número de FOs (primeiras ocorrências de questões de design) geradas pelos alunos, além de maior engajamento e colaboração entre os estudantes durante as críticas realizadas em RV, acompanhado de uma diminuição nas FOs geradas pelo professor. Esses resultados evidenciam o potencial da RV para uma abordagem de aprendizagem centrada no aluno e para o incentivo à colaboração no processo de projeto.

Dentre os artigos avaliados com ênfase no ensino de Projeto Arquitetônico, foram identificadas somente duas propostas de interfaces de RV criadas pelos autores que propunham interações efetivas dos alunos nos ambientes imersivos.

Anifowose, Yan e Dixit (2021) propuseram uma interface mais interativa para a visualização de modelos BIM em realidade virtual (RV). O modelo da Casa Farnsworth — uma obra bastante conhecida do arquiteto Mies van der Rohe — foi criado no *Revit* e, posteriormente, importado para o Unity, onde a interação em RV foi desenvolvida. Os pesquisadores indicaram que o jogo permite ao usuário receber insights sobre a obra, especialmente acerca de aspectos de projeto e tectônica, além de interagir com um modelo reduzido da casa, semelhante a uma maquete. A atividade consiste em montar os elementos arquitetônicos básicos da casa em duas etapas: primeiro, uma montagem simplificada com blocos de LEGO que remetem a elementos da arquitetura; depois, uma montagem com partes mais detalhadas do modelo 3D da casa. Apesar de o artigo sugerir uma abordagem construtiva no título, ele não se aprofunda em questões construtivas, focando apenas em aspectos tectônicos e se limitando a uma montagem de elementos que simplifica a percepção construtiva.

Embora o esforço em trazer a interação como elemento diferencial seja reconhecido, a interface apresenta limitações significativas, restringindo-se à manipulação de um modelo previamente construído, sem oferecer ao usuário possibilidades de criação ou modificação por iniciativa própria. Além disso, a redução da escala dos componentes manipuláveis compromete a exploração de um dos grandes diferenciais da RV: a interação em escala 1:1. De acordo com os autores, a inclusão de conceitos abstratos e a segmentação em LODs dentro da

interface de RV promovem uma retenção de conhecimento mais robusta e maior envolvimento dos alunos no processo de aprendizado. No entanto, o fato de a interface ter sido testada apenas por dois alunos levanta dúvidas sobre a generalização dos resultados apresentados.

Outra proposta de interface, desenvolvida por Doma e Şener (2022), também utiliza uma lógica de manipulação de peças de LEGO. No jogo *Dreamscape Bricks VR*, criado com a Unreal Engine, o usuário pode montar estruturas enfrentando o desafio de construir conforme diretrizes pré-estabelecidas. Os testes foram realizados com os *headsets* Oculus Rift e HTC Vive. Os autores destacaram que a interface oferece diferentes escalas de interação, permitindo uma visão imersiva em perspectivas variadas, como uma escala realista e uma onde o usuário assume a proporção de um boneco de LEGO.

Os questionários submetidos aos alunos indicaram resultados positivos em termos de usabilidade, presença e conforto, mas pontuaram que a liberdade de interação ainda é limitada. Alguns usuários relataram sentir-se restringidos em suas possibilidades de interação, sugerindo melhorias nesse aspecto.

Embora a interface apresente potencial para proporcionar uma experiência interativa envolvente, sua proposta demonstra limitações significativas. O caráter simplificado e previsível do uso de peças de LEGO restringe o alcance da aplicação, limitando-a a uma experiência inicial de entretenimento. Essa abordagem não estabelece uma conexão efetiva com processos de projeto ou com aspectos construtivos, restringindo seu impacto potencial no contexto educacional.

A partir do levantamento de artigos focados no ensino e processo de projeto, foi possível identificar uma ampla aplicação da realidade virtual (RV), com resultados e avaliações dos usuários em geral bastante positivos. No entanto, grande parte dos estudos concentrou-se em experiências de imersão essencialmente visual, com poucas propostas que promovem interatividade. Embora a análise crítica de projetos a partir da imersão em escala 1:1 seja extremamente relevante para o processo de projeto, a possibilidade de tomar decisões diretamente dentro da imersão em RV poderia ampliar o potencial da tecnologia. Essa abordagem permitiria que os usuários assumissem um papel ativo como projetistas, em vez de se limitarem à posição de espectadores.

Essa limitação reflete, em parte, as restrições das interfaces disponíveis, que geralmente são aplicativos desenvolvidos por terceiros, voltados para transpor

modelos criados em softwares CAD ou BIM para ambientes imersivos. Apesar dos avanços observados nas propostas das duas interfaces desenvolvidas por pesquisadores, elas ainda abordam os processos projetuais de maneira tangencial, sem um foco integrado nos sistemas construtivos ou na interação projetual aprofundada, evidenciando um campo com potencial significativo para evolução.

Os artigos que entraram na segunda categoria de triagem foram selecionados por abordarem especificamente o ensino de Construção. As aplicações mais recorrentes identificadas nesses estudos incluem: treinamentos de segurança na construção, sequências de construção, visitas virtuais a obras e avaliação espacial. Dentre as pesquisas analisadas, cinco artigos propuseram interfaces voltadas à simulação de procedimentos construtivos.

Para manter o foco específico no ensino de Construção voltado à formação de estudantes, optou-se por excluir estudos que abordavam o treinamento de segurança na construção civil. Embora esses estudos se relacionem com o canteiro de obras, seu objetivo principal é o treinamento técnico especializado, geralmente voltado para profissionais já atuantes, com ênfase maior em protocolos de segurança. Esse foco não corresponde ao objetivo desta revisão, que prioriza o aprendizado de aspectos construtivos em um contexto educacional mais amplo e diretamente aplicável à formação acadêmica. Dessa forma, foram incluídos apenas os trabalhos diretamente relacionados ao ensino de Construção, sem um foco exclusivo em segurança.

Além disso, vale destacar que muitos dos trabalhos sobre treinamento de segurança na construção não usam *headsets* de RV, resultando em experiências imersivas limitadas. Algumas pesquisas utilizaram métodos como a CAVE, conforme exemplificado por Sacks, Perlman e Barak (2013). Outras abordaram o entendimento de RV de maneira mais ampla, incluindo interações com modelos 3D não imersivos através de telas, como nos trabalhos de Zhao e Lucas (2015) e Abdelhameed (2013).

Observa-se uma similaridade entre os artigos sobre o uso da RV no ensino de Projeto e aqueles voltados para o ensino de Construção. Em ambos os casos, a aplicação da RV enfatiza predominantemente a visualização tridimensional, com menor exploração de aspectos interativos e processuais. No contexto do ensino de Construção, a abordagem é frequentemente centrada na visualização de estruturas

e infraestruturas gerais, sem aprofundamento significativo em práticas construtivas detalhadas.

O estudo realizado por Calderon-Hernandez *et al.* (2019) destacou a RV como ferramenta de ensino para aprimorar a compreensão espacial em projetos de construção entre estudantes das áreas de Arquitetura, Engenharia e Construção. Utilizando um modelo BIM da Crossland Tower, os participantes visualizaram o projeto tanto em RV quanto em desenhos 2D, com foco na compreensão da estrutura. Os resultados indicaram que a RV facilitou a percepção e a memória espacial, além de aumentar o engajamento e a motivação dos estudantes.

Já o trabalho de Wizaka, Suharjanto e Wangidjaja (2020) abordou o uso de realidade virtual (RV) na disciplina de Tecnologia da Construção do curso de Arquitetura. As sessões envolveram 30 estudantes que visualizaram modelos de edifícios em RV, com foco em aspectos construtivos. Foram utilizados equipamentos VR Gear para explorar modelos detalhados que incluíam elementos como fundações, colunas e coberturas, apresentados no formato BIMx. Este formato, exportado pelo software *BIM Archicad*, foi desenvolvido para permitir a visualização em RV. O estudo relatou que 99% dos estudantes avaliaram a experiência de aprendizado com RV como “bastante agradável e muito desejável”. Observou-se também uma melhoria na compreensão e na facilidade de aprendizado após o uso da RV, quando comparada aos métodos tradicionais. Essa melhoria foi particularmente percebida em tópicos de maior complexidade para visualização no mundo real, como fundações e coberturas.

As possibilidades de interação em RV começaram a emergir somente em artigos que propuseram interfaces específicas para experiências imersivas, como analisado a seguir. Interfaces que ofereciam apenas níveis básicos de interação, sem proporcionar uma experiência plenamente imersiva com *headsets*, foram excluídas desta análise devido às limitações de imersão. Um exemplo é o trabalho de Sampaio e Viana (2013), que apresentou limitações na profundidade da experiência proporcionada.

A primeira interface a ser analisada ainda não apresenta uma interatividade relevante. No entanto, exemplifica uma categoria imersiva que representa um avanço em comparação com propostas anteriores, ao permitir o isolamento de partes do modelo, como componentes estruturais ou infraestruturais, e possibilitar uma visualização mais detalhada desses elementos. Esse recurso segue uma lógica

comparável à dissecação utilizada em áreas como biologia e medicina, facilitando o entendimento de cada parte individual do sistema construtivo.

Bashabsheh, Alzoubi e Ali (2019) seguiram essa linha com a implementação da interface BC/VR no curso de Construção de Edifícios II, oferecido pelo curso de Arquitetura da Jordan University of Science and Technology (JUST). Criada especificamente para fins educacionais, a aplicação foi desenvolvida utilizando modelos 3D de uma edificação, elaborados no software de modelagem *3Ds Max* e importados para o motor de jogos Unity, a fim de criar uma aplicação imersiva que permitisse a visualização das etapas construtivas do edifício com o uso do *headset* Oculus Rift DK2.

O estudo indicou uma aceitação positiva dos alunos ao uso da realidade virtual, destacando ganhos significativos em aprendizado, satisfação e integração com outras disciplinas, com médias de avaliação entre 4,318 e 4,455 em uma escala de 5 pontos. Segundo os autores, em comparação com métodos tradicionais, os alunos relataram uma experiência de aprendizado mais eficiente e satisfatória com o uso da RV.

Entretanto, o software, apesar de proporcionar uma navegação imersiva e o diferencial pedagógico de permitir o isolamento das etapas construtivas e o estabelecimento de uma sequência cronológica da construção, apresenta limitações significativas. A aplicação restringe-se à contemplação de modelos previamente desenvolvidos, sem oferecer possibilidades de interação ativa dos alunos com a estrutura ou de criação de novos modelos. Essas limitações reduzem o potencial exploratório e criativo da experiência.

A interface SimYA, desenvolvida por Şahbaz (2021), foi aplicada na disciplina Estúdio de Construção do curso de Arquitetura da Universidade de Karabuk, na Turquia. O experimento³ contou com 32 estudantes de Arquitetura divididos em dois grupos: o grupo SimYA, que utilizou o simulador em realidade virtual, e um grupo de controle, que recebeu instruções pelo método tradicional. Ambos os grupos aprenderam sobre sistemas de paredes-cortina.

³ Estrutura dos Testes: **a) pré-teste:** foi aplicado antes da experiência de ensino para medir o conhecimento inicial dos estudantes sobre sistemas de parede-cortina; **b) pós-teste:** após a sessão de ensino (com SimYA para o grupo de RV e com método tradicional para o grupo de controle), um teste similar foi aplicado para avaliar o quanto cada grupo aprendeu (Şahbaz, 2021).

A aplicação foi desenvolvida usando o software *Blender* para modelagem e o Unreal Engine, com suporte de VR compatível com equipamentos *headset*, como o Oculus Rift e HTC VIVE. Os autores, entretanto, apresentaram poucas informações sobre a organização da interface e os testes realizados. Além disso, o artigo não inclui imagens ilustrativas que poderiam auxiliar na compreensão detalhada de suas características e funcionamento. Contudo, foi identificado um vídeo⁴ demonstrativo publicado pelo autor em outro canal, que ajudou a esclarecer o funcionamento da interface (SimYA [...], 2019).

O aplicativo consistia em um modelo 3D pronto de uma edificação, que servia como base para a simulação dos procedimentos de instalação da parede-cortina. Alguns “cubos” eram dispostos no espaço, sobre os quais ficavam modelos representativos de cada camada da parede-cortina. O usuário conseguia segurar o modelo e, ao apontar para a edificação, a camada correspondente era “aplicada” virtualmente. Dessa forma, o processo de montagem da parede-cortina era concluído em quatro passos básicos de “segurar” e “apontar” para a fachada.

Os resultados indicaram que o grupo que utilizou o SimYA teve um aumento significativo na taxa de sucesso, com a pontuação média dos alunos subindo de 5,63% para 74,86% após o uso da simulação em VR. Por outro lado, o grupo de controle, que utilizou métodos tradicionais, apresentou uma melhora mais modesta, passando de 3,13% para 57,95%. Segundo o autor, esses percentuais refletem os resultados obtidos em testes aplicados antes e depois da atividade, que avaliavam o conhecimento adquirido sobre os sistemas de paredes-cortina. Esse desempenho superior do SimYA sugere que a utilização da RV pode aumentar a retenção de conhecimento e a compreensão prática em comparação com métodos convencionais.

Apesar de a interface buscar ampliar a interatividade no ensino de sistemas construtivos, algumas limitações se tornam evidentes. A interação oferecida é bastante simplificada, limitando-se a ações pré-determinadas que não permitem personalização ou manipulação mais complexa por parte dos alunos. A simulação do procedimento construtivo foi projetada de maneira tão simplificada que levanta dúvidas sobre a profundidade da experiência oferecida. Tudo é previsível e já modelado previamente, restringindo a possibilidade de maior exploração por parte

⁴ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=jrKSEMmSfKU>. Acesso em: 19 dez. 2024.

dos estudantes. O processo de montagem, por exemplo, é concluído em menos de três minutos, mesmo considerando tentativas e erros, conforme observado no vídeo demonstrativo. Tais características limitam a sensação de presença e colocam em questão a efetividade da simulação na representação realista da complexidade envolvida nos sistemas de parede-cortina.

Foi identificada uma interface de RV desenvolvida por Wang (2020) para o ensino de Engenharia Civil, aplicada ao módulo “Design e aplicação da proporção de mistura de concreto” da Universidade de Hefei, na China. A aplicação foi criada com o motor de jogos Quest3D e modelada no *3ds Max*, com o objetivo de possibilitar que os estudantes realizassem ajustes nas proporções de concreto em um ambiente virtual interativo. O sistema integrava dispositivos como *headset* de RV, rastreador de posição e luvas de dados, sugerindo uma experiência potencialmente imersiva.

No entanto, o artigo apresentou limitações na descrição da interface, não fornecendo detalhes suficientes nem imagens das cenas imersivas. A ausência dessas informações impede uma análise mais aprofundada sobre a experiência oferecida aos estudantes, incluindo os aspectos visuais e interativos da simulação.

Em face do exposto, a pesquisa bibliográfica contribuiu significativamente para evidenciar os diversos pontos positivos do uso da RV no ensino de Projeto e Construção, apresentados por meio de experimentos que destacam impactos benéficos nos alunos. Entre os benefícios identificados estão o aprimoramento da visualização tridimensional, o aumento da motivação e do engajamento e a melhoria na compreensão espacial e na retenção de conhecimento. Entretanto, foi observada uma disparidade considerável no foco das pesquisas analisadas: há um número significativamente maior de estudos direcionados ao ensino de Projeto em comparação ao ensino de Construção.

Além disso, não foram identificadas iniciativas que utilizassem a RV para integrar o ensino de Construção ao de Projeto, mantendo-se a abordagem tradicional de tratar essas áreas como disciplinas autônomas e isoladas. As aplicações analisadas, em sua maioria, concentram-se na visualização passiva, ainda que enriquecida pela imersão proporcionada pela tecnologia. Persiste, contudo, uma limitação evidente no que diz respeito à interação ativa dos usuários com os ambientes virtuais.

As poucas interfaces interativas desenvolvidas pelos próprios autores apresentaram restrições consideráveis, com dinâmicas que não refletem a

complexidade dos processos reais. Além disso, nenhuma dessas interfaces propôs a simulação de construção que também incorporasse aspectos do ensino de Projeto, reforçando a lacuna na integração desses dois campos na experiência de aprendizagem.

Embora as propostas existentes demonstrem um impacto inicial positivo em comparação com os métodos tradicionais de ensino, há um vasto espaço para evolução no desenvolvimento de sistemas de interação e simulação. Essa lacuna é ainda mais evidente quando comparada ao nível de interatividade encontrado em games, frequentemente desenvolvidos com os mesmos softwares utilizados nas pesquisas, mas que oferecem experiências de interação muito mais sofisticadas e engajantes.

Dado o potencial identificado para o aprimoramento das interfaces imersivas no ensino de Construção, torna-se relevante buscar inspiração em outras áreas. Portanto, serão exploradas a seguir referências de games relacionados à construção, que, embora geralmente não sejam imersivos e sejam jogados em primeira pessoa, podem trazer perspectivas úteis sobre novas possibilidades de interação e engajamento.

3.4 Jogos digitais

Seguindo essa perspectiva, torna-se relevante analisar como os jogos digitais podem oferecer horizontes mais interativos e engajadores, capazes de inspirar ferramentas acadêmicas de ensino, especialmente no contexto da construção civil. O potencial dos jogos digitais, com sua capacidade de engajar e promover interatividade, apresenta oportunidades para a criação de novas abordagens educacionais em áreas como a construção civil, onde ferramentas inovadoras podem complementar métodos tradicionais de ensino.

Um dos pontos fundamentais para o avanço na criação dos jogos foi o surgimento e aprimoramento dos motores de jogos (*game engines*). Os motores de jogos são estruturas de software que fornecem um conjunto abrangente de ferramentas e funcionalidades essenciais para o desenvolvimento de jogos eletrônicos, como renderização gráfica, simulação física, processamento de som, animação e gerenciamento de recursos. Eles surgiram como soluções para otimizar a criação de jogos, que antes eram produzidos praticamente do zero, exigindo que

os desenvolvedores criassem códigos específicos para cada aspecto técnico, como gráficos, som, física e lógica do jogo em cada projeto.

Os dois motores de jogos mais influentes e amplamente utilizados atualmente são o **Unity** e o **Unreal Engine**, ambos com suporte robusto para realidade virtual (RV) e uma ampla gama de recursos que facilitam o desenvolvimento. O Unity é reconhecido por sua flexibilidade e facilidade de uso, tornando-se uma escolha popular para desenvolvedores independentes e projetos educacionais. Já o Unreal Engine destaca-se por seu poder gráfico e capacidade de criar ambientes realistas, sendo frequentemente utilizado em produções de grande porte e projetos que demandam alto nível de detalhamento visual.

Nas interfaces de aplicação didática analisadas no tópico anterior, observa-se a preferência por essas ferramentas. **Şahbaz (2021)** e **Doma e Şener (2022)** utilizaram a Unreal Engine em seus projetos, enquanto **Bashabsheh, Alzoubi e Ali (2019)** e **Anifowose, Yan e Dixit (2021)** optaram pelo Unity. **Wang (2020)** utilizou a Quest3D, uma plataforma que já foi popular para simulações interativas e RV, mas foi descontinuada com o surgimento de *engines* mais avançadas e versáteis.

A escolha por *game engines* como plataformas de desenvolvimento reforça a aposta de que elas são atualmente as ferramentas mais indicadas para o desenvolvimento de experiências de aprendizagem em RV. Isso se deve ao fato de incorporarem a lógica dos games, que é intrinsecamente baseada na interação e na imersão do usuário. Ao aproveitar as funcionalidades oferecidas por essas *engines*, é possível criar ambientes educacionais mais engajadores e dinâmicos, especialmente no contexto da construção civil. Essas ferramentas permitem simular processos construtivos complexos de forma acessível, proporcionando aos alunos uma experiência prática e interativa que pode complementar e enriquecer o ensino tradicional.

No entanto, apesar dos avanços significativos proporcionados pelas *game engines* em RV, ainda existe uma lacuna considerável na oferta de jogos voltados especificamente para a construção civil, especialmente em plataformas de realidade virtual, como a loja de jogos da Meta, projetada para uso direto no Oculus Quest. Embora haja uma variedade de experiências imersivas disponíveis, foram encontrados apenas dois jogos que tangenciam a temática da construção: o *House Flipper*, que simula tarefas domésticas diversas, incluindo manutenção e pequenos

reparos, e o *Woodworking*, que foca em montagens simplificadas em uma oficina de marcenaria.

Por outro lado, plataformas como a Steam oferecem uma ampla variedade de jogos que exploram diferentes gêneros e temáticas. Funcionando como um espaço acessível para desenvolvedores, a Steam democratiza tanto o acesso quanto a produção de conteúdo, disponibilizando uma gama extensa de títulos. Embora a maioria desses jogos não seja imersiva no sentido de realidade virtual — jogados em telas convencionais e sem *headsets* —, eles ainda podem proporcionar experiências interativas valiosas.

Dentre os jogos em primeira pessoa que abordam o tema da construção, destacam-se títulos como *House Builder* e *Builder Simulator*. Embora não sejam jogos de realidade virtual, a perspectiva em primeira pessoa permite ao jogador assumir o ponto de vista do construtor, tornando a experiência mais envolvente e aproximando-o dos processos reais de construção. Esse aspecto é relevante para simulações de sistemas construtivos, proporcionando imersão enriquecida por elementos de interação direta.

House Builder é um jogo composto por diversos níveis, permitindo ao jogador vivenciar o processo de construção de diferentes tipos de habitações à medida que avança nos desafios. O jogo explora diversas culturas e técnicas construtivas ao redor do mundo, apresentando tipologias contrastantes, como cabanas de madeira, iglus, casas de chá e construções convencionais. O foco está em completar tarefas pré-determinadas, e cada desafio é construído e modelado previamente, cabendo ao jogador realizar as etapas de montagem seguindo as indicações dos hologramas (Figura 8). Após a execução dos comandos, os modelos digitais dos elementos construídos são materializados.

Figura 8 – *House Builder*

Fonte: Adaptado pelo autor, a partir de *House Builder* (2022).

Um aspecto interessante de *House Builder* é a representação da produção de alguns elementos construtivos, como o tijolo de adobe, que é produzido pelo próprio jogador. Este processo inclui a mistura dos materiais, o uso de moldes e a queima. Inicialmente, os elementos são produzidos um a um, mas o jogo introduz mecanismos de otimização em estágios mais avançados, permitindo a geração de múltiplos tijolos simultaneamente para agilizar o processo.

Essa abordagem evidencia um ponto-chave para o desenvolvimento do protótipo do canteiro de obras didático: a importância de otimizar certos processos para evitar que se tornem monótonos, o que poderia prejudicar a experiência de aprendizado dos alunos.

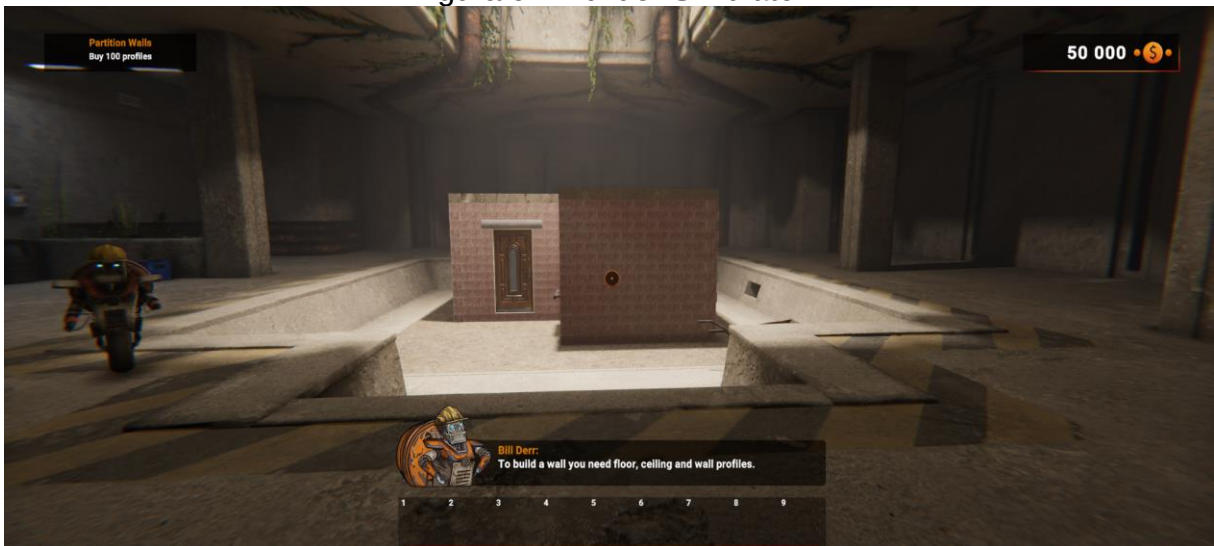
Outro recurso relevante para o protótipo é o uso de hologramas como estratégia para conduzir os tutoriais, auxiliando nas primeiras experiências que vão ensinar o aluno a construir e utilizar as ferramentas do canteiro de forma intuitiva e guiada. A utilização de sinalizadores visuais que indicam os objetos a serem manipulados também é uma ideia valiosa, pois facilita a navegação e evita confusão em um ambiente com muitos elementos simultâneos.

Já o *Builder Simulator* tem uma abordagem mais séria do processo construtivo, com um visual mais neutro e próximo da construção formal. O jogo parte do pressuposto de que o jogador assume o papel de empreiteiro, realizando tarefas

que podem incluir desde a concretagem de uma fundação até a instalação de um telhado ou a construção completa de uma edificação.

Os tutoriais utilizam hologramas indicativos que orientam as ações construtivas de forma intuitiva, um recurso já mencionado em relação ao *House Builder*. Um aspecto significativo é a presença de um robô instrutor, que introduz informações, tanto nos tutoriais como nas tarefas do jogo em si, por meio da fala (Figura 9). Essa estratégia de uso de narração pode enriquecer o protótipo do Canteiro VR ao adicionar um elemento sensorial dinâmico, capaz de complementar as informações teóricas e facilitar a execução prática das atividades propostas.

Figura 9 – *Builder Simulator*



Fonte: Adaptado pelo autor, a partir de *Builder Simulator* (2022).

Apesar de seguir a mesma lógica de tarefas pré-concebidas do *House Builder*, o *Builder Simulator* avança ao disponibilizar a opção de manipulação de uma planta em 2D. O jogador consegue formular uma planta com os cômodos e dimensões desejadas a partir de uma modulação estabelecida, que vai direcionar o modelo digital da edificação a ser construída. O jogador não tem a liberdade de construir “livremente”, mas consegue personalizar, de certa maneira, o objeto do jogo e, ainda que de maneira simplificada, introduz elementos de projeto arquitetônico, permitindo a reflexão sobre as conexões entre planta, desenho e execução da construção.

Esses jogos apresentam contribuições relevantes, oferecendo soluções que podem ser adaptadas ao desenvolvimento do protótipo. Destacam-se, sobretudo, os aspectos técnicos e a atenção à apresentação intuitiva das tarefas, com o emprego

de interfaces claras e interativas que facilitam o processo de aprendizado do usuário. É evidente que se tratam de produtos complexos, demandando investimentos significativos e equipes multidisciplinares de desenvolvimento. Todavia, ainda se observa uma limitação quanto à autonomia do jogador, que permanece condicionado a definições pré-estabelecidas, características típicas de jogos estruturados em lógicas tradicionais.

Para o contexto da construção, uma abordagem baseada no modelo *sandbox* revela-se particularmente interessante, pois se caracteriza pela liberdade de criação e exploração. Jogos *sandbox* proporcionam ao usuário um ambiente aberto e não linear, no qual é possível explorar, criar e interagir livremente com os elementos do jogo. O termo "*sandbox*" deriva da ideia de uma caixa de areia, que simboliza um espaço onde o jogador pode experimentar e construir conforme sua imaginação, sem limites rígidos impostos pelas regras. Esse gênero promove um alto grau de liberdade, permitindo aos jogadores definir seus próprios objetivos e estratégias para alcançá-los, sem seguir uma narrativa ou sequência de tarefas predefinidas. Essa flexibilidade estimula a criatividade e a experimentação, tornando cada experiência única e personalizada.

Um exemplo clássico de jogo *sandbox* é o *Minecraft*. Nesse jogo, os usuários interagem em um ambiente tridimensional composto por blocos, que podem ser combinados e reorganizados para criar diferentes estruturas (Figura 10). A experiência proporcionada pelo *Minecraft* é marcada pela flexibilidade e pelo dinamismo: em vez de seguir uma sequência de comandos preestabelecidos, o jogador tem total liberdade para decidir o que construir e como conduzir o processo.

Figura 10 – *Minecraft*

Fonte: Adaptado pelo autor, a partir de Minecraft [...] (2021).

Embora o jogo não reproduza com precisão técnica os sistemas construtivos reais, ele promove a experimentação, incentivando os jogadores a explorar diferentes layouts, formas e materiais de maneira intuitiva. Esse aspecto torna-se especialmente relevante para o desenvolvimento do protótipo do Canteiro VR, ao oferecer um exemplo de como permitir aos usuários maior autonomia criativa. Em vez de seguirem um fluxo linear e fixo, característico da maioria dos jogos de construção, os usuários poderiam escolher livremente o que construir ou modificar, favorecendo uma experiência de aprendizado mais ativa e significativa.

Outro exemplo relevante é o *The Sims*, que também oferece um ambiente *sandbox*, mas com foco na simulação de vida e na construção de residências personalizadas. Nesse jogo, os usuários podem projetar e construir casas utilizando um sistema de modelagem tridimensional simplificado e uma extensa biblioteca de componentes arquitetônicos e decorativos (Figura 11).

Figura 11 – *The Sims*

Fonte: Adaptado pelo autor, a partir de Construindo [...] (2023).

O diferencial do *The Sims* está na possibilidade de personalizar cada elemento do ambiente, desde o layout dos cômodos até os acabamentos de interiores, o que aproxima o jogador das etapas criativas de um projeto arquitetônico, ainda que de forma simplificada. Essa capacidade de personalização e interação direta com o ambiente destaca-se como uma contribuição relevante para o desenvolvimento do Canteiro VR, demonstrando como uma interface intuitiva pode proporcionar uma experiência envolvente de planejamento espacial.

À luz do que foi discutido, a análise de jogos existentes revelou contribuições significativas para o desenvolvimento do protótipo do Canteiro VR. Os jogos *Builder Simulator* e *House Builder*, que abordam diretamente o tema da construção, proporcionaram insumos relevantes para o aprimoramento do design da interface, com destaque para o uso de hologramas como recurso para a condução de tarefas de maneira intuitiva e para o enriquecimento do conteúdo teórico por meio de narrações. Essas estratégias evidenciam o potencial de interfaces capazes de orientar os usuários com clareza e objetividade, sem comprometer a fluidez da experiência. Todavia, uma limitação considerável desses jogos reside na

participação restringida do usuário, que permanece condicionado a ações predefinidas e sequências rígidas de etapas.

A pesquisa evidenciou que a premissa de autonomia do aluno, incorporada ao desenvolvimento do protótipo do Canteiro VR, está alinhada aos princípios de jogos do tipo *sandbox*, que oferecem maior liberdade de ação ao usuário. Embora jogos como *Minecraft* e *The Sims* sejam focados em entretenimento e adotem uma perspectiva não imersiva, ambos trazem contribuições significativas para a concepção de uma interface educacional. A liberdade de exploração presente nesses jogos permite que os usuários testem suas ideias sem receio de cometer erros, promovendo um aprendizado experimental e dinâmico. Essa abordagem interativa é precisamente o objetivo do Canteiro de Obras Didático em Realidade Virtual: proporcionar aos alunos um ambiente de aprendizagem em que possam construir, experimentar e ajustar seus modelos sem a imposição de roteiros predeterminados.

Em síntese, a principal contribuição dos jogos analisados está na inspiração proporcionada por sua dinâmica envolvente, aliada à atenção dedicada à usabilidade e à fluidez das interações. Esses elementos oferecem subsídios valiosos para o desenvolvimento de interfaces educacionais, como o protótipo que será aprofundado e discutido na seção seguinte.

4 DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA DO OBRV: PROTÓTIPO DO CANTEIRO DE OBRAS EM REALIDADE VIRTUAL

Nas seções anteriores, foram examinadas as limitações do ensino de Construção nos cursos de Arquitetura e Urbanismo, com destaque para a lacuna de experiências práticas e a desconexão com o ensino de Projeto. Também foi avaliado o potencial da realidade virtual (RV) como recurso capaz de oferecer soluções para esses desafios, ao promover experiências imersivas e interativas no processo de aprendizagem.

Esta seção apresenta o desenvolvimento do protótipo do Canteiro Didático em Realidade Virtual, denominado ObRV. São descritas as etapas de concepção, o desenvolvimento técnico, a seleção de ferramentas e tecnologias, os sistemas construtivos abordados e a criação do ambiente virtual e da interface. A metodologia adotada é discutida em sua aplicação prática, com foco na integração entre os conhecimentos de construção e o processo de projeto. Além disso, são explorados os desafios enfrentados e os principais elementos metodológicos que orientaram o desenvolvimento do protótipo.

4.1 Metodologia para o desenvolvimento e implementação do protótipo ObRV

A metodologia adotada para o desenvolvimento do protótipo ObRV foi estruturada com base nas lacunas identificadas no ensino de Construção nos cursos de Arquitetura e Urbanismo, descritas nas seções anteriores. A partir disso, buscou-se desenvolver um experimento que permitisse discutir e testar uma possível solução para o problema identificado, que poderia ser materializado posteriormente em uma plataforma completa do Canteiro de Obras Didático em Realidade Virtual.

Com esse objetivo em mente, procurou-se integrar o ensino de conteúdos técnicos de maneira dinâmica, proporcionando aos estudantes oportunidades de experimentação prática e autônoma, com o intuito de contribuir para a reflexão e o avanço no ensino de Construção nos cursos de Arquitetura.

Para favorecer a aprendizagem dos procedimentos construtivos de maneira organizada e eficiente, identificou-se como essencial que o protótipo ObVR incorporasse um modo de interação guiada. Essa decisão metodológica fundamenta-se na compreensão de que, ao serem apresentados a uma nova

experiência, os estudantes necessitam inicialmente de uma estrutura que os auxilie a apreender e organizar as informações.

Conforme Kolb (2015, p. 70, tradução nossa), “[...] por meio da compreensão, introduzimos ordem no que, de outra forma, seria um fluxo contínuo e imprevisível de sensações apreendidas”. O autor destaca que a aprendizagem significativa começa pela apreensão da experiência, seguida pela sua transformação em conhecimento aplicável por meio da compreensão e reflexão. Dessa forma, os tutoriais interativos foram planejados como uma sequência estruturada que segue a lógica das etapas construtivas, com o intuito de auxiliar os estudantes na organização e assimilação dos novos conteúdos. Espera-se que os alunos compreendam a progressão da construção, desde a marcação do terreno até as vedações, estabelecendo uma base sólida para experimentações futuras de forma autônoma.

Para o desenvolvimento dos tutoriais, foi decidido utilizar recursos didáticos como hologramas indicativos, sinalizações visuais e narrações explicativas, com o objetivo de facilitar a compreensão e orientar as ações dos alunos. Essa abordagem multimodal buscou atender a diferentes estilos de aprendizagem e tornar a experiência mais envolvente, mobilizando os esforços dos estudantes e criando um ambiente educacional enriquecedor.

Nesse sentido, essa etapa inicial visou não apenas transmitir os conteúdos técnicos, mas também familiarizar os estudantes com a interface e o funcionamento do protótipo. Ao combinar instruções teóricas com tarefas práticas, pretendeu-se favorecer uma aprendizagem significativa, preparando o aluno para futuras experimentações autônomas.

Reconhecendo a importância da participação ativa e da autonomia no processo de aprendizagem, conforme destacado por Dewey (1976) e Kolb (1984), estabeleceu-se como premissa para o desenvolvimento do protótipo a implementação de uma segunda forma de uso pelos estudantes, pautada no modo livre. Nesse formato, os estudantes são incentivados a desenvolver suas próprias ideias e a executá-las de forma autônoma no protótipo. Essa transição para o modo livre foi planejada como um estágio seguinte, após os alunos adquirirem uma base sólida por meio dos tutoriais guiados, promovendo a confiança necessária para explorar, experimentar e aplicar os conhecimentos adquiridos em projetos próprios.

Essa abordagem conecta-se diretamente à teoria da aprendizagem experiencial de Kolb (1984, p. 38, tradução nossa), que define a aprendizagem como “[...] o processo pelo qual o conhecimento é criado por meio da transformação da experiência”. A experimentação ativa, realizada após a observação reflexiva e a conceitualização abstrata, oferece aos estudantes a oportunidade de completar o ciclo de aprendizado. De maneira semelhante, Dewey (1976, p. 41, tradução nossa) enxerga a educação como um processo de crescimento contínuo, afirmando que: “[...] o eu não é algo pronto, mas algo em contínua formação por meio da escolha de ação”. Nesse contexto, ao enfrentar desafios e solucionar problemas de forma independente, espera-se que os estudantes desenvolvam habilidades essenciais, como pensamento crítico e resolução de problemas, além de cultivar o desejo constante de aprender.

Portanto, a metodologia adotada buscou integrar teoria e prática de forma coerente. Com o protótipo ObRV, buscou-se proporcionar uma experiência prática simulada, oferecendo aos estudantes a oportunidade de aplicar conceitos em contextos simulados, consolidando o aprendizado de maneira significativa. Ao vivenciar os procedimentos construtivos e conectá-los a decisões de projeto, espera-se que os alunos desenvolvam uma visão holística, enriquecendo sua formação acadêmica e preparando-os para os desafios da prática profissional.

A metodologia desenvolvida para o protótipo ObVR buscou equilibrar a necessidade de ensinar conteúdos técnicos com a promoção da experimentação e autonomia dos estudantes. Ao combinar tutoriais guiados com um modo livre de exploração, pretendeu-se proporcionar uma experiência de aprendizagem completa, alinhada com os princípios do aprendizado experiencial.

Nas próximas seções, serão apresentados os detalhes técnicos sobre o desenvolvimento do protótipo, abordando as ferramentas empregadas, a concepção das simulações construtivas e as formas de implementação dos modos de interação instrutivo e experimental.

4.2 Desenvolvimento do protótipo ObRV

Para o desenvolvimento do protótipo ObRV, foram escolhidas duas ferramentas essenciais: o motor de jogos Unity e o *headset* Oculus Quest 2. A

combinação dessas tecnologias permitiu a criação de um ambiente virtual interativo e imersivo, alinhado com os objetivos educacionais do projeto.

O Unity foi selecionado como plataforma de desenvolvimento devido à sua ampla utilização na indústria de jogos e aplicações de realidade virtual e aumentada. Como introduzido anteriormente, as *game engines* são estruturas de software que facilitam a criação de ambientes virtuais interativos, fornecendo ferramentas pré-configuradas para gráficos, física, animações e outros elementos essenciais. O Unity destaca-se por sua versatilidade e facilidade de uso, permitindo criar experiências interativas em 2D e 3D. Sua interface intuitiva e a ampla documentação disponível possibilitam que desenvolvedores, mesmo com pouca experiência, criem aplicações eficazes.

Uma das características essenciais do Unity é o seu robusto motor de física, que permite simular interações físicas de forma realista nos ambientes virtuais. Com suporte para a física de corpos rígidos, colisões, gravidade e outras propriedades físicas, o Unity possibilita que os objetos se comportem de maneira semelhante ao mundo real. Isso é particularmente relevante para o desenvolvimento de simulações de construção, pois permite recriar interações entre materiais, estruturas e equipamentos, emulando atividades-chave de um canteiro de obras, como cavar, colar, fixar, marcar, medir, montar, despejar, cortar, entre outras. Dessa forma, os usuários podem experimentar e compreender os princípios físicos e mecânicos envolvidos na construção civil dentro de um ambiente seguro e controlado.

Outro recurso de grande potencial oferecido pelo Unity é o *XR Interaction Toolkit* (XRIT). Este é um conjunto de ferramentas que simplifica o desenvolvimento de aplicações de realidade estendida (XR), permitindo que desenvolvedores criem interações sofisticadas sem a necessidade de implementar tudo do zero. O *XR Interaction Toolkit* fornece sistemas de interação prontos para uso, incluindo componentes para interações básicas, como seleção e manipulação de objetos.

Entre os componentes prontos para interações comuns, destacam-se:

- ***XR Ray Interactor***: utilizado para interagir com objetos ou interfaces de usuário à distância, simulando um “raio laser” que permite a seleção e ativação de elementos sem a necessidade de proximidade física;
- ***XR Direct Interactor***: projetado para interações diretas com objetos, permitindo que os usuários toquem e manipulem itens no ambiente virtual de maneira mais natural e tátil;

- ***XR Grab Interactable***: este componente permite que objetos sejam agarrados e manipulados, facilitando ações como pegar, soltar, lançar e reposicionar itens dentro do espaço virtual.

A utilização do *XR Interaction Toolkit* no desenvolvimento do protótipo ObRV é fundamental para criar uma experiência de realidade virtual mais intuitiva e envolvente. Ao aproveitar os componentes e sistemas já estabelecidos pela ferramenta, é possível acelerar o processo de desenvolvimento, concentrando esforços na criação de conteúdo e na otimização da experiência do usuário.

A integração eficiente do Unity com o Oculus Quest 2 potencializa as capacidades do protótipo ObRV, oferecendo uma plataforma robusta para simulações educacionais em realidade virtual. O Oculus Quest 2 foi escolhido como *headset* para o desenvolvimento do protótipo devido a diversos fatores técnicos e práticos. Lançado pela Meta (antiga Facebook) em outubro de 2020, o Quest 2 trouxe avanços significativos em relação aos equipamentos de realidade virtual disponíveis anteriormente, consolidando-se como uma das opções mais acessíveis e completas do mercado no início do desenvolvimento do projeto.

Entre as características mais relevantes do Quest 2, destaca-se o seu processador Qualcomm Snapdragon XR2, que oferece desempenho superior em comparação com a geração anterior. Esse hardware potente permite a execução de aplicativos e jogos mais complexos, proporcionando uma experiência de realidade virtual mais imersiva e fluida. Além disso, o Quest 2 possui uma resolução de tela de 1832 x 1920 pixels por olho, resultando em imagens mais nítidas e detalhadas. Essa melhoria na qualidade visual é fundamental para aplicações que exigem alto grau de realismo e detalhamento, como é o caso do protótipo ObRV.

O Quest 2 também apresenta melhorias nos controladores *Touch*, oferecendo maior precisão e ergonomia. Esses controladores são essenciais para interações naturais e intuitivas dentro do ambiente virtual, contribuindo para uma experiência mais envolvente e eficiente.

Em termos de disponibilidade, o Quest 2 foi lançado com uma estratégia de preço acessível, tornando-o mais atrativo para desenvolvedores e consumidores. Essa combinação de desempenho avançado e custo-benefício fez dele uma opção ideal para o desenvolvimento e teste do protótipo ObRV.

A escolha do Oculus Quest 2, em conjunto com o Unity, não foi apenas uma questão de conveniência, mas uma decisão fundamentada em suas capacidades técnicas superiores, disponibilidade no mercado e potencial para proporcionar uma experiência de realidade virtual de alta qualidade. Com as ferramentas de desenvolvimento e o hardware definidos, o próximo passo foi a seleção dos sistemas construtivos a serem representados no protótipo ObRV⁵. A escolha cuidadosa desses sistemas é crucial para atender aos objetivos educacionais do projeto, permitindo que os usuários compreendam e interajam com técnicas e materiais de construção dentro do ambiente virtual.

4.2.1 Os sistemas construtivos

O protótipo ObRV é uma aplicação experimental desenvolvida no contexto desta tese, concebida como uma iniciativa com potencial para se tornar plenamente funcional no futuro. A proposta é que uma interface completa ofereça, idealmente, uma variedade de práticas construtivas para experimentação. No entanto, para o desenvolvimento inicial do protótipo, foi necessário fazer um recorte que tornasse viável o desenvolvimento e a implementação da aplicação.

Uma premissa importante foi focar em procedimentos de construção de infraestrutura, como fundações, vedações e cobertura, deixando outras frentes complementares — como instalações elétricas, hidráulicas e acabamentos — para o desdobramento futuro da plataforma. Acredita-se que a infraestrutura, por si só, já seria relevante para a experimentação inicial dos alunos, pois é uma parte fundamental da construção, muitas vezes tratada de maneira superficial no processo de projeto. Mesmo softwares de modelagem, incluindo aqueles baseados em BIM, frequentemente tratam a infraestrutura como uma abstração com representação simplificada.

Inicialmente, definiu-se para o desenvolvimento da interface o sistema construtivo mais comum no Brasil, baseado em estruturas de concreto armado e vedações de alvenaria. Posteriormente, sobretudo no final do desenvolvimento do protótipo, foi incluído o **steel frame** como alternativa de construção a seco, o que poderia ser bastante interessante para uma experiência comparativa dos alunos.

⁵ Durante a fase inicial de desenvolvimento do protótipo e definição do dispositivo, o Meta Quest 3 ainda não havia sido lançado.

4.2.1.1 Sistema construtivo em concreto armado e alvenaria

O sistema construtivo em concreto armado e alvenaria é amplamente utilizado no Brasil, sendo considerado o método tradicional de construção no país. Esse sistema envolve estruturas de concreto armado, que proporcionam resistência e estabilidade à edificação, e alvenaria, geralmente realizada com blocos cerâmicos ou de concreto. As estruturas de concreto armado são compostas por pilares, vigas e lajes, que trabalham em conjunto para suportar as cargas da edificação.

A alvenaria é utilizada tanto como elemento portante, realizando uma função estrutural, quanto como vedação independente da estrutura, para a divisão interna dos espaços e para o fechamento externo, contribuindo para o conforto térmico e acústico da edificação. Os materiais utilizados neste sistema — como cimento, areia, brita e tijolos — são amplamente produzidos e comercializados em todo o território nacional, facilitando o acesso e reduzindo os custos de transporte.

De acordo com a “Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua” (PNAD Contínua), realizada pelo IBGE em 2018, 88,4% dos domicílios no país possuíam paredes externas em alvenaria ou taipa com revestimento, e 6,3% possuíam paredes externas em alvenaria ou taipa sem revestimento (IBGE, [2018]). Esses números evidenciam a predominância desse sistema construtivo no Brasil.

Além disso, a construção civil no Brasil possui uma significativa dimensão social, caracterizada pela prevalência do trabalho manual e de técnicas tradicionais transmitidas ao longo de gerações. A mão de obra é majoritariamente composta por trabalhadores que utilizam conhecimentos empíricos e habilidades práticas adquiridas na experiência diária, refletindo uma cultura profundamente enraizada no “saber fazer”. O acesso aos insumos necessários para esses métodos construtivos é relativamente facilitado, uma vez que materiais como tijolos de barro, areia e cimento são produzidos localmente ou têm ampla disponibilidade no mercado nacional. Essa realidade não apenas molda o mercado de trabalho, oferecendo alternativas de emprego para uma grande parcela da população, mas também exerce influência significativa na economia local e regional.

Portanto, considerando tanto a familiaridade quanto a correspondência com a realidade brasileira, decidiu-se inicialmente focar nas técnicas tradicionais de construção no contexto de pequenas edificações. Essa abordagem é mais adequada ao envolver os alunos em uma simulação construtiva, pois leva em conta a escala da

obra, as diversas etapas envolvidas e o tempo disponível para a realização das atividades. Além disso, ao trabalhar com sistemas construtivos amplamente utilizados, os estudantes podem conectar o conteúdo aprendido em sala de aula com práticas observáveis em seu entorno, facilitando a assimilação e a aplicação do conhecimento.

Dentro desse panorama, foram considerados procedimentos construtivos para a simulação de elementos como fundações superficiais, contrapiso, vigas e pilares em concreto armado, alvenaria de tijolo de barro maciço e laje de cobertura. A seleção desses componentes possibilita uma compreensão abrangente das etapas fundamentais de uma construção tradicional. Ao englobar desde a base até a cobertura, os alunos podem vivenciar todo o processo construtivo, identificando as inter-relações entre os diferentes sistemas e etapas. Para mais, essa escolha permite que a simulação seja conduzida de forma eficiente dentro do tempo e recursos disponíveis, sem sacrificar a profundidade e a qualidade do aprendizado.

Ao concentrar-se em técnicas amplamente utilizadas, o protótipo busca proporcionar uma experiência educativa que considere a realidade do setor da construção civil no Brasil. Essa base em métodos tradicionais serve, ainda, como ponto de partida para a introdução de sistemas construtivos inovadores em etapas posteriores, promovendo uma experiência mais completa.

Para complementar o protótipo com outro sistema construtivo, além do tradicional, buscou-se uma alternativa modular e industrializada, optando pelo *steel frame* devido versatilidade do sistema e ao crescente interesse no setor da construção civil brasileira.

4.2.1.2 Sistema *steel frame*

O *steel frame* é um sistema construtivo que utiliza perfis metálicos leves, geralmente de aço galvanizado, formando uma estrutura reticulada que serve de suporte para os demais componentes da edificação. Sua versatilidade permite o uso tanto em vedações verticais (paredes internas e externas) quanto em coberturas, possibilitando a execução de edificações residenciais, comerciais e industriais com rapidez e precisão.

Uma característica marcante do *steel frame* é a construção a seco, que reduz ou elimina o uso de água durante o processo construtivo, em contraste com os

métodos tradicionais que empregam argamassa e concreto. Essa abordagem minimiza o desperdício de materiais e o impacto ambiental das obras. Além disso, a leveza dos perfis metálicos facilita o transporte e a manipulação dos elementos, permitindo uma montagem mais ágil e segura. O sistema também oferece maior precisão e controle de qualidade devido à fabricação industrial dos componentes, contribuindo para edificações mais sustentáveis e eficientes.

A regularização do *steel frame* no Brasil se iniciou com a publicação de normas técnicas específicas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como a NBR 15253, que trata do “Projeto de estruturas de aço em edificações”, e a NBR 15575, conhecida como “Norma de Desempenho”, que estabelece requisitos para sistemas construtivos, incluindo aqueles baseados em estruturas metálicas leves (ABNT, 2013, 2014). Essas normas forneceram diretrizes para o projeto, execução e desempenho das edificações em *steel frame*, contribuindo para sua aceitação no mercado nacional.

Segundo o estudo “Cenário dos Fabricantes de Perfis Galvanizados para *Light Steel Frame* e *Drywall* 2024” realizado pelo Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), o *steel frame* tem apresentado um crescimento significativo no Brasil. O levantamento mostrou um aumento de 27,7% na produção de *light steel frame* em relação ao ano anterior, com expectativas otimistas para os próximos anos. As 36 empresas participantes apresentaram um faturamento de R\$ 1,6 bilhão, representando um crescimento de 18,7% em relação ao ano anterior. Esses dados refletem a expansão do sistema no mercado nacional (CBCA, 2024).

Outro dado relevante do estudo é a concentração regional da produção de *steel frame* no Brasil. Conforme apontado pelo CBCA (2024), a produção está majoritariamente concentrada nas regiões Sudeste (61,1%) e Sul (27,8%), que dominam o mercado nacional. Em contraste, o sistema construtivo tradicional possui uma produção mais distribuída por todo o país. Essa concentração regional do *steel frame* sugere uma maior presença do sistema em regiões com infraestrutura mais desenvolvida, indicando a possibilidade de expansão para outras regiões brasileiras.

Comparativamente, países como Estados Unidos, Canadá, Japão e Austrália utilizam o *steel frame* em suas construções há várias décadas. Nos Estados Unidos, por exemplo, o sistema é adotado em edificações residenciais de baixa altura, resultado de políticas de incentivo à construção sustentável e da busca por eficiência nos processos construtivos.

Apesar do potencial e do crescimento observado, o *steel frame* ainda é considerado pouco utilizado, especialmente em Habitações de Interesse Social (HIS). De acordo com Malta, Arcipreste e Aguiar (2021), existem problemas de aceitação cultural, onde muitos usuários relataram insegurança em relação ao sistema, associando-o à fragilidade e ao desconhecimento técnico. Além disso, a necessidade de assistência técnica especializada para a manutenção do sistema é um desafio, pois a mão de obra qualificada ainda é escassa no país.

No contexto educacional, a inclusão do *steel frame* no protótipo ObRV oferece aos alunos a oportunidade de explorar um sistema construtivo alternativo, permitindo a comparação com os métodos tradicionais. Dessa forma, os estudantes podem compreender as características de cada sistema, desenvolvendo uma visão crítica sobre as práticas construtivas contemporâneas.

Além disso, constatou-se que a utilização de um sistema construtivo modular e industrializado, caracterizado pela montagem de elementos pré-fabricados, podem contribuir para o desenvolvimento das interações com procedimentos mais precisos e simulações mais eficientes, aprimorando a experiência dos usuários. Nos próximos tópicos serão detalhadas as etapas de desenvolvimento do protótipo ObRV, assim como as metodologias aplicadas.

4.2.2 A criação do ambiente virtual e da interface

A criação do ambiente do protótipo ObRV ocorreu de maneira experimental, desenvolvendo-se em paralelo ao processo de aprendizado da utilização do Unity. O ambiente foi aprimorado à medida que as simulações dos procedimentos construtivos foram elaboradas. Para proporcionar uma experiência imersiva e funcional, foi necessário planejar cuidadosamente o terreno, os elementos presentes no ambiente virtual e a interface de interação do usuário.

Para compreender como o desenvolvimento no Unity facilitou a criação do protótipo ObRV, é relevante introduzir e comentar sobre a interface do software. O Unity é uma plataforma poderosa para o desenvolvimento de ambientes virtuais interativos, logo, entender sua área de trabalho e a lógica por trás de seus componentes é fundamental para contextualizar o desenvolvimento do protótipo.

A interface do Unity é projetada para ser intuitiva e organizada, dividindo-se em várias janelas e painéis que auxiliam na gestão dos diferentes aspectos do projeto (Figura 12). Os principais painéis da área de trabalho do Unity são:

- **Scene View** (Visualização de Cena): é o espaço onde o desenvolvedor constrói e organiza o ambiente virtual. Nesta janela, é possível posicionar, rotacionar e escalar objetos, além de visualizar a cena de diferentes ângulos. É o local principal para montar o cenário e ajustar os elementos que o compõem;
- **Game View** (Visualização de Jogo): apresenta uma prévia de como o jogo ou aplicação será exibido ao usuário final. Nesta visualização, é possível testar a interatividade e o comportamento dos elementos em tempo real, conforme as configurações definidas na *Scene View*;
- **Hierarchy** (Hierarquia): lista todos os objetos presentes na cena atual. A hierarquia permite organizar os objetos em uma estrutura de pais e filhos, facilitando a gestão e a organização dos elementos no ambiente virtual;
- **Project** (Projeto): exibe todos os assets (recursos) disponíveis no projeto, como modelos 3D, texturas, scripts, sons e outros. Este painel funciona como um explorador de arquivos específico do Unity, onde é possível importar, criar e organizar os assets que serão utilizados nas cenas;
- **Inspector** (Inspector): mostra as propriedades e componentes do objeto selecionado na *Hierarchy* ou na *Scene View*. Através do *Inspector*, é possível ajustar parâmetros, adicionar ou remover componentes e modificar atributos específicos dos objetos.

Figura 12 – Captura de tela da interface do Unity



Fonte: Autor (2024).

A lógica de funcionamento da Unity baseia-se em dois conceitos fundamentais, *GameObjects* (Objetos de Jogo) e *Components* (Componentes):

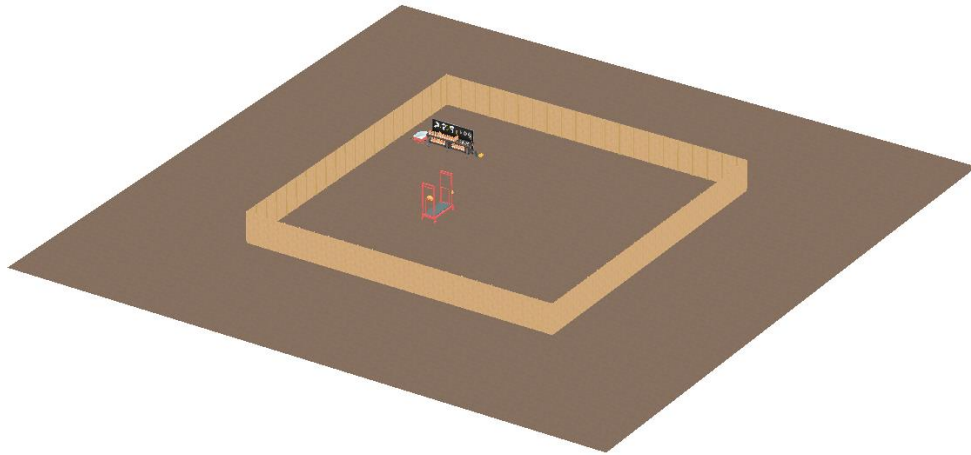
- ***GameObjects***: são os blocos de construção básicos em uma cena do Unity. Qualquer elemento presente no ambiente virtual é um *GameObject*, seja uma câmera, luz, personagem, objeto decorativo ou mesmo elementos invisíveis que controlam a lógica do jogo;
- ***Components***: são módulos que definem o comportamento e as características dos *GameObjects*. Cada *GameObject* pode ter múltiplos componentes que acrescentam funcionalidades específicas. Por exemplo, para que um objeto seja visível, é necessário adicionar um componente de renderização de malha (*Mesh Renderer*), e para que seja afetado pela física, adiciona-se um componente de corpo rígido (*Rigidbody*).

Outro conceito importante no Unity são os *Prefabs* (Objetos Pré-fabricados). Esses modelos de *GameObjects* podem ser criados uma vez e reutilizados várias vezes no projeto. Eles são especialmente úteis para instanciar diversas cópias de um objeto com as mesmas características ou para manter a consistência entre elementos semelhantes. No protótipo ObRV, os *Prefabs* desempenham um papel essencial na organização e eficiência, viabilizando a simulação de procedimentos construtivos que envolvem vários elementos estruturais.

4.2.2.1 Desenvolvimento do ambiente virtual

O ambiente do protótipo ObRV é baseado na ideia de um terreno ou lote para construir. Durante a concepção das simulações, identificou-se a necessidade de estabelecer uma grade para basear as medidas de modelagem e o desenvolvimento das interações. Apesar da premissa inicial de prezar pela maior liberdade possível ficou evidente a necessidade de implementar uma modulação geral para desenvolver a simulação das etapas de marcação da planta e da realização da fundação, que envolviam o trabalho diretamente com o terreno (Figura 13).

Figura 13 – Captura de tela da área de trabalho do Unity com a visão geral do terreno em projeção ortográfica



Fonte: Autor (2024).

Portanto, o terreno é baseado em uma grade, definida a partir das simulações de execução de fundações com medidas de 30 x 30 cm, ajustadas posteriormente para 15 x 15 cm. O modelo 3D do terreno é constituído por dois volumes quadrados sobrepostos, permitindo a simulação de escavação com duas possibilidades de profundidade: 40 cm e, adicionalmente, mais 40 cm, resultando em uma profundidade total de 80 cm.

Essa estrutura em camadas do terreno possibilita que o usuário experimente as etapas de escavação, removendo cada camada para atingir a profundidade desejada, o que facilita a compreensão dos processos construtivos relacionados às fundações superficiais.

No ambiente do protótipo, há um elemento fixo e permanente que corresponde a uma bancada de trabalho, onde estão dispostos todos os materiais e ferramentas a serem utilizados (Figura 14). A presença da bancada serve como ponto de referência espacial para o usuário dentro do ambiente virtual e organiza os recursos necessários para as atividades.

Figura 14 – Captura de tela da área de trabalho do Unity com a bancada fixa no ambiente do protótipo



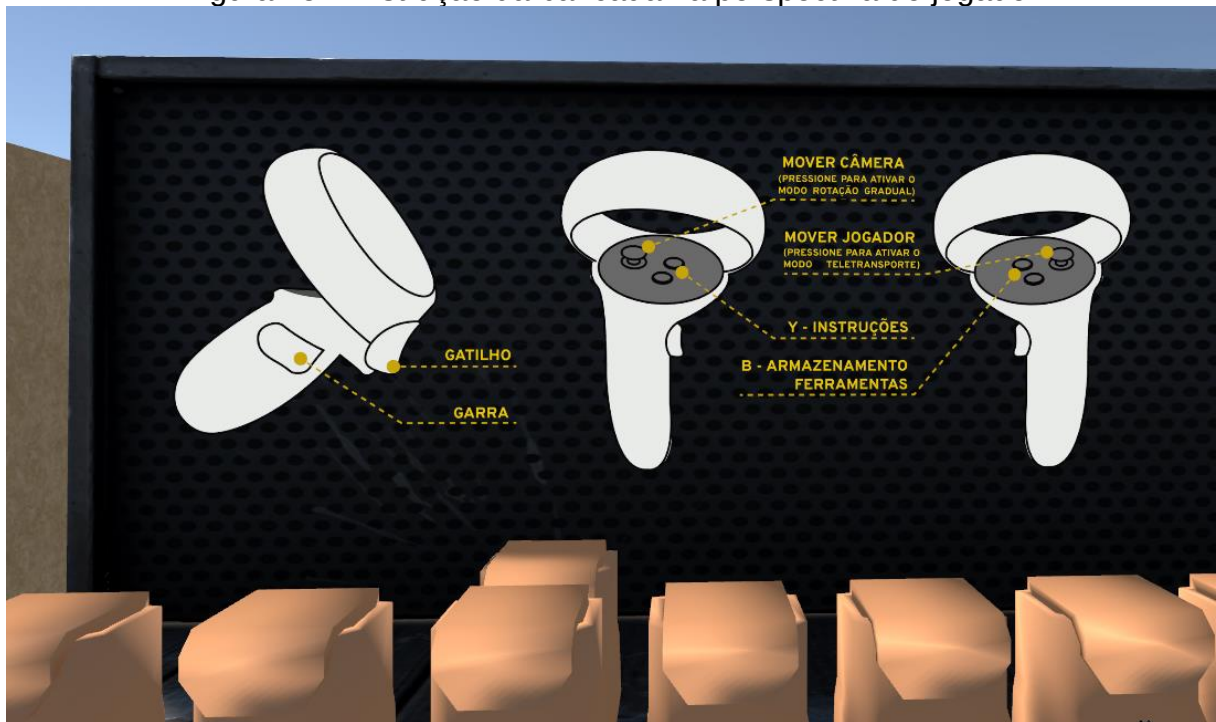
Fonte: Autor (2024).

O fechamento do limite de atuação no terreno, com medidas de 20,7 x 20,7 metros, foi realizado com tapumes — uma estrutura provisória comumente utilizada em canteiros de obras para delimitar e proteger a área de trabalho, geralmente composta por chapas de madeira. Essa escolha, além de replicar a configuração de um canteiro de obras real, contribui para a simplicidade do ambiente virtual, evitando distrair os usuários do objetivo principal, que é a realização das atividades propostas. A horizontalidade dos tapumes também desempenha um papel importante ao criar um ponto de referência visual estável, auxiliando na redução da desorientação espacial e da cinetose.

4.2.2.2 Integração dos mecanismos de interação

Nessa bancada de trabalho, também são apresentados os mecanismos básicos de interação no ambiente virtual por meio dos controles. Para facilitar a compreensão do uso do ObRV, foi disponibilizada sinalização na bancada que identifica os comandos dos controles (Figura 15).

Figura 15 – Instrução da bancada na perspectiva do jogador



Fonte: Autor (2024).

Esses comandos incluem:

- Gatilho e garra: utilizados para manipulação de objetos;
- Direcional analógico esquerdo: controla o movimento do jogador no espaço;
- Direcional analógico direito: permite girar a visão;
- Botão Y: abre as instruções quando disponíveis;
- Botão B: acessa o armazenamento de ferramentas.

Foi desenvolvido um menu principal, acessado pelo botão A, que permite salvar o progresso digitando o nome do usuário através de um teclado virtual, carregar um jogo salvo e habilitar opções de visualização, como alterar o período do dia e ativar a visualização do vento. A funcionalidade de salvamento foi implementada considerando que o uso do canteiro poderia se estender por várias sessões, permitindo que o estudante retome do ponto em que parou.

Para implementar a navegação do usuário no espaço virtual, foi utilizada a funcionalidade de locomoção disponibilizada no *XR Interaction Toolkit* do Unity. A locomoção refere-se ao conjunto de métodos que permitem ao usuário se movimentar dentro do ambiente virtual.

Foram adotadas duas abordagens principais:

- Movimento Contínuo (*Continuous Movement*): simula andar ou correr no ambiente, como se o usuário estivesse controlando um personagem em um jogo tradicional de primeira pessoa, utilizando o *joystick* do controlador para se deslocar;
- Giro Suave (*Smooth Turn*): permite que o usuário vire a visão com uma rotação fluida e contínua, também utilizando o *joystick*.

Entretanto, esse modo de locomoção pode apresentar maior risco de enjoo devido à cinetose (*motion sickness*), causada pelo descompasso entre o movimento visualizado e a percepção do sistema vestibular do usuário. Considerando essa questão, foram disponibilizadas funções alternativas de movimento para pessoas com maior tendência ao enjoo:

- Teletransporte: envolve “pular” de um ponto a outro no ambiente. O jogador aponta a posição desejada ao apertar o botão, que mostra a trajetória, e confirma o teletransporte ao soltar o botão do controlador;
- Giro em Incrementos (*Snap Turn*): aliado ao modo teletransporte, permite girar a visão em incrementos angulares definidos, reduzindo a chance de náusea.

Essas opções de locomoção e interação visam atender às preferências e necessidades de diferentes usuários, proporcionando uma experiência mais confortável e acessível.

Compreender essa lógica de *GameObjects*, *Components*, *assets* e *prefabs* evidencia como o Unity proporciona um ambiente de desenvolvimento poderoso e flexível. No contexto do desenvolvimento do protótipo ObRV, essa estrutura facilitou a construção de um ambiente virtual educacional, permitindo a integração de modelos 3D que representam estruturas de construção, scripts que definem interações do usuário e componentes que simulam comportamentos físicos realistas.

A capacidade de reutilizar *assets*, componentes e *prefabs* acelerou o processo de desenvolvimento. Por exemplo, um mesmo script de interação pôde ser aplicado a múltiplos objetos e materiais foram utilizados em diferentes modelos, garantindo consistência visual e funcional no ambiente virtual. Já os *prefabs* permitiram a criação e o gerenciamento eficiente de elementos recorrentes, como

ferramentas e componentes construtivos, que serão detalhados em seções posteriores.

A compreensão da área de trabalho do Unity e da lógica de seus componentes foi essencial para aproveitar todo o potencial da plataforma. Essa base sólida permitiu focar na criação de experiências imersivas e educativas, como as propostas pelo ObRV, otimizando recursos e tempo no processo de desenvolvimento.

4.2.3 Ferramentas e materiais construtivos

O desenvolvimento das ferramentas e materiais construtivos para o protótipo ObRV foi realizado de forma incremental, alinhado ao avanço do projeto e à identificação de novas necessidades. Buscou-se considerar apenas as ferramentas essenciais, a fim de evitar sobrecarga cognitiva e o excesso de informações para o usuário, mantendo o foco nas atividades principais do ambiente virtual.

Foram criadas duas categorias principais de *prefabs* para o funcionamento do protótipo: “Ferramentas e Equipamentos” e “Materiais e Componentes”. Cada item foi pensado não apenas para reproduzir elementos presentes em um canteiro de obras real, mas também para contribuir diretamente para os objetivos educacionais do protótipo, permitindo que os usuários aprendam e pratiquem procedimentos construtivos de forma interativa e imersiva.

4.2.3.1 Ferramentas e equipamentos

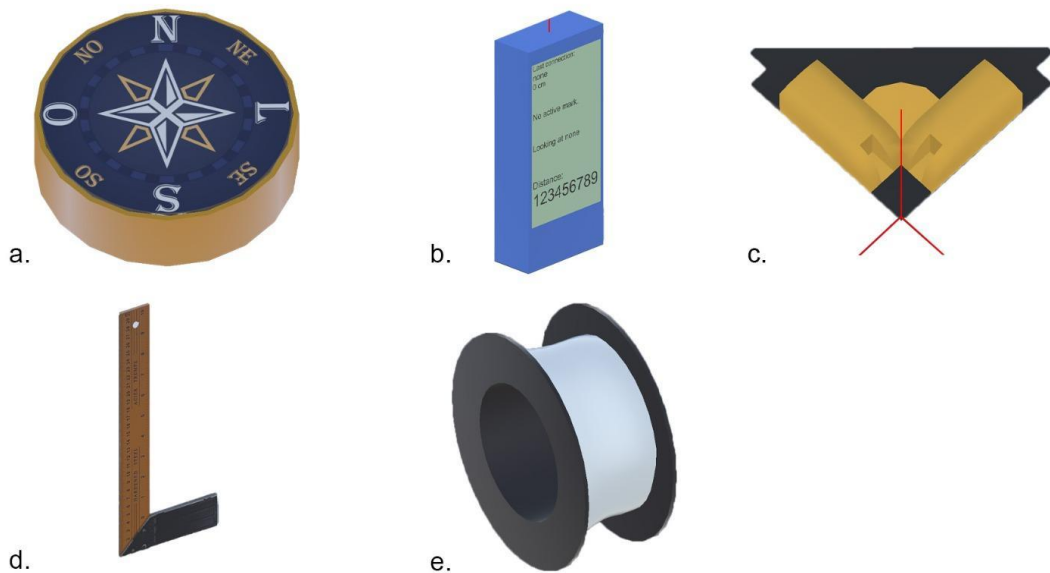
Esta categoria inclui instrumentos utilizados para medição, precisão, manipulação e apoio operacional. Essas ferramentas são essenciais para que o usuário compreenda e execute as etapas dos processos construtivos, desenvolvendo habilidades práticas e reforçando conceitos teóricos.

Conforme exposto na Figura 16 abaixo, as ferramentas de medição e precisão são:

- a) Bússola: utilizada para orientação espacial e alinhamento de estruturas conforme os pontos cardeais;
- b) Trena: ferramenta de medição linear para dimensionamento;

- c) Nível a laser: equipamento que projeta linhas niveladas, facilitando o alinhamento horizontal e vertical;
- d) Esquadro: instrumento para verificação de ângulos retos e alinhamentos perpendiculares;
- e) Carretel de linha: também conhecido como linha de pedreiro, utilizado para demarcar alinhamentos.

Figura 16 – Ferramentas de medição e precisão



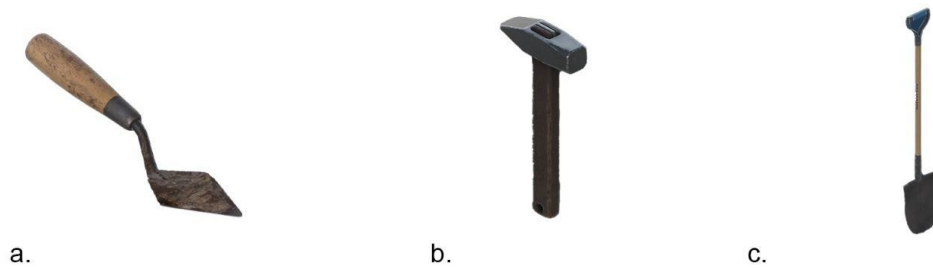
Fonte: Autor (2024).

Legenda: a) bússola; b) trena digital; c) nível a laser; d) esquadro; e) carretel.

A Figura 17, abaixo, apresenta as ferramentas manuais:

- a) Espátula: utilizada para aplicação e acabamento de argamassa;
- b) Martelo: ferramenta básica para fixação de pregos e ajustes em geral. Foi utilizado no protótipo para partir tijolos em módulos menores;
- c) Pá: empregada em atividades de escavação e movimentação de materiais soltos.

Figura 17 – Ferramentas manuais



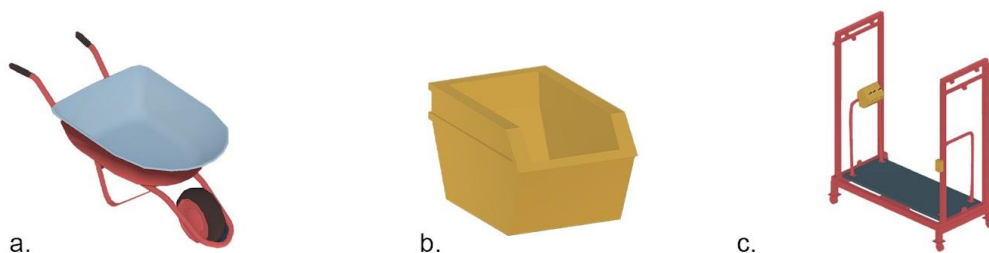
Fonte: Autor (2024).

Legenda: a) espátula; b) martelo; c) pá.

Abaixo, temos os equipamentos de apoio (Figura 18):

- a) Carrinho de mão: para transporte de materiais, utilizado no protótipo para transportar o concreto durante a concretagem;
- b) Caçamba: recipiente utilizado para transportar e armazenar materiais e entulho. Utilizada simbolicamente no protótipo como equipamento manipulável com a mão para remoção de entulho e limpeza do canteiro;
- c) Andaime automatizado: plataforma elevatória que permite acesso seguro a diferentes alturas durante a construção.

Figura 18 – Equipamentos de apoio



Fonte: Autor (2024).

Legenda: a) carrinho de mão; b) caçamba; c) andaime automatizado.

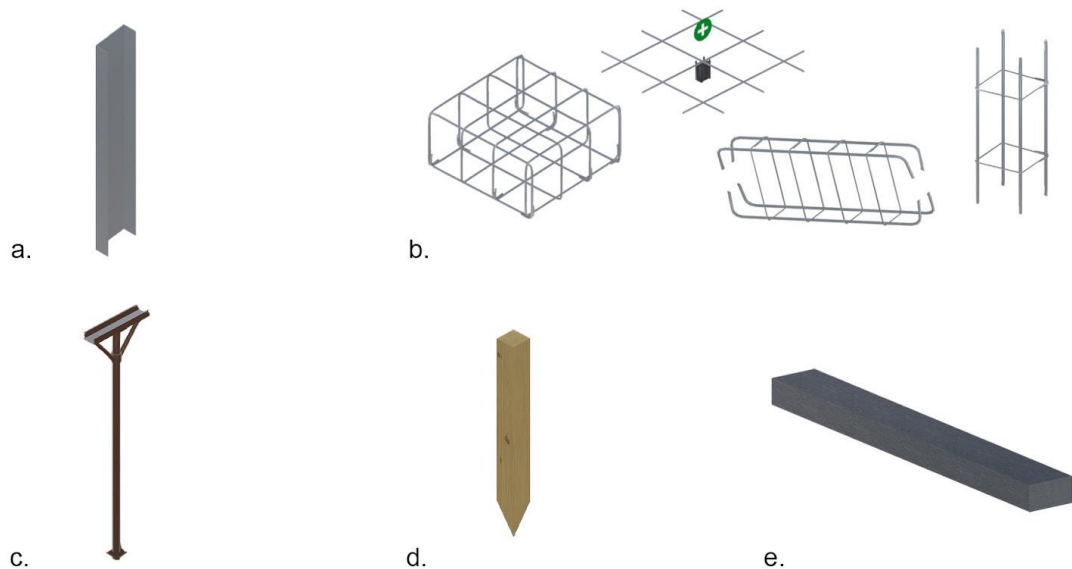
4.2.3.2 Materiais e componentes

Abrange os itens necessários para a construção das estruturas e para o desenvolvimento das atividades propostas. A interação com esses materiais permite que o usuário compreenda as propriedades e aplicações de cada componente, reforçando o conhecimento sobre sistemas construtivos.

A Figura 19, abaixo, apresenta os itens estruturais:

- a) Perfis de *steel frame*: componentes metálicos que formam a estrutura principal no sistema construtivo *steel frame*;
- b) Ferragens: incluem vergalhões e armaduras utilizados no reforço de estruturas de concreto. No protótipo, foram desenvolvidos *prefabs* específicos para cada elemento estrutural (sapata, contrapiso, viga baldrame e viga aérea, pilar e laje de cobertura);
- c) Escora metálica: elementos provisórios para suportar cargas temporárias durante a construção, utilizadas no protótipo durante a construção da laje;
- d) Pontaletes: peças de madeira ou metal que servem como suporte em escoramentos e estruturas temporárias. No protótipo, foram utilizados para apoiar a marcação do terreno;
- e) Vergas pré-moldadas: elementos estruturais colocados acima de vãos, como portas e janelas, para distribuição de cargas.

Figura 19 – Itens estruturais



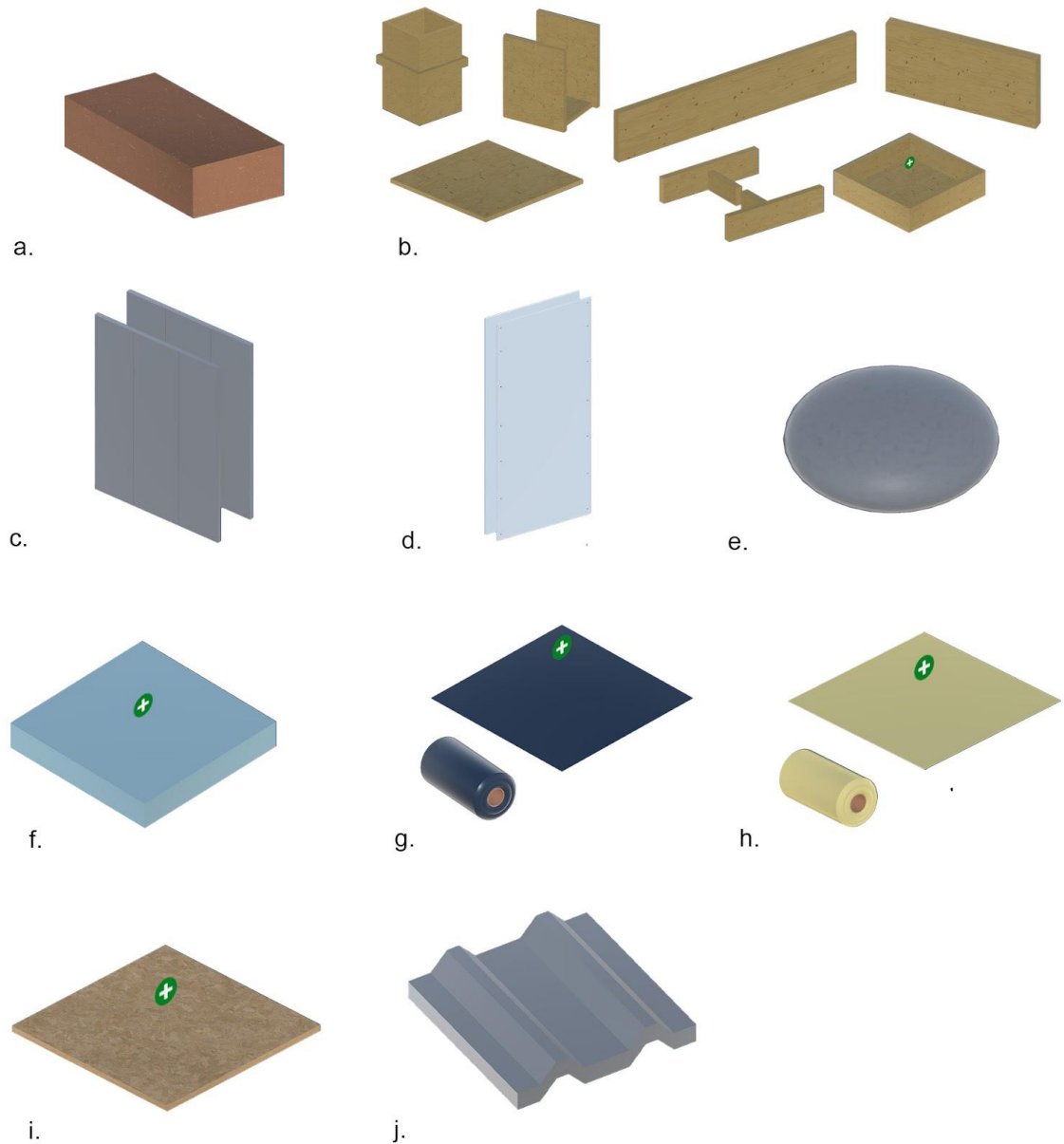
Fonte: Autor (2024).

Legenda: a) perfil de *steel frame*; b) ferragens; c) escora metálica; d) pontaletes; e) vergas pré-moldadas.

Na Figura 20, temos os seguintes insumos gerais:

- a) Tijolos: blocos cerâmicos utilizados na construção de alvenarias. Foram desenvolvidos três *prefabs* de tijolinho maciço, com variação de medidas (inteiro, meio e um terço);
- b) Madeirite: chapas de madeira compensada empregadas em fôrmas para concreto. Foram desenvolvidos 4 *prefabs* específicos para a fôrma de cada elemento estrutural (laje radier, viga baldrame e viga aérea, pilar e laje de cobertura);
- c) Chapa cimentícia: placas utilizadas em fechamentos no sistema *steel frame*;
- d) Chapa de gesso: utilizada em divisórias internas como *drywall* e fechamento de forro;
- e) Argamassa: mistura de cimento, areia e água, empregada como ligante no assentamento dos tijolos da alvenaria;
- f) Lona: material impermeável utilizado no protótipo para impermeabilização na execução do contrapiso;
- g) Manta de isolamento: material empregado para isolamento térmico e acústico nas paredes de *steel frame* e *drywall*;
- h) Painel XPS: placas de poliestireno extrudado utilizadas como isolante térmico na execução da laje seca;
- i) OSB (*Oriented Strand Board*): painéis de tiras de madeira orientadas, usados em estruturas e na construção da laje seca;
- j) Telha sanduíche: telhas compostas por duas chapas metálicas com material isolante no meio, proporcionando isolamento térmico e acústico.

Figura 20 – Insumos gerais



Fonte: Autor (2024).

Legenda: a) tijolo; b) madeirite; c) chapa cimentícia; d) chapa de gesso; e) argamassa; f) lona; g) manta de isolamento; h) painel XPS; i) OBS; j) telha sanduíche.

Além da seleção cuidadosa das ferramentas e materiais construtivos descritos anteriormente, a organização desses itens no protótipo ObRV foi planejada para otimizar a experiência do usuário e facilitar a execução das atividades propostas.

As ferramentas estão disponíveis de imediato no canteiro de obras virtual, dispostas na bancada de trabalho para manipulação direta. Essa disposição permite que o usuário acesse rapidamente os instrumentos necessários, sem a necessidade

de navegar por menus ou sistemas de seleção complexos, agilizando o processo e mantendo o foco nas tarefas.

Por outro lado, os materiais e componentes construtivos, que são utilizados múltiplas vezes ao longo dos procedimentos, foram organizados por meio de um sistema de armazenamento simbolizado por bolsas, inspirado na ideia das bolsas de pedreiro. Cada bolsa é identificada com o material que abriga; ao pressionar o gatilho do controle próximo a uma bolsa, ela se abre e o jogador pode retirar os objetos desejados.

Para facilitar o manuseio das bolsas e ferramentas durante os procedimentos construtivos, foi desenvolvido um sistema de inventário baseado em “bolhas” holográficas, acionado pelo botão B do controlador (Figura 21). Esse sistema permite ao usuário armazenar até quatro itens simultaneamente, sejam ferramentas ou bolsas de materiais, possibilitando um transporte eficiente dentro do ambiente virtual. As “bolhas” holográficas funcionam como espaços de armazenamento temporário, permitindo acesso rápido aos itens sem a necessidade de retornar à bancada (Figura 22).

Figura 21 – Instrução sobre o inventário na bancada de trabalho na visão do usuário



Fonte: Autor (2024).

Figura 22 – O sistema de inventário em uso



Fonte: Autor (2024).

Essa organização dos itens para manipulação visa otimizar a usabilidade do protótipo, proporcionando uma experiência mais fluida e eficiente. Ao facilitar o acesso às ferramentas e materiais, o usuário pode se concentrar no aprendizado e na prática dos procedimentos construtivos, sem interrupções desnecessárias.

4.2.4 Os procedimentos construtivos e as interações guiadas

Como mencionado anteriormente, o protótipo ObRV buscou abordar procedimentos para a realização da infraestrutura básica de uma edificação, incluindo fundações, estrutura, vedações e coberturas, a fim de proporcionar uma experiência com o levantamento de uma construção.

Nesse sentido, inicialmente foram abordados os métodos construtivos mais usuais e amplamente empregados no Brasil, como estrutura em concreto armado e vedação de alvenaria. Além disso, foram introduzidas técnicas de construção a seco.

O processo de desenvolvimento das interações não foi linear, com uma dinâmica que, eventualmente, envolvia trabalhar em mais de um procedimento paralelamente. Isso ocorreu tanto em função dos desafios de desenvolvimento, que incluíam bloqueios em certos aspectos, quanto pela necessidade de avaliar a compatibilidade entre as etapas.

No entanto, a apresentação para os alunos deveria ser linear e concatenada, seguindo a ordem lógica das etapas construtivas. Por isso, a concepção dos tutoriais buscou apresentar cada procedimento ao aluno por meio de interações práticas guiadas e com tarefas específicas a serem realizadas em cada etapa.

Os tutoriais foram desenvolvidos para proporcionar compreensão e sequência das etapas construtivas essenciais, como a marcação do terreno e a construção de fundações, contrapiso, pilares e vigas, laje de cobertura, vedação em alvenaria e *steel frame*. Outro objetivo é familiarizar o estudante com a plataforma ObRV, possibilitando seu uso autônomo posteriormente no desenvolvimento de sua própria ideia.

Cada tutorial é conduzido por meio de mensagens de áudio, de um painel informativo adjacente à bancada, exibido temporariamente no início de cada atividade, e de telas informativas que podem ser acessadas pelo botão Y do controle esquerdo. Nessas telas, o aluno encontra a descrição da tarefa em texto, um diagrama axonométrico ilustrativo — com marcação em amarelo dos itens correspondentes à respectiva etapa — e uma foto ilustrativa. Esses recursos visuais foram projetados para criar uma identificação ou conexão de memória com o procedimento real, facilitando tanto a compreensão quanto a retenção dos conceitos apresentados.

Ao entrar no ObRV, o aluno é recebido com uma mensagem de áudio de boas-vindas, transcrita abaixo, que informa sobre o contexto de desenvolvimento da plataforma:

“Olá! Seja bem-vindo ao protótipo do canteiro de obras didático em realidade virtual. Aqui vamos aprender mais sobre construção.

Essa plataforma é um protótipo em desenvolvimento e integra a pesquisa de doutorado em andamento no NPGAU da Escola de Arquitetura da UFMG.

Faremos uma série de tutoriais para experimentarem as simulações de etapas construtivas para pequenas edificações e para se familiarizarem com esta plataforma.

Vamos lá?”

Nos tópicos seguintes, serão apresentados os procedimentos desenvolvidos e seus respectivos tutoriais para interação dos alunos, oferecendo uma visão organizada do desenvolvimento e do material produzido.

4.2.4.1 Marcação do terreno

A marcação da planta no terreno é um procedimento básico e essencial no início de qualquer obra; por isso, é o primeiro tutorial que inicia as atividades guiadas do protótipo. A atividade permite que o usuário pratique a medição de distâncias e dimensões, reforçando a importância da precisão nas etapas de construção e na leitura de projetos.

Ao entrar no protótipo o aluno recebe uma mensagem de boas-vindas, com uma introdução de áudio apoiada por imagens que aparecem no painel ativado temporariamente ao lado da bancada de trabalho (Figuras 23 e 24).

“Antes de começar qualquer obra, são necessários uma série de procedimentos para organizar o canteiro convencional, como a preparação do terreno através da terraplanagem, fechamento com tapume, instalação de placa de responsabilidade técnica e montagem de local protegido para armazenamento de ferramentas e insumos. Como o canteiro didático em RV é uma versão simplificada e didática, vamos avançar direto para as etapas construtivas, começando pelo primeiro passo: a marcação da planta no terreno. A precisão na marcação do terreno é crucial, pois erros nesta fase podem resultar em desvios estruturais, aumento de custos e até riscos à segurança. É neste momento que os profissionais aplicam conceitos de geometria, topografia e leitura de projetos, garantindo que a obra respeite as dimensões e orientações planejadas. Por isso, são utilizados procedimentos e ferramentas como trena, nível e prumo, essenciais para assegurar fidelidade à planta e evitar problemas que possam comprometer as etapas subsequentes da construção.”

Figura 23 – Primeira tela do painel de introdução do Tutorial 1



Fonte: Autor (2024).

Figura 24 – Segunda tela do painel de introdução do Tutorial 1

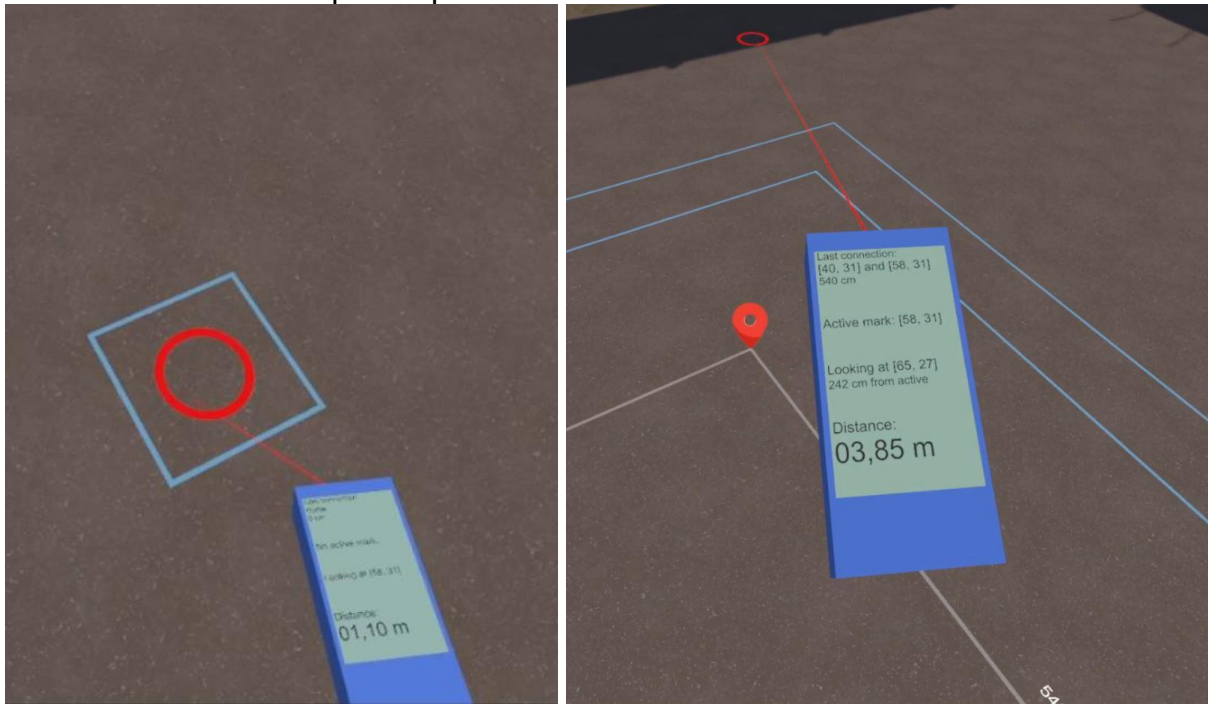


Fonte: Autor (2024).

Medição da planta no terreno

Ao final da mensagem, fica disponível a primeira instrução, habilitada pelo botão Y do controle esquerdo (Figura 25). Para realizar a tarefa de medição, considerando as limitações da interação no ambiente virtual, foi desenvolvida uma ferramenta de trena eletrônica que, além da função convencional de medir distâncias lineares, permite marcar visualmente um ponto na superfície e realizar medições entre pontos. Esse recurso é semelhante ao funcionamento de aplicativos de medida em celulares, como a trena do iPhone.

Figura 25 – Hologramas utilizados no processo de marcação. À esquerda, o holograma indica o ponto de marcação; à direita, mostra o holograma atualizado para a próxima tarefa



Fonte: Autor (2024).

Os pontos para a tomada das medidas estão sinalizados pelo holograma de contorno azul, que após o término do conferimento muda de formato para o próximo procedimento, passando a sinalizar a colocação dos pontaletes. Assim como o holograma, a tela de instrução é atualizada imediatamente após a marcação para a etapa de instalação dos pontaletes.

Instalação dos pontaletes

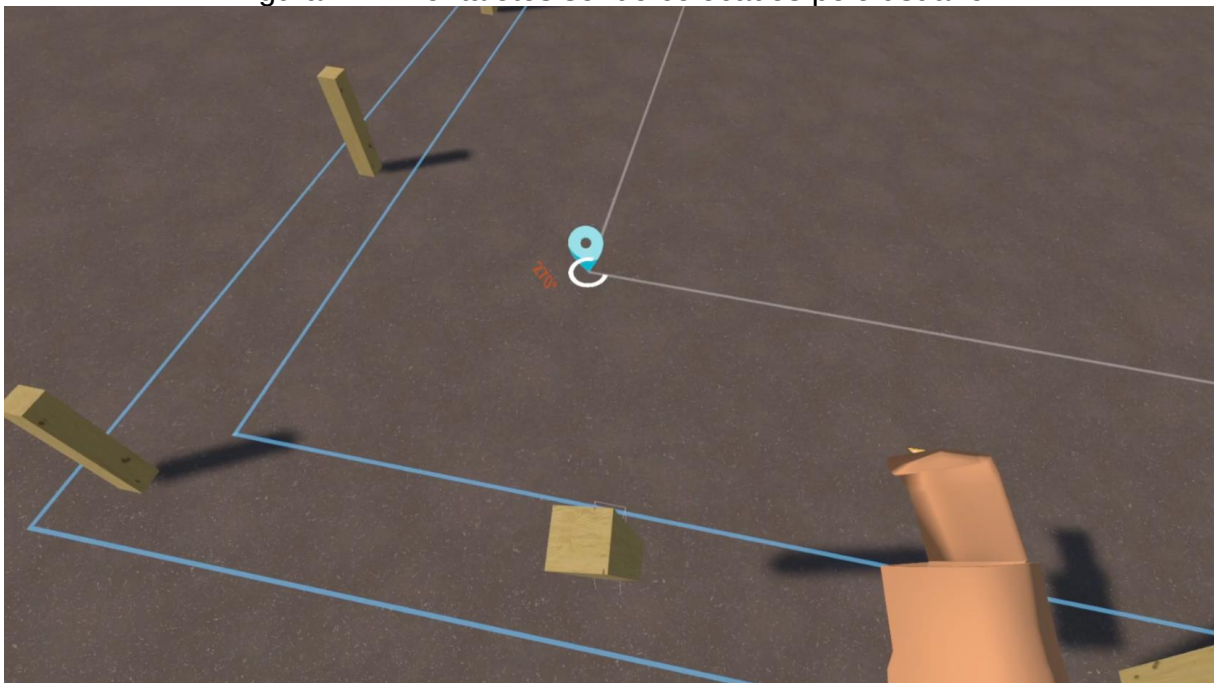
Nesta etapa, o estudante também manipulará pontaletes, fixados ao terreno respeitando uma distância de 1,2 m do esboço da planta para a área de circulação, medida identificada pelo holograma no terreno. No canteiro real, esse procedimento tem como objetivo criar um espaço de trabalho seguro ao redor da área de construção, permitindo a circulação de trabalhadores e o armazenamento de materiais, além de garantir que a marcação não seja perturbada durante a execução da obra.

Figura 26 – Tela de instruções para posicionamento dos pontaletes



Fonte: Autor (2024).

Figura 27 – Pontaletes sendo colocados pelo usuário



Fonte: Autor (2024).

Instalação das tábuas

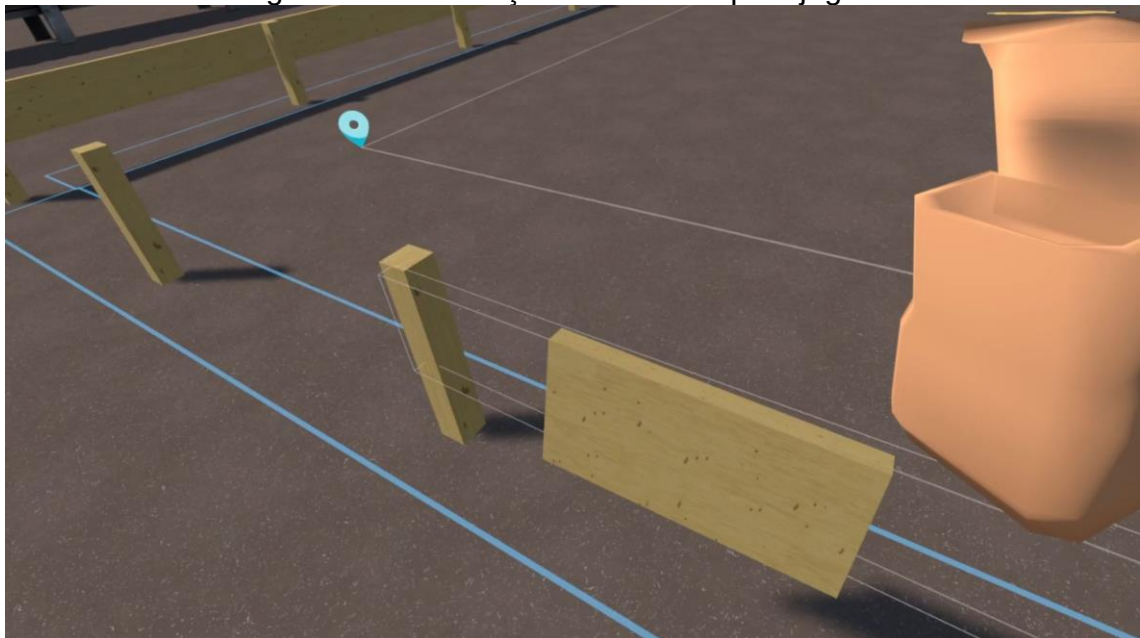
Em seguida, o usuário deve fixar as tábuas para delimitar a área da obra, considerando o espaço destinado à circulação interna (Figura 28). A Figura 29 demonstra o funcionamento do *game object* "tábua", no qual o usuário visualiza uma projeção do objeto em linhas finas na posição desejada, permitindo confirmar o alinhamento antes de fixá-lo ao soltar.

Figura 28 – Instrução para colocação das tábuas



Fonte: Autor (2024).

Figura 29 – Instalação das tábuas pelo jogador



Fonte: Autor (2024).

Marcação dos eixos da obra

Também é conduzida a marcação da planta propriamente dita, com eixos e alinhamentos, utilizando a linha de pedreiro, conforme os métodos convencionais empregados no Brasil para pequenas construções. A linha de pedreiro é esticada

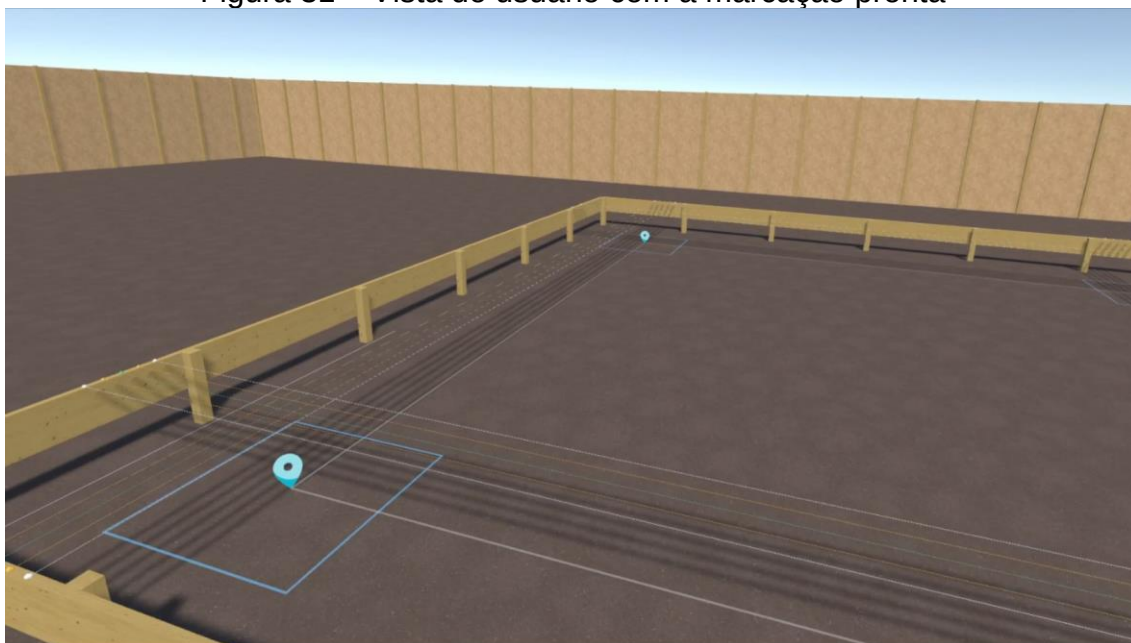
entre os pontaletes para definir os eixos das paredes, elementos estruturais e da vala, garantindo o correto posicionamento e alinhamento (Figuras 30 e 31).

Figura 30 – Instrução para marcar os eixos da obra



Fonte: Autor (2024).

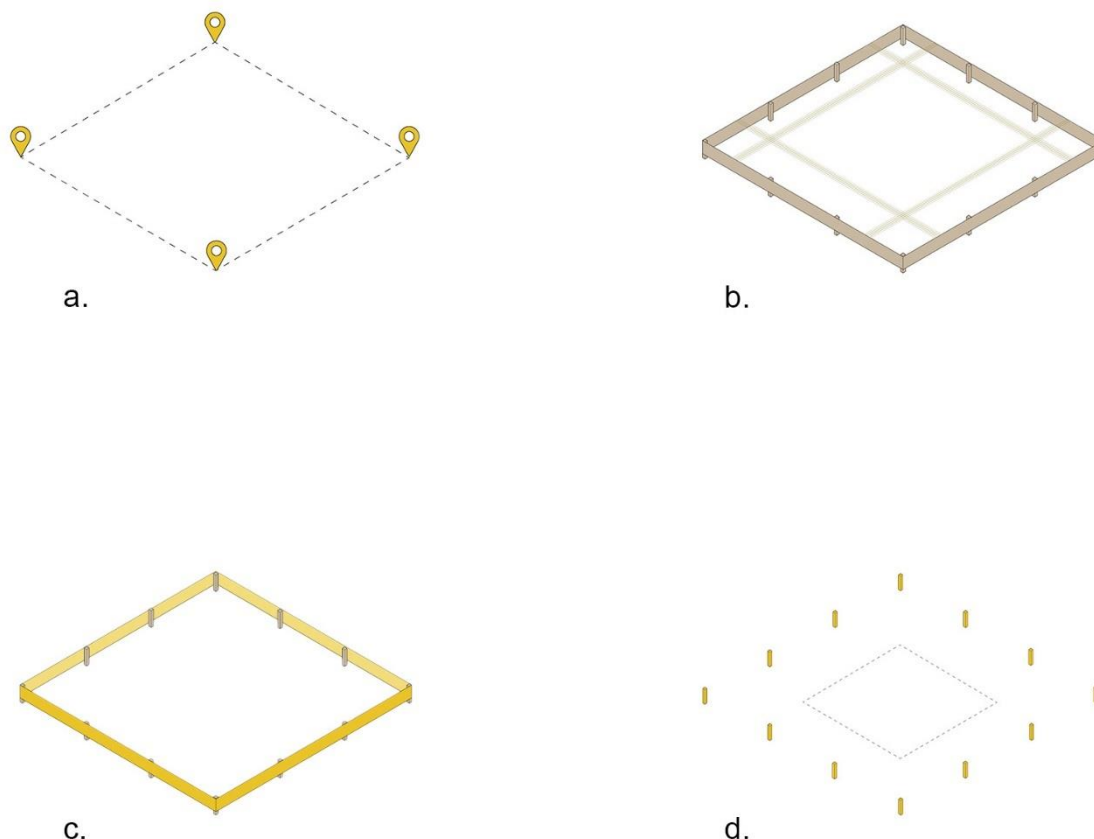
Figura 31 – Vista do usuário com a marcação pronta



Fonte: Autor (2024).

A seguir, será apresentado o conjunto de diagramas axonométricos desenvolvidos para a ilustração de cada etapa (Figura 32).

Figura 32 – Diagramas axonométricos das etapas construtivas



Fonte: Autor (2024).

Legenda: a) medição; b) instalação dos pontaletes; c) delimitação com as tábuas; d) marcação dos eixos.

4.2.4.2 Fundações

Esta etapa visa introduzir aos alunos a importância das fundações como o primeiro elemento efetivamente construído na edificação. As fundações são essenciais para a sustentação do peso da construção, desempenhando um papel crucial na estabilidade e na lógica estrutural do edifício. Elas garantem que as cargas geradas pela edificação sejam adequadamente transmitidas ao solo, evitando assentamentos diferenciais e possíveis patologias estruturais.

A definição das tipologias a serem simuladas se baseou nas práticas de pequenas construções em terrenos planos e estáveis, próximos ao terreno modelado

no protótipo. A princípio, optou-se por desenvolver somente a viga baldrame, que é uma fundação rasa em formato de viga contínua, apoiada diretamente sobre o solo, que distribui as cargas das paredes para o terreno. Essa solução é muito utilizada em pequenas edificações de um pavimento.

No entanto, decidiu-se também desenvolver a simulação da construção de sapatas, que são elementos estruturais de fundação direta em formato de base alargada. As sapatas distribuem as cargas dos pilares para o solo de forma mais abrangente, sendo amplamente utilizadas em obras tanto de um quanto de múltiplos pavimentos. A inclusão dessa tipologia visa proporcionar uma experiência mais completa ao aluno e oferecer um panorama mais geral sobre fundações.

A execução das fundações foi uma etapa importante na concepção do protótipo, pois, na ordem de desenvolvimento, veio inclusive antes da marcação do terreno. Foi justamente nessa etapa que se evidenciou a necessidade de contemplar uma modulação para facilitar o trabalho que envolvia cavar, posicionar elementos e realizar o reaterro. Posteriormente, essa abordagem embasou o desenvolvimento das demais etapas, incluindo a fase de marcação.

A transição entre as tarefas é automática, ficando a cargo do usuário salvar o “jogo” e retomar futuramente no ponto em que parou. Assim, logo após a marcação da planta, inicia-se a etapa de execução das fundações, com um áudio informativo e imagens ilustrativas (Figura 33):

“Com a planta corretamente demarcada, podemos agora dar início à obra. As fundações são essenciais para a estabilidade de qualquer edificação, pois são responsáveis por sustentar todas as cargas estruturais e transmiti-las ao solo de forma segura. A escolha do tipo de fundação está diretamente relacionada às características do solo, que devem ser determinadas por meio de sondagens e análises geotécnicas. Compreender a interação solo-estrutura é fundamental para evitar recalques diferenciais, garantir a segurança da edificação ao longo do tempo e assegurar que os esforços estruturais sejam adequadamente suportados.

Para terrenos mais exigentes ou edificações de maior porte, geralmente são utilizadas fundações profundas, como tubulões ou estacas. Em contraste, para pequenas construções em terrenos planos e estáveis, há a possibilidade de empregar fundações superficiais, como sapatas isoladas, lajes radier ou vigas baldrame, soluções mais simples e econômicas. Na próxima tarefa, iremos começar pela construção das sapatas, que ficam abaixo dos pilares que serão executados mais tarde. Em seguida, avançaremos para a construção da viga baldrame, elemento que contribui para a estabilidade e a uniformidade da estrutura.”

Figura 33 – Painel de introdução do Tutorial 2 com fotos ilustrativas de diferentes tipologias de fundação



Fonte: Autor (2024).

Escavação das valas

A primeira tarefa consiste em cavar o terreno, conforme as instruções apresentadas na Figura 34. Como a sapata necessita de maior profundidade, devido à sua função de distribuir as cargas dos pilares de maneira eficiente, e a viga baldrame pode ser mais rasa, o terreno foi planejado para permitir duas profundidades: um módulo com 40 cm de profundidade ou dois módulos totalizando 80 cm.

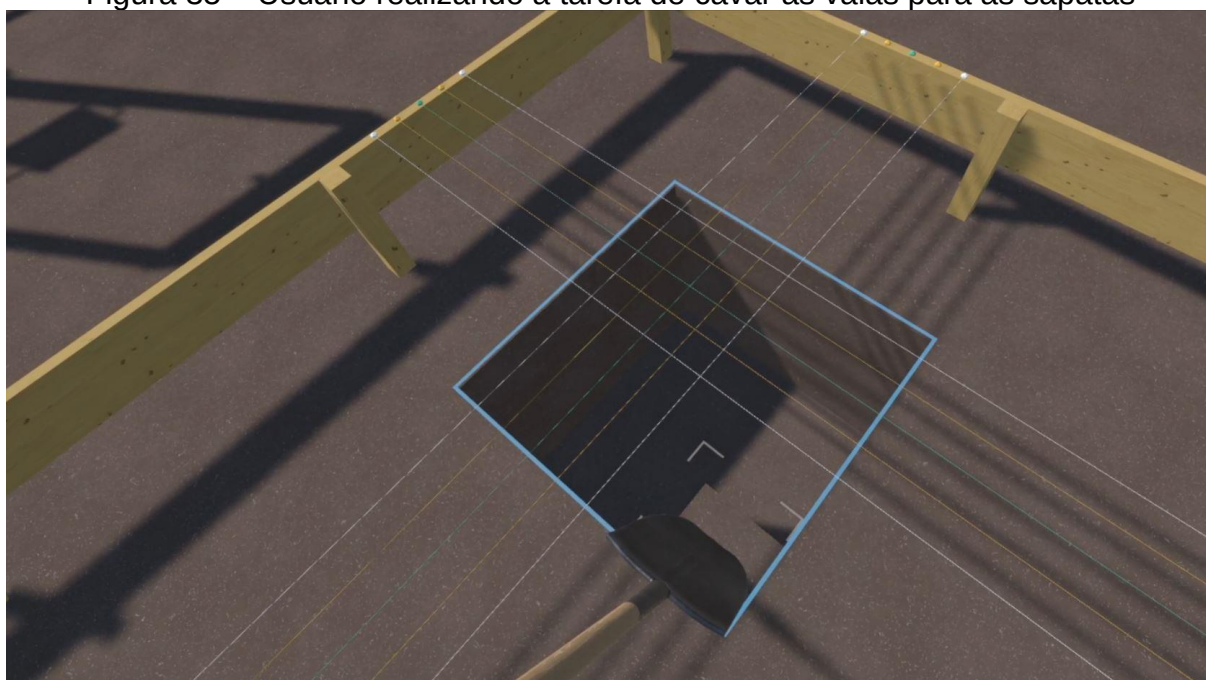
Figura 34 – Instrução para cavar as valas para as sapatas



Fonte: Autor (2024).

Para que a enxada funcione corretamente no ambiente virtual, ela deve ser manuseada no sentido adequado, com a parte côncava voltada para cima. Ao realizar o movimento, o usuário verá a projeção do trecho a ser cavado, indicando o progresso da tarefa (Figura 35).

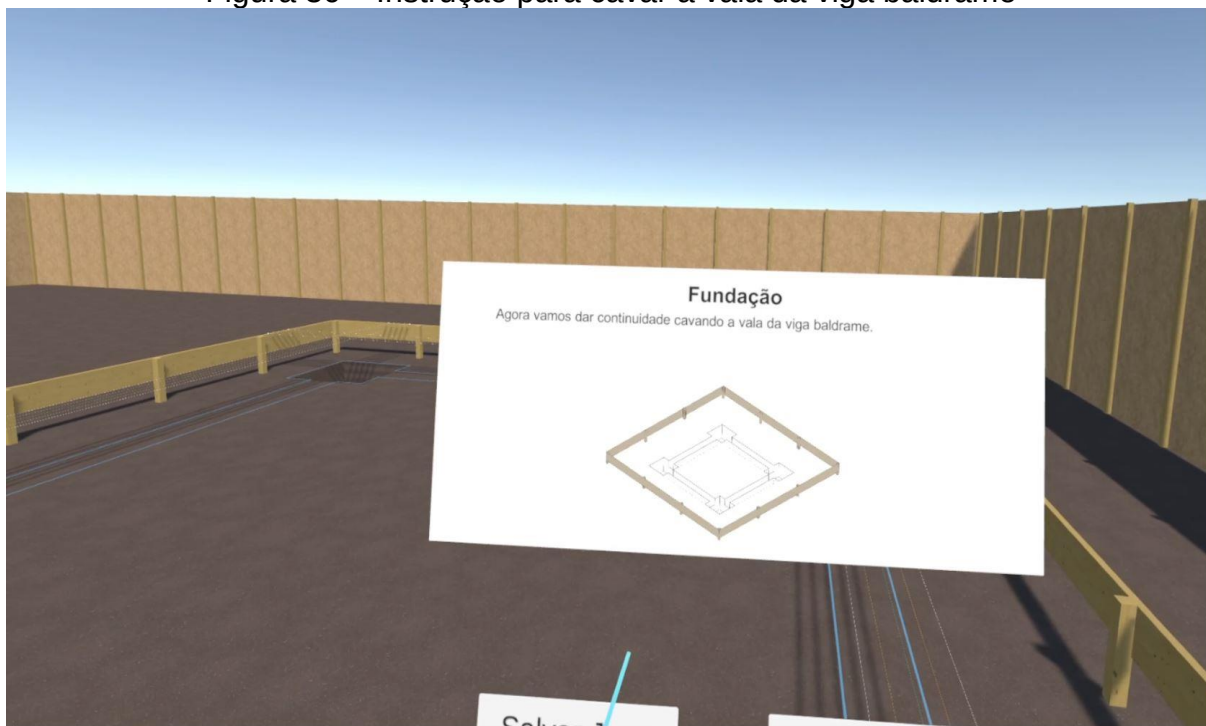
Figura 35 – Usuário realizando a tarefa de cavar as valas para as sapatas



Fonte: Autor (2024).

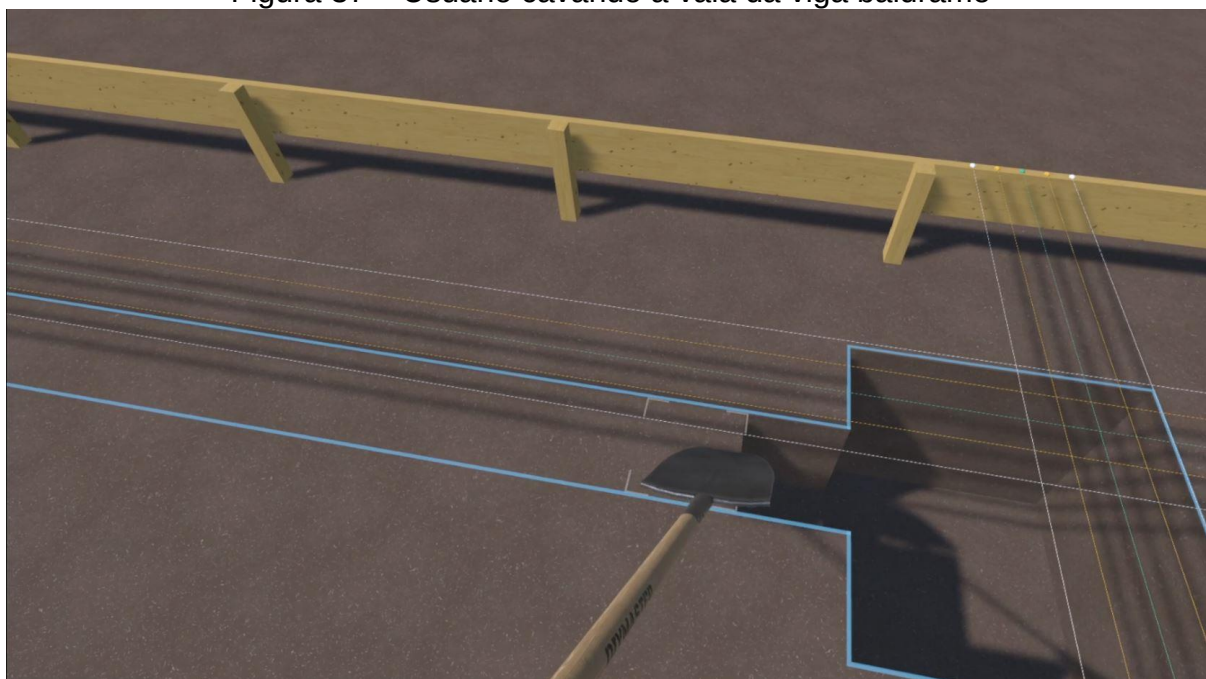
Em seguida o usuário é instruído a cavar as valas mais rasas para a viga baldrame (Figura 36).

Figura 36 – Instrução para cavar a vala da viga baldrame



Fonte: Autor (2024).

Figura 37 – Usuário cavando a vala da viga baldrame



Fonte: Autor (2024).

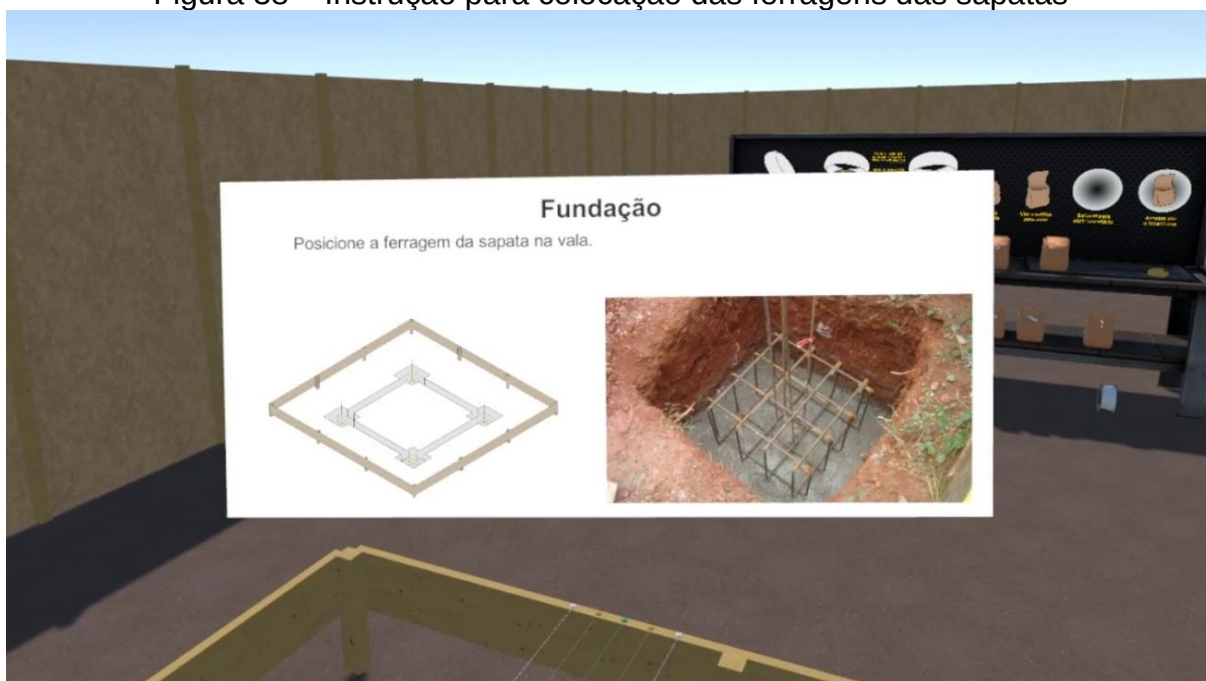
Posicionamento das ferragens das sapatas

Como existem diversas formas de amarrações de ferragens para diferentes partes da estrutura, é importante compreender a aplicação específica de cada uma delas. No caso das sapatas, a ferragem utilizada geralmente consiste em estribos dispostos de maneira a formar uma base resistente, com as barras longitudinais posicionadas para suportar as cargas transferidas pelos pilares. Essas amarrações são fundamentais para garantir a estabilidade estrutural e a uniformidade na distribuição das tensões ao solo.

Para auxiliar o aluno na identificação das diferentes configurações de ferragens, são fornecidos *game objects* específicos armazenados em bolsas diferenciadas. Cada bolsa é identificada por um ícone com o formato correspondente à ferragem, facilitando a associação entre o elemento virtual e sua aplicação real na construção.

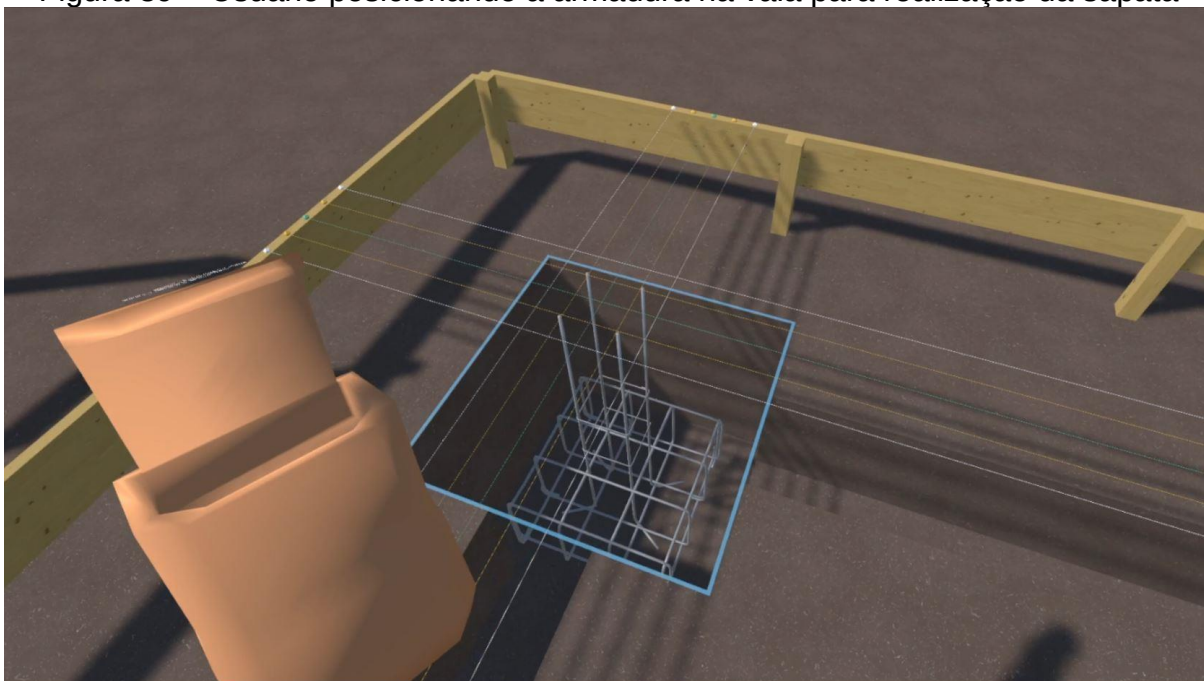
Nessa etapa, o aluno deve posicionar primeiro as ferragens das sapatas, seguindo as indicações fornecidas na tela de instruções (Figuras 38 e 39). Ao posicionar a ferragem no local, ela se ajusta automaticamente, mudando o modelo 3D do *game object* para representar as esperas dos pilares. Esse ajuste dinâmico busca permitir uma visualização clara da transição entre as diferentes etapas da estrutura, reforçando a compreensão do papel das ferragens na estabilidade da fundação.

Figura 38 – Instrução para colocação das ferragens das sapatas



Fonte: Autor (2024).

Figura 39 – Usuário posicionando a armadura na vala para realização da sapata



Fonte: Autor (2024).

Concretagem das sapatas

Em geral, nas obras de pequenas edificações, o concreto estrutural é preparado in loco, utilizando betoneiras para misturar cimento, areia, brita e água em proporções adequadas. Essa prática é comum devido ao custo reduzido e à

simplicidade de transporte e armazenamento dos materiais no canteiro de obras. No entanto, para otimizar o desenvolvimento do protótipo e considerando as limitações de interação no ambiente virtual, optou-se por representar o concreto como "pronto", transportado em um carrinho de mão.

Além disso, foi adotada a concretagem em etapas. Embora seja menos usual que a concretagem conjunta das ferragens da sapata e vigas, esse procedimento é praticado em pequenas edificações e foi escolhido para facilitar a compreensão das etapas construtivas pelos alunos. Essa abordagem permite que o aluno visualize claramente o processo de preenchimento das sapatas antes de avançar para as demais etapas.

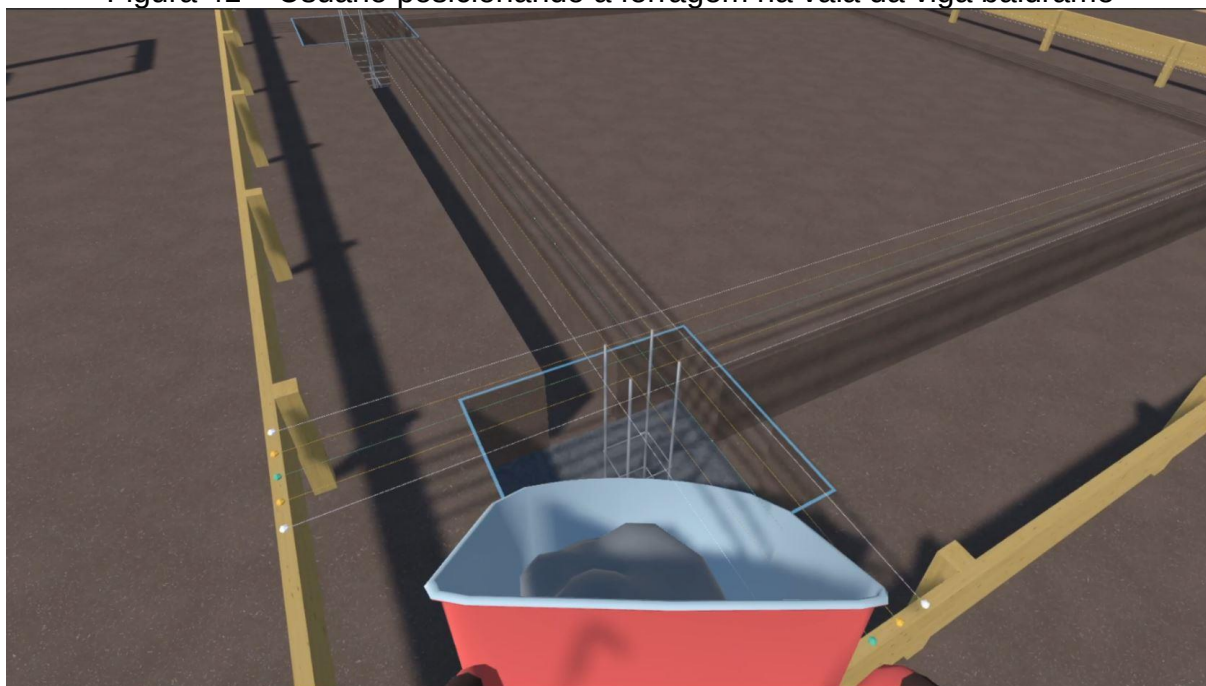
Para realizar a concretagem das sapatas no protótipo, basta que o aluno segure o carrinho com as duas mãos e tombe para frente. Essa ação faz com que o concreto virtual preencha a área, envolvendo as ferragens e representando visualmente o processo de concretagem (Figuras 40 e 41).

Figura 40 – Instrução para concretagem das sapatas



Fonte: Autor (2024).

Figura 41 – Usuário posicionando a ferragem na vala da viga baldrame

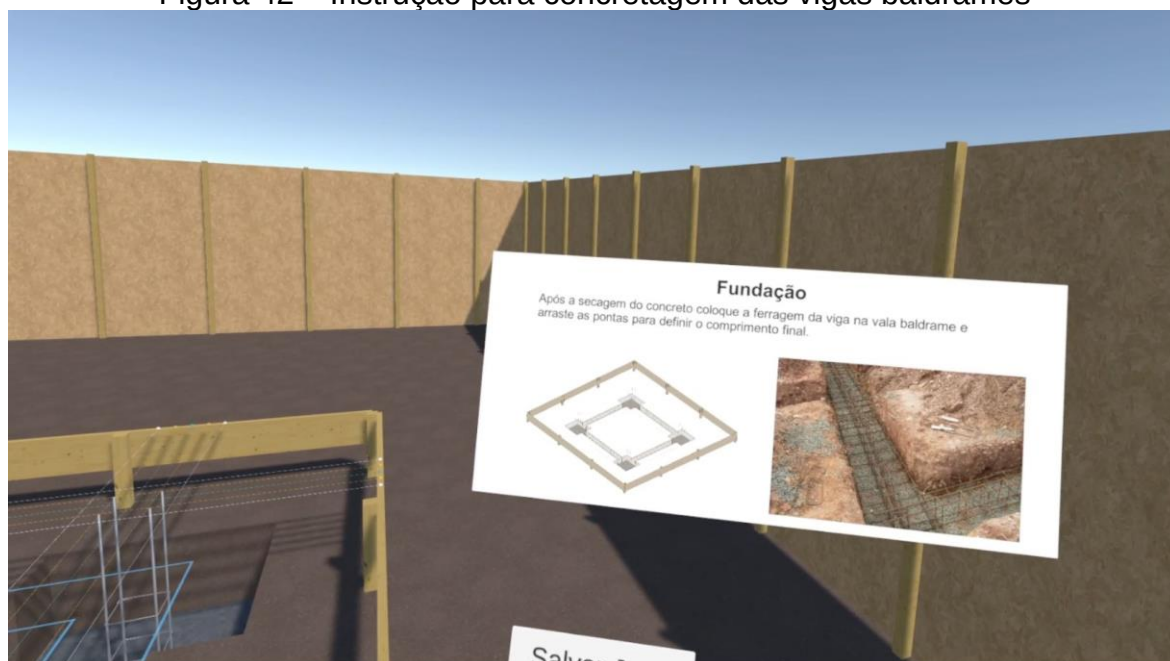


Fonte: Autor (2024).

Posicionamento das ferragens da viga baldrame

Em seguida, o usuário é instruído a distribuir as ferragens da viga baldrame, conforme as orientações apresentadas na tela de instruções (Figura 42). No protótipo, o *game object* da viga baldrame foi projetado para se adaptar às dimensões necessárias, permitindo ajustes lineares que simulam o posicionamento e a adequação das armaduras no canteiro de obras.

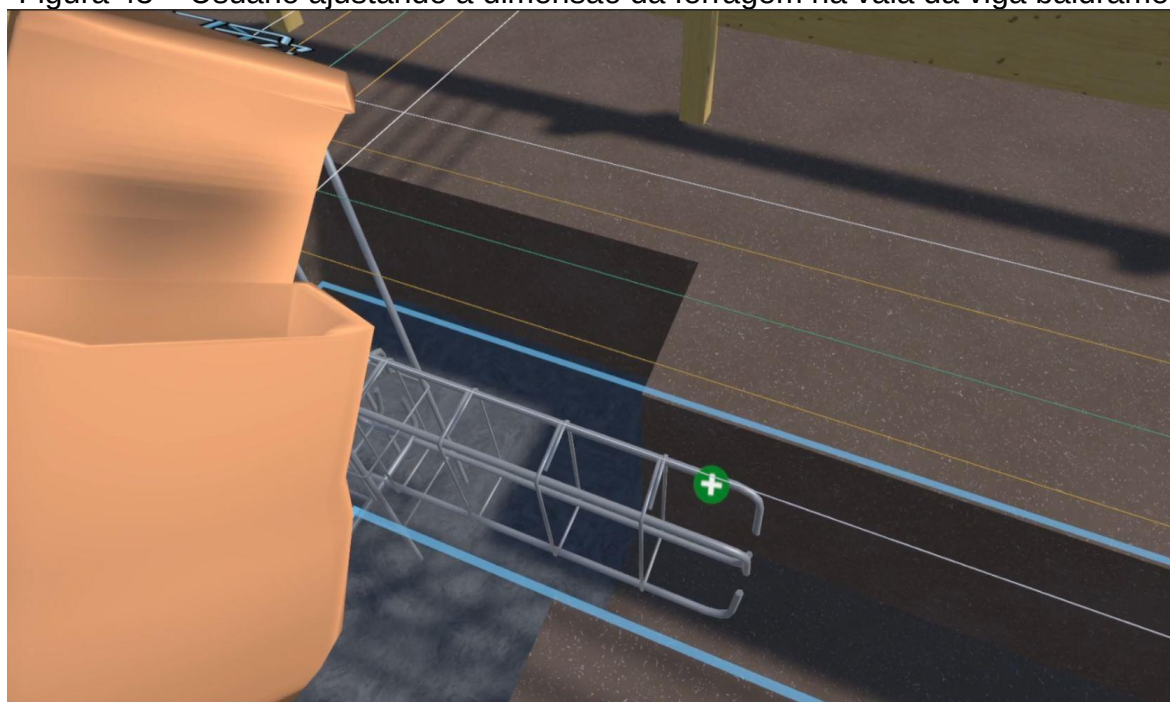
Figura 42 – Instrução para concretagem das vigas baldrame



Fonte: Autor (2024).

Após posicionar a ferragem na vala, o usuário pode ajustar o comprimento. Ao aproximar o controle das bordas da ferragem, surge um sinal de "+", indicando que é possível realizar o ajuste. Basta pressionar o gatilho e mover o controle na direção desejada para aumentar o tamanho da ferragem (Figura 43).

Figura 43 – Usuário ajustando a dimensão da ferragem na vala da viga baldrame



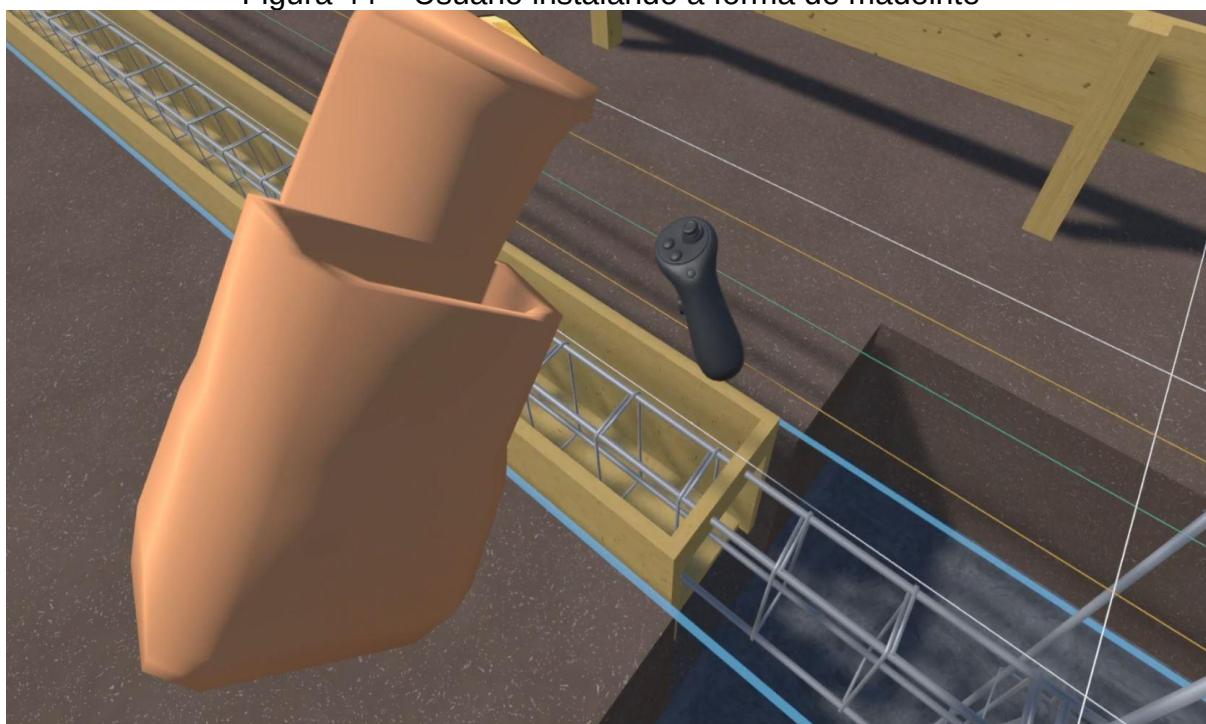
Fonte: Autor (2024).

Concretagem das vigas baldrames

Para realizar a concretagem das vigas baldrames, o usuário é instruído a instalar o madeirite, que desempenha o papel de contenção do concreto durante o processo de cura. No canteiro de obras real, o madeirite é amplamente utilizado como fôrma, devido à sua resistência, leveza e facilidade de manuseio. Ele mantém o concreto fresco no formato desejado, evitando vazamentos e assegurando a definição correta das arestas e dimensões da estrutura.

No protótipo, o madeirite é instalado módulo a módulo, permitindo que o usuário cubra progressivamente toda a área correspondente às vigas baldrames (Figura 44). Após a instalação completa das fôrmas, o próximo passo é realizar a concretagem. Esse procedimento é semelhante ao descrito anteriormente, no qual o usuário utiliza o carrinho de mão para derramar o concreto diretamente nas fôrmas, garantindo o preenchimento uniforme das vigas (Figuras 45 e 46).

Figura 44 – Usuário instalando a fôrma de madeirite



Fonte: Autor (2024).

Figura 45 – Instrução para concretagem das vigas baldrame



Fonte: Autor (2024).

Figura 46 – Usuário derramando o concreto na fôrma



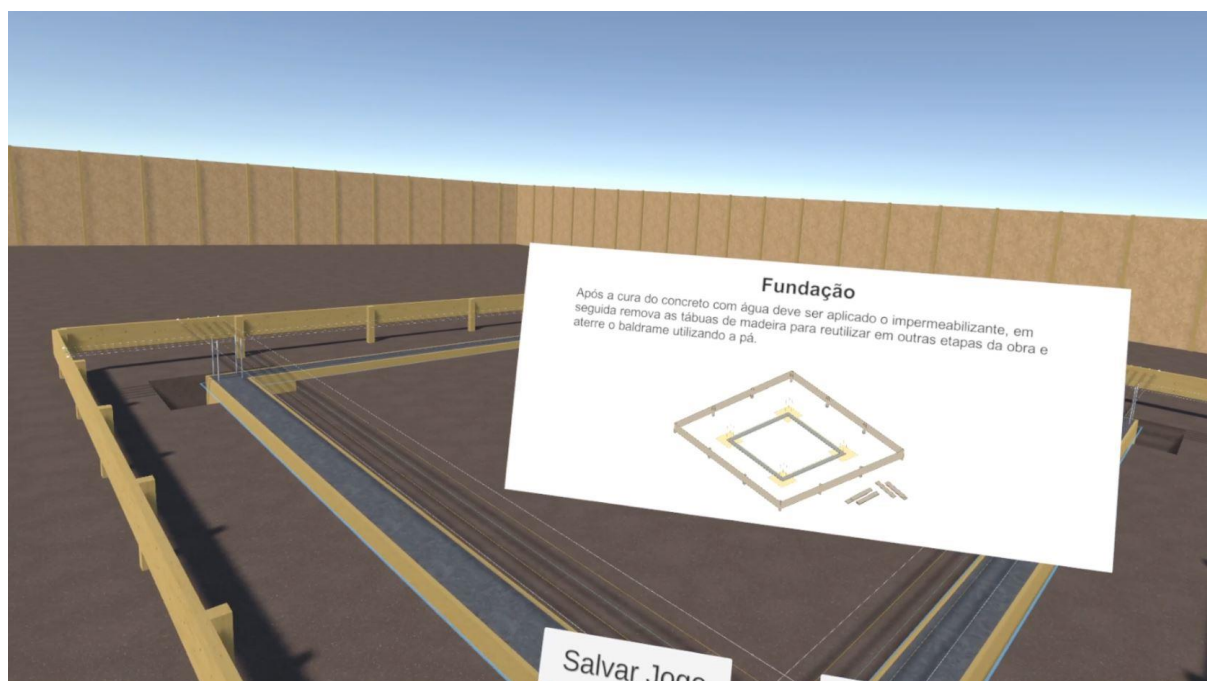
Fonte: Autor (2024).

Finalização das fundações

No canteiro real, após a cura do concreto, é comum realizar a impermeabilização das fundações para proteger a estrutura contra a umidade do

solo. No protótipo, essa etapa foi simplificada, sendo mencionada apenas na instrução, para que o usuário tome conhecimento do procedimento. Em seguida, o processo avança diretamente para a finalização das fundações, que compreende a remoção das fôrmas de madeirite e o reaterro das áreas escavadas (Figura 47).

Figura 47 – Instrução para finalização da fundação



Fonte: Autor (2024).

Para facilitar o reaterro no ambiente virtual, o funcionamento da enxada foi simplificado. Basta girar a ferramenta, apontando o lado côncavo para a área a ser aterrada e o preenchimento será realizado automaticamente.

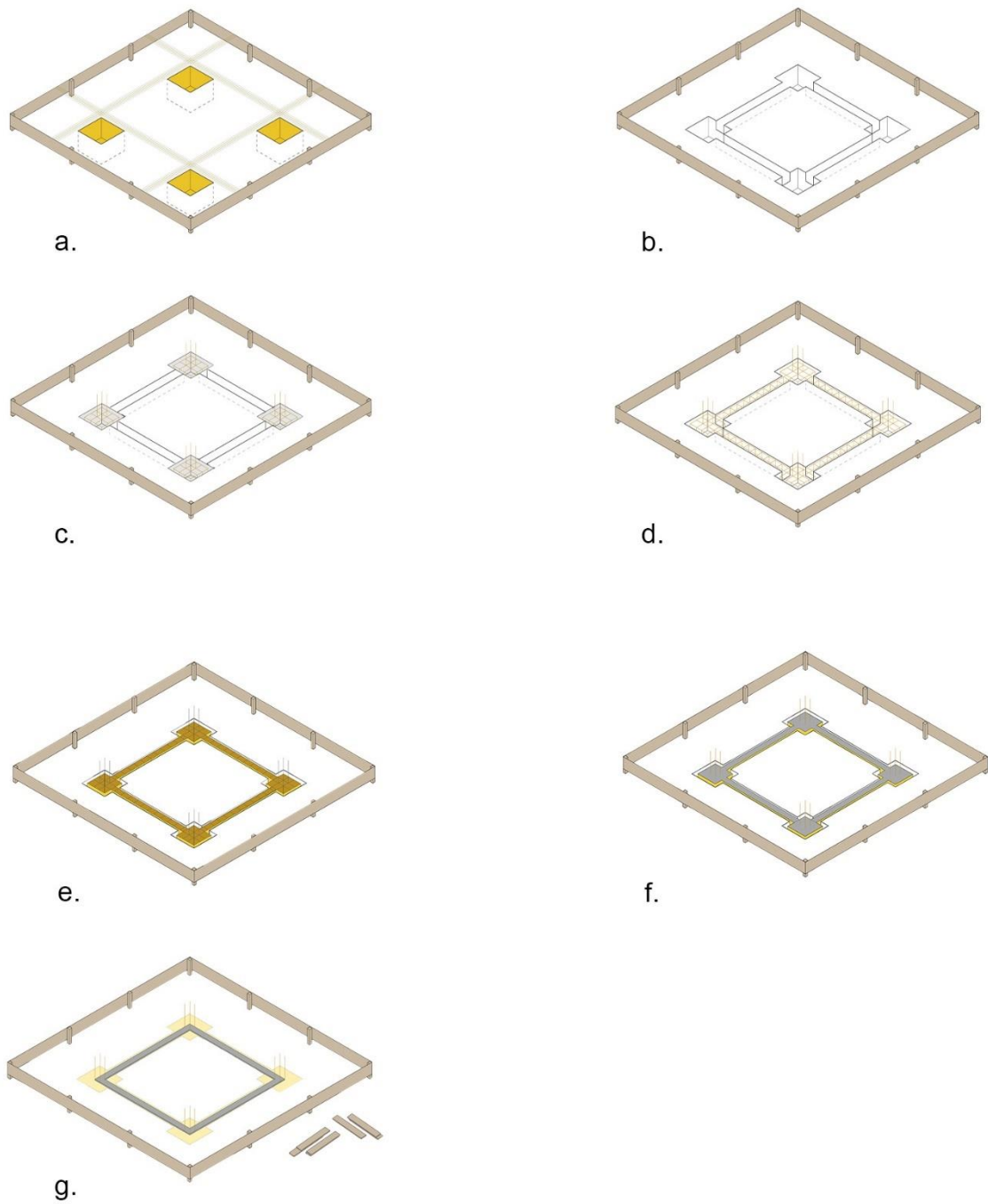
Figura 48 – Usuário aterrando trechos do terreno



Fonte: Autor (2024).

A organização do canteiro inclui a limpeza dos madeirites restantes, que pode ser feita utilizando a ferramenta "caçamba". Aproximando a caçamba das placas, elas são automaticamente recolhidas pelo equipamento, promovendo a limpeza do local e preparando-o para as próximas etapas.

Figura 49 – Diagramas axonométricos das etapas construtivas



Fonte: Autor (2024).

Legenda: a) e b) escavação valas; c) e d) posicionamento armaduras; e) Instalação de madeirite; f) concretagem g) finalização.

4.2.4.3 Contrapiso

Na introdução do contrapiso, buscou-se chamar a atenção para a importância da cura do concreto, um procedimento essencial que influencia diretamente na resistência e durabilidade da estrutura. A cura adequada do concreto é fundamental para o desenvolvimento de suas propriedades mecânicas, pois o processo de hidratação do cimento requer um ambiente úmido. A manutenção da umidade evita fissuras por retração e assegura que a resistência prevista no projeto estrutural seja alcançada. Embora a simulação da cura não tenha sido implementada no protótipo, enfatizou-se sua relevância no áudio de narração.

“Com o solo devidamente compactado, é possível realizar o contrapiso diretamente sobre a superfície preparada. No entanto, é essencial adotar alguns cuidados para garantir a qualidade do contrapiso e evitar problemas como fissuras ou ressecamento prematuro do concreto. Um desses cuidados é o uso de lona plástica, que impede a perda de água do concreto para o solo durante o processo de hidratação.

Além disso, após a concretagem, a cura adequada do concreto é fundamental para o desenvolvimento de suas propriedades mecânicas. O processo de hidratação do cimento requer a manutenção constante de umidade; por isso, práticas de cura úmida, como molhar regularmente a superfície com regadores ou cobri-la com mantas úmidas, são indispensáveis para evitar fissuras por retração, assegurar a resistência projetada e garantir a durabilidade estrutural.”

Impermeabilização do terreno

Nesta etapa, destaca-se a importância da impermeabilização do terreno com lona plástica, um procedimento amplamente utilizado em pequenas construções. A aplicação da lona plástica sobre o solo compactado cria uma barreira impermeável que impede a perda de água do concreto para o solo. Isso garante a hidratação adequada do cimento, evitando problemas como fissuras por retração e redução da resistência estrutural.

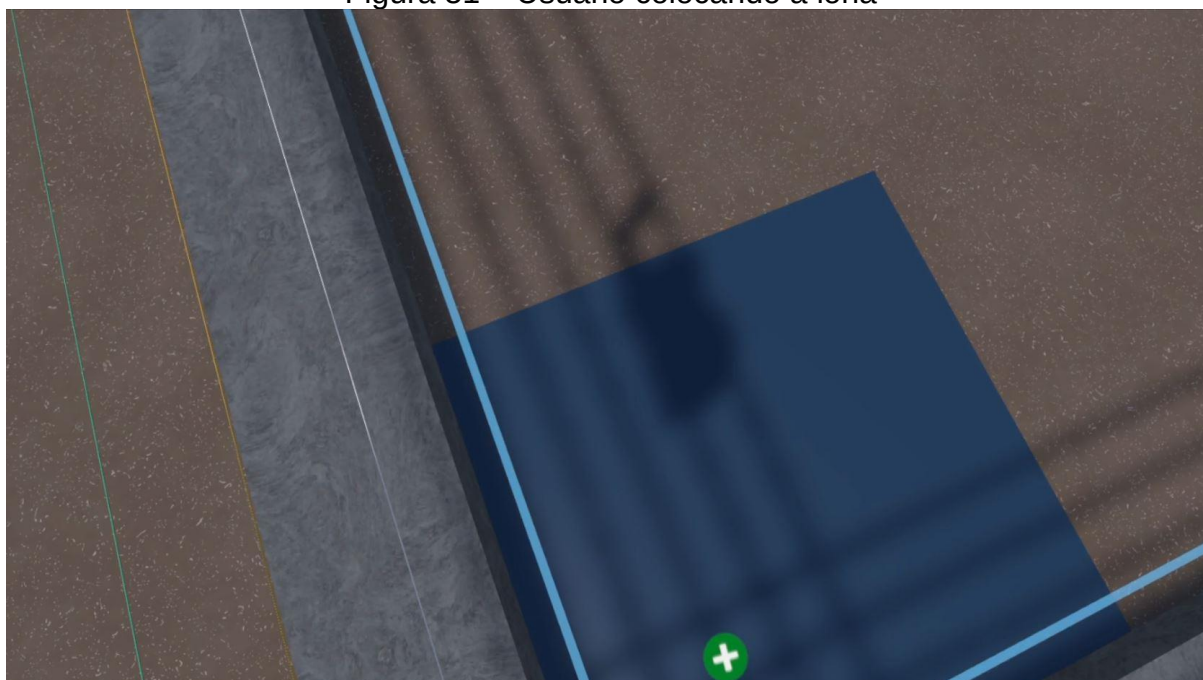
A instrução orienta o usuário a aplicar a lona (Figura 50), sendo o ajuste de medida feito ao arrastar a borda quando sinalizada com o símbolo "+", da mesma maneira que foi realizado com os estribos da viga baldrame (Figura 51).

Figura 50 – Instrução para aplicação da lona



Fonte: Autor (2024).

Figura 51 – Usuário colocando a lona



Fonte: Autor (2024).

Posicionamento da armadura

Em seguida, o usuário deve distribuir a ferragem que proporcionará a resistência necessária ao contrapiso (Figura 52). A incorporação de armaduras no contrapiso é fundamental para evitar fissuras, controlar a retração do concreto e

aumentar a capacidade de suportar cargas. Geralmente, utilizam-se telas de aço soldadas, conhecidas como malhas pop, ou barras de aço dispostas em forma de malha, posicionadas de maneira uniforme sobre a superfície preparada.

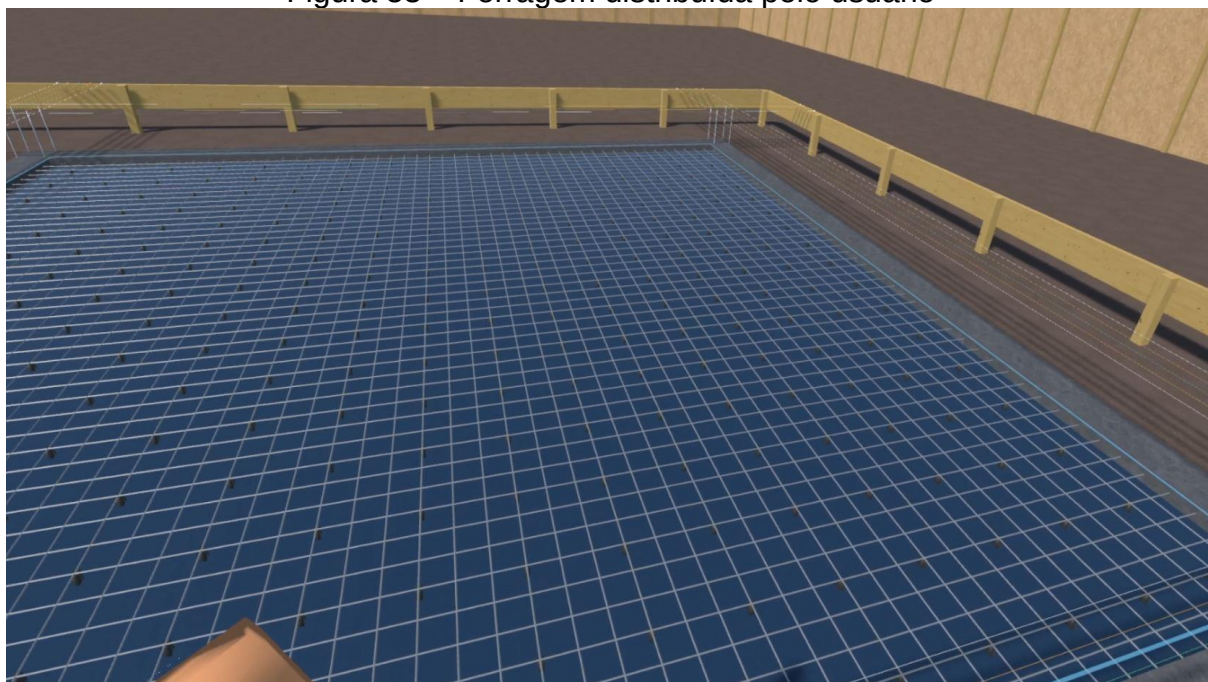
Figura 52 – Instrução para posicionamento da armadura



Fonte: Autor (2024).

A modelagem da ferragem no protótipo considera o uso de espaçadores inferiores de plástico rígido, pequenos dispositivos colocados entre a armadura e a base do contrapiso. Esses espaçadores garantem o cobrimento adequado de concreto ao manter a ferragem na posição correta, evitando seu contato direto com o solo. Isso permite o preenchimento pleno do concreto ao redor das armaduras, prevenindo a corrosão do aço e assegurando a integridade estrutural e a durabilidade do contrapiso (Figura 53).

Figura 53 – Ferragem distribuída pelo usuário



Fonte: Autor (2024).

Concretagem do contrapiso

Por fim, o usuário é instruído a realizar a concretagem do contrapiso (Figura 54). Para essa etapa, utiliza-se novamente o carrinho de mão para transportar e distribuir o concreto sobre toda a superfície previamente preparada, cobrindo completamente a armadura e garantindo o preenchimento adequado da área (Figura 55).

Figura 54 – Instrução para concretagem do contrapiso



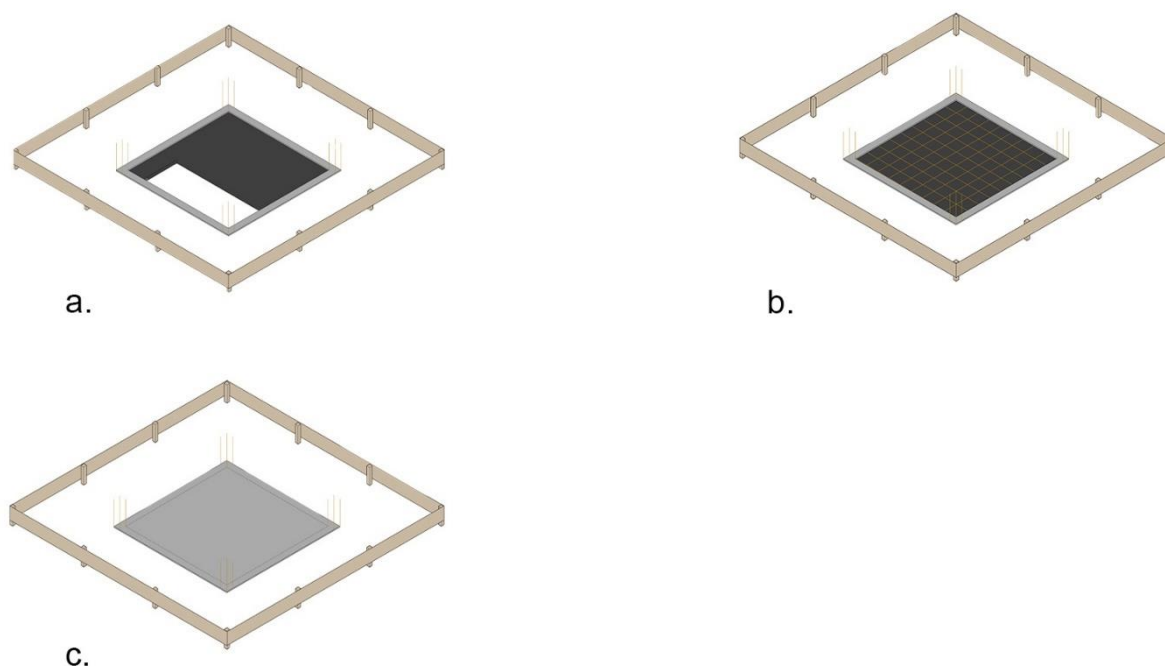
Fonte: Autor (2024).

Figura 55 – Usuário distribuindo o concreto



Fonte: Autor (2024).

Figura 56 – Diagramas axonométricos das etapas construtivas



Fonte: Autor.

Legenda: a) impermeabilização; b) posicionamento da armadura; c) concretagem.

4.2.4.4 Pilares

Construção dos pilares

Esta etapa tem como objetivo introduzir aos alunos informações sobre como os pilares são construídos, enfatizando sua importância na estrutura da edificação. Serão abordados os procedimentos desde a montagem das armaduras até a concretagem. Além disso, busca-se criar uma conexão lógica entre as diferentes partes estruturais, mostrando como os pilares se relacionam com as fundações, lajes e vedações. Também será feita uma breve menção aos esforços estruturais que atuam nos pilares, ressaltando a importância de projetá-los para resistir a esses esforços. Ressalta-se a importância das esperas deixadas na etapa de fundação, que são fundamentais para a continuidade das armaduras e para garantir a integridade e estabilidade da estrutura como um todo.

Para tanto, é introduzido o áudio de abertura:

“Pilares são elementos estruturais verticais essenciais para suportar e transmitir cargas de compressão, provenientes do peso da estrutura acima, diretamente para as fundações. A definição das dimensões e das ferragens de cada pilar é baseada em cálculos detalhados do projeto estrutural. Além de suportar cargas verticais, os pilares devem ser projetados para resistir a esforços de flambagem e efeitos de esbeltez, especialmente em edificações altas. O dimensionamento correto, segundo as normas técnicas, garante a estabilidade global da estrutura.

É importante notar que são deixadas esperas de ferragens, conhecidas como arranques, na fundação ou na laje inferior. Esses arranques são prolongamentos das ferragens que permitem a continuidade eficiente da estrutura vertical, garantindo a transferência de cargas e a integração entre os elementos estruturais.

Para a construção do pilar, a armação é cuidadosamente fixada às esperas com arame de aço, garantindo uma conexão segura e robusta. Além disso, em construções que utilizam vedação em alvenaria, as ferragens dos pilares incluem elementos sobressalentes para amarração, o que é crucial para garantir o travamento eficaz entre o pilar e a vedação, aumentando a integridade e a durabilidade da estrutura.”

Figura 57 – Pannel de introdução à construção dos pilares



Fonte: Autor (2024).

Armaduras dos pilares

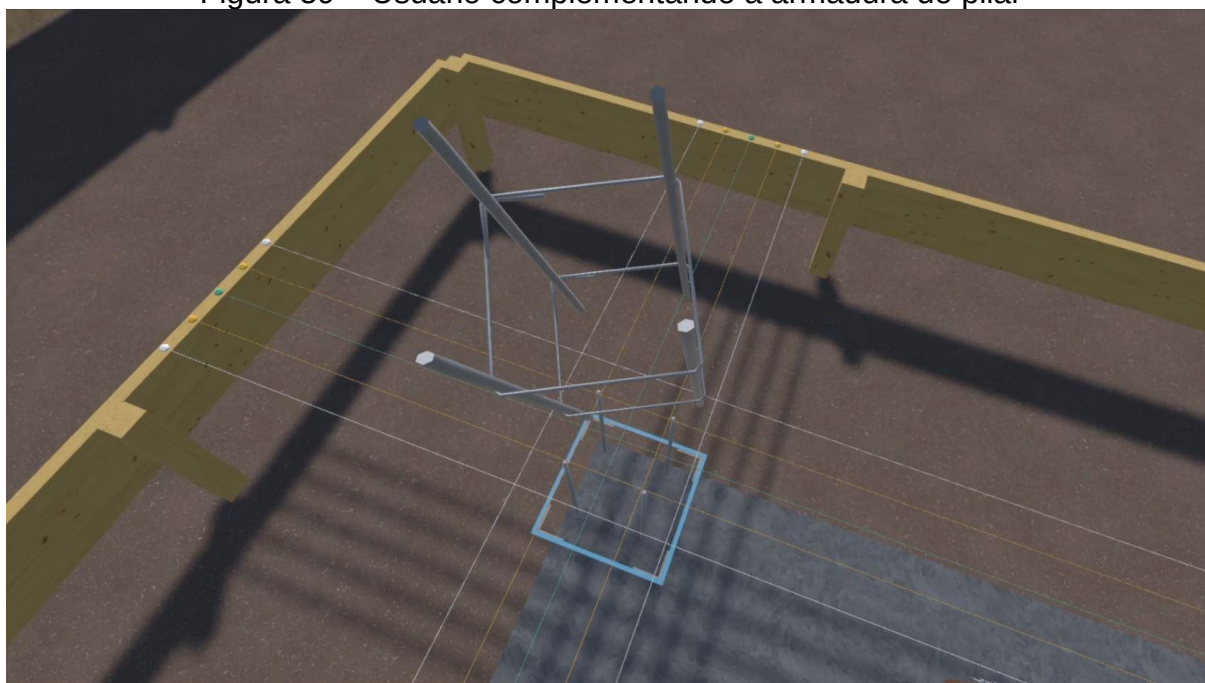
Nesta etapa, o usuário é instruído a identificar as esperas deixadas na laje e a complementar a armadura do pilar conectando um novo módulo (Figuras 58 e 59).

Figura 58 – Instrução para concretagem do contrapiso



Fonte: Autor (2024).

Figura 59 – Usuário complementando a armadura do pilar

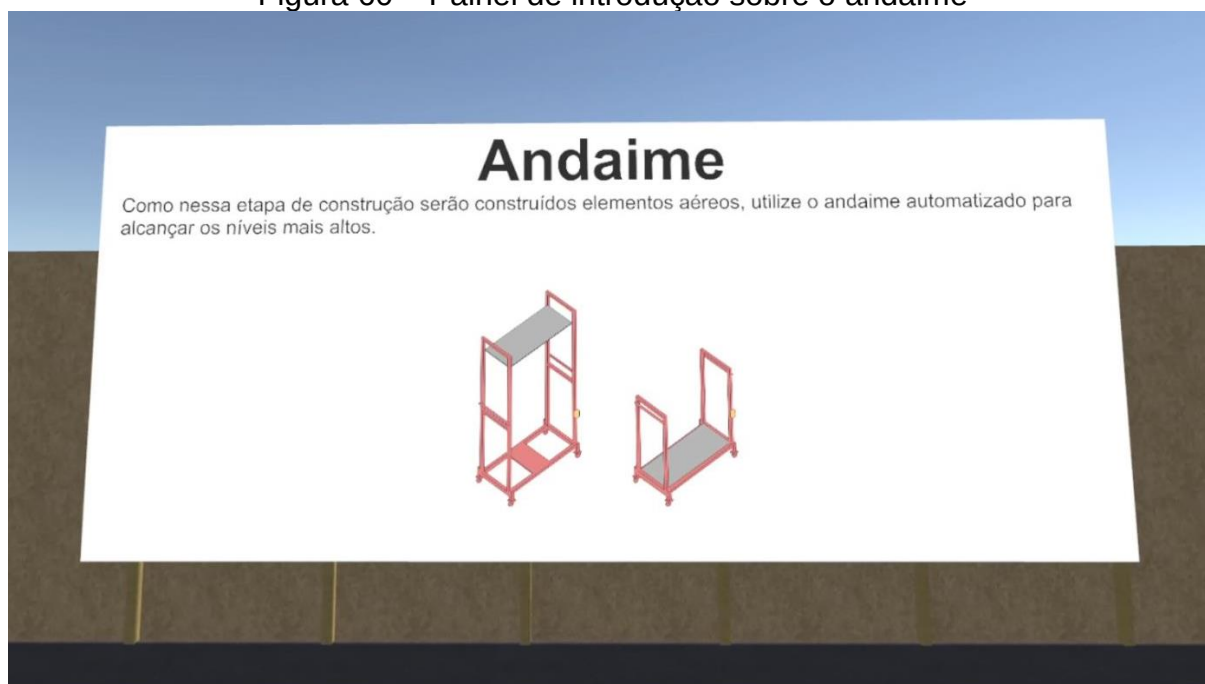


Fonte: Autor (2024).

Neste ponto, um novo painel informativo se abre com uma narração para introduzir o equipamento andaime automatizado, que permitirá acessar alturas maiores.

“Como nessa etapa de construção serão construídos elementos aéreos, utilize o andaime automatizado para alcançar os níveis mais altos. O acionamento da plataforma é feito internamente através das alavancas no painel amarelo.”

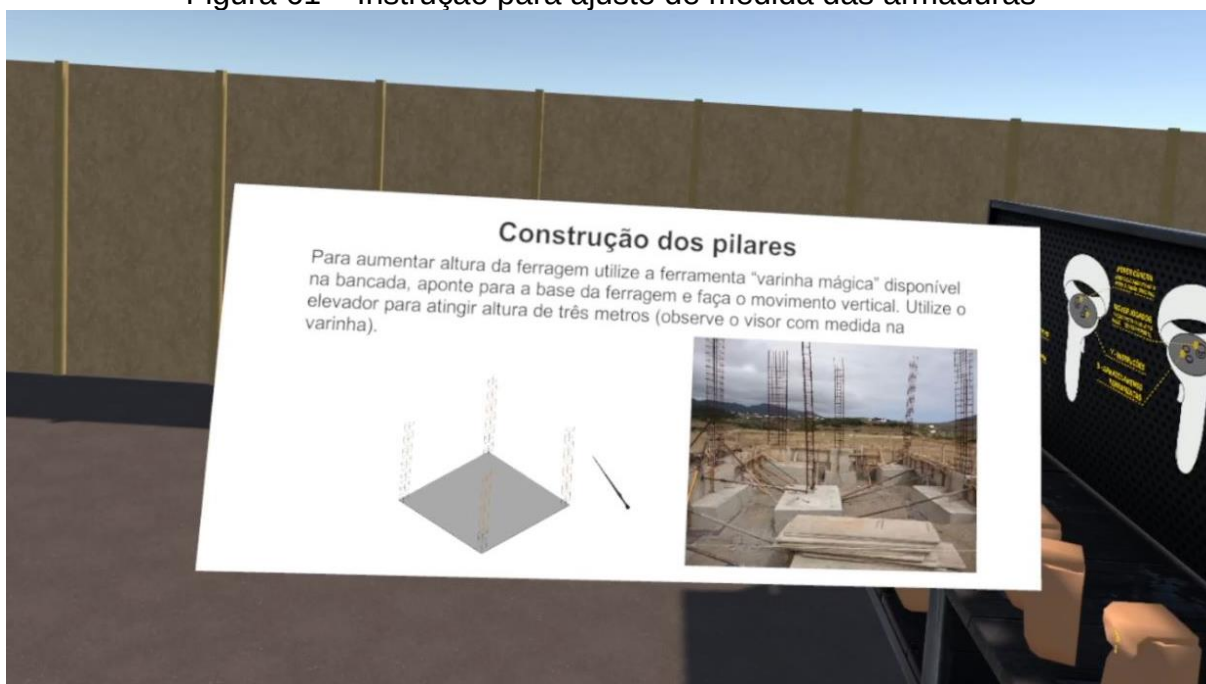
Figura 60 – Painel de introdução sobre o andaime



Fonte: Autor (2024).

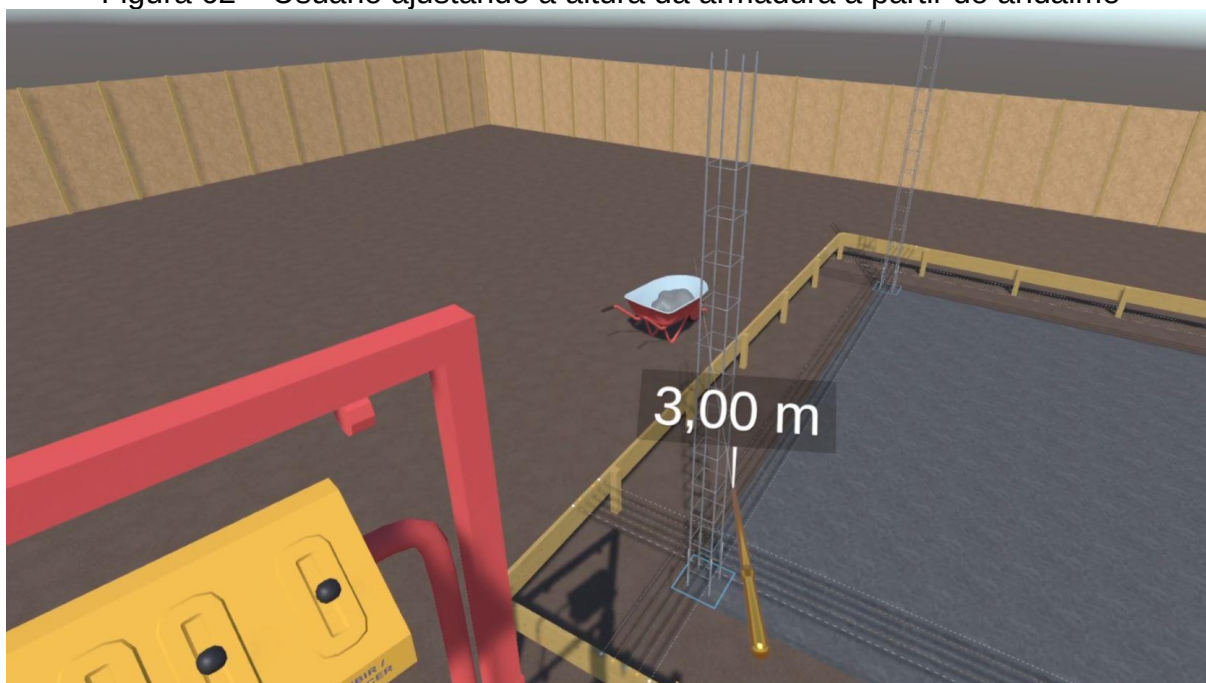
Em seguida, é introduzida uma nova ferramenta que não existe nos canteiros reais, mas foi desenvolvida para permitir ao usuário ajustar tamanhos na vertical. Como é uma ferramenta exclusiva do ambiente virtual, foi modelada como uma "varinha mágica". A ferramenta emite uma espécie de laser, para alcançar o objeto desejado e, quando o objeto é identificado, o usuário precisa movê-la para cima, acompanhando a variação da numeração que sinaliza a altura. Para atingir alturas maiores, o usuário precisa utilizar o andaime em conjunto.

Figura 61 – Instrução para ajuste de medida das armaduras



Fonte: Autor (2024).

Figura 62 – Usuário ajustando a altura da armadura a partir do andaime

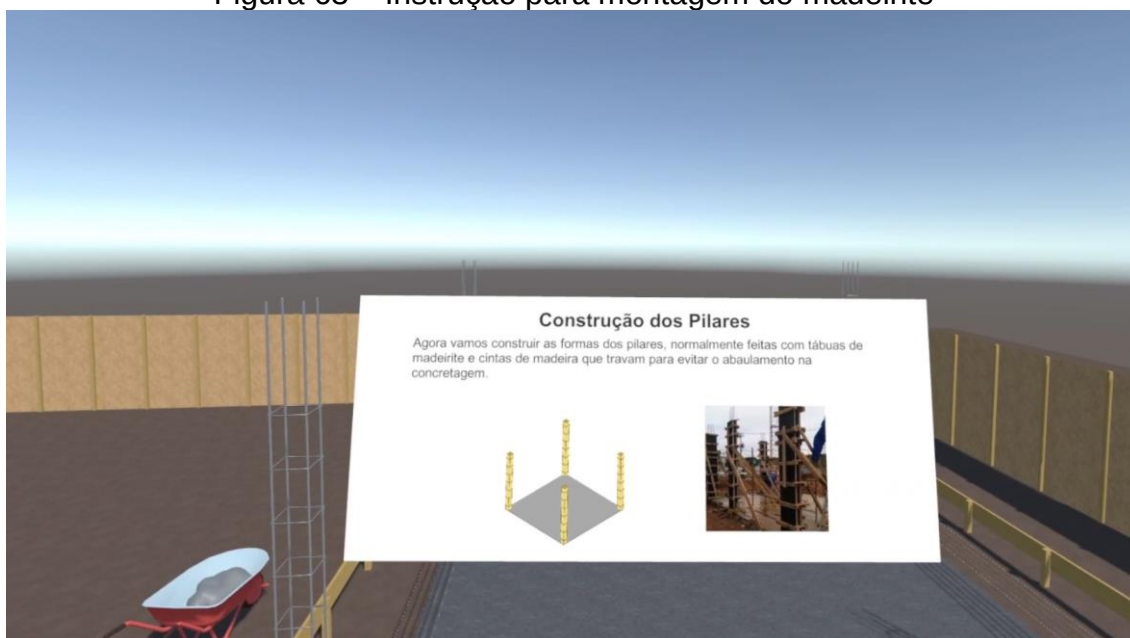


Fonte: Autor (2024).

Instalação da fôrma de madeirite

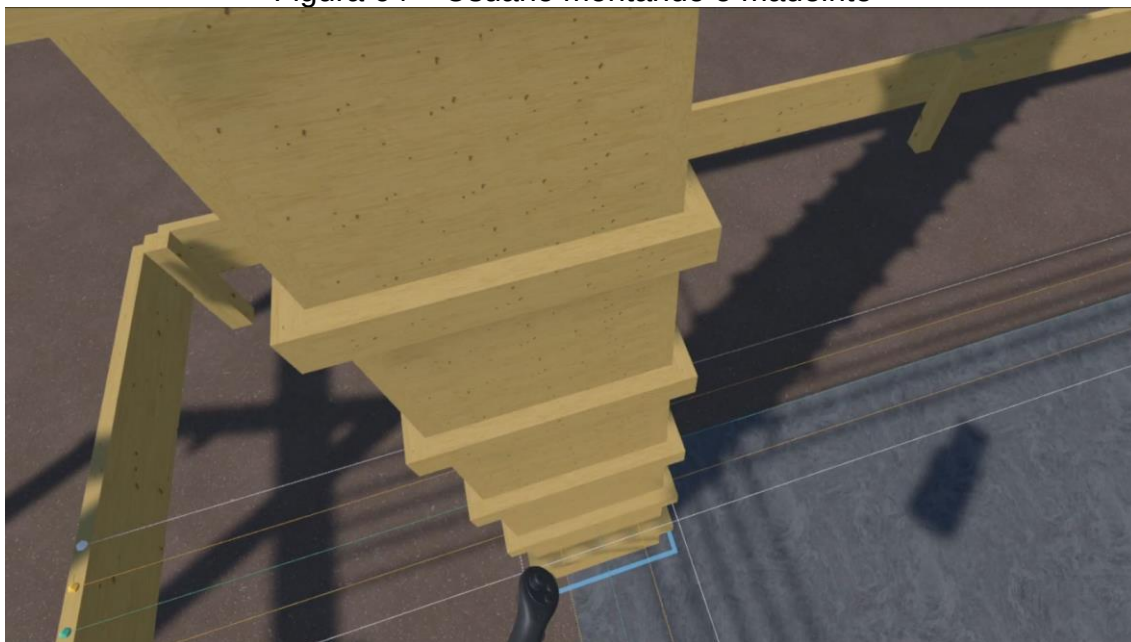
Com a armadura na altura prevista, o usuário é instruído a instalar a fôrma de madeirite. Basta aproximar o objeto "tábua" específico próximo da armadura e a montagem é feita automaticamente, ajustando-se à altura da armadura.

Figura 63 – Instrução para montagem do madeirite



Fonte: Autor (2024).

Figura 64 – Usuário montando o madeirite

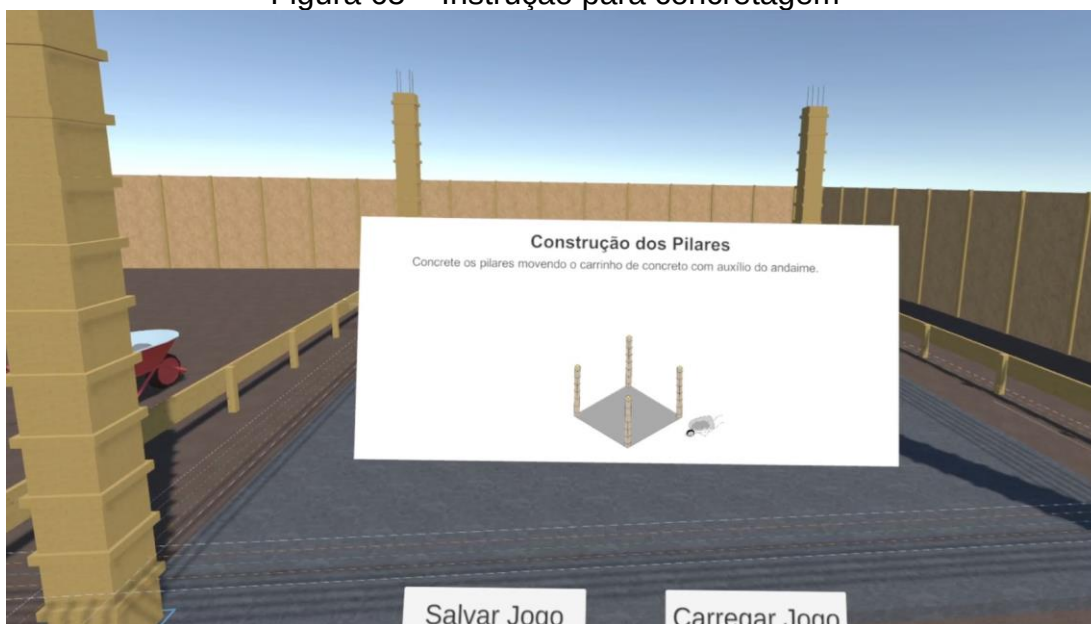


Fonte: Autor (2024).

Concretagem dos pilares

Com a montagem pronta, o usuário é instruído a realizar a concretagem, feita da mesma forma que anteriormente. Para facilitar o manuseio do carrinho de mão junto ao andaime, ele pode ser adicionado ao inventário e retirado somente no local estratégico para a função de despejar o concreto.

Figura 65 – Instrução para concretagem



Fonte: Autor (2024).

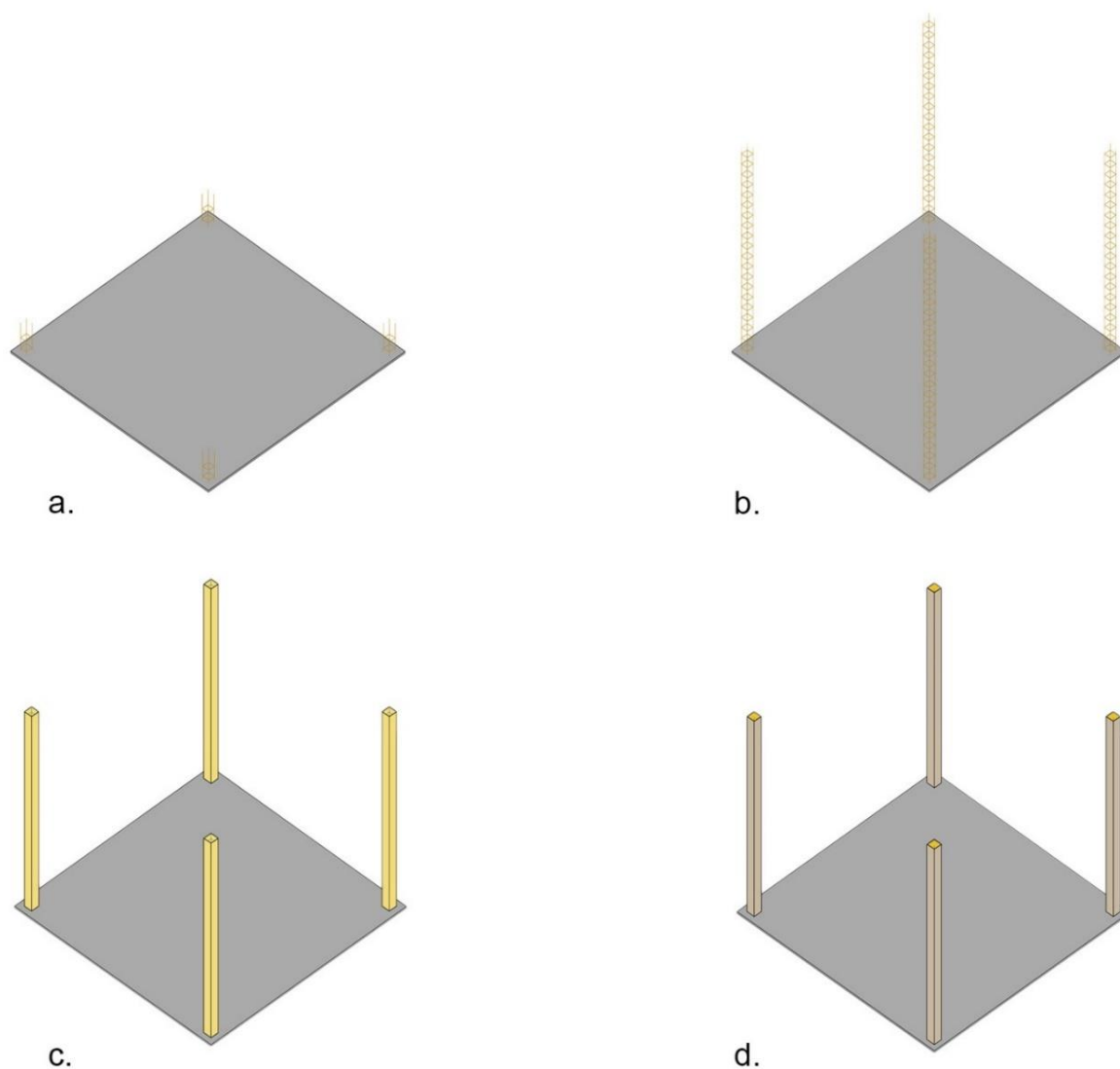
Figura 66 – Pilar concretado pelo usuário em cima do andaime



Fonte: Autor (2024).

Finalmente, o usuário é instruído a remover a fôrma dos pilares após a cura do concreto.

Figura 67 – Diagramas axonométricos das etapas construtivas



Fonte: Autor (2024).

Legenda: a) e b) armadura dos pilares; c) montagem de madeirite; d) concretagem.

4.2.4.5 Vigas e laje de cobertura

A partir desta etapa, o aluno começa a trabalhar predominantemente em altura, utilizando o andaime automatizado para construir as partes aéreas da estrutura, formadas pelas vigas e laje de cobertura.

Posicionamento das escoras

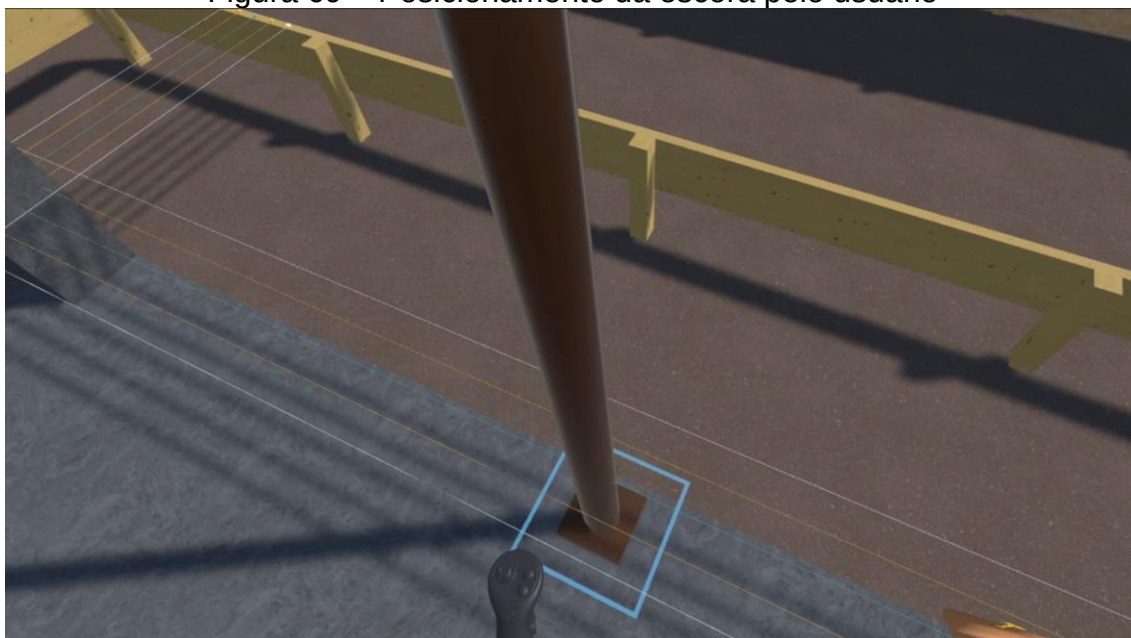
A primeira instrução (Figura 68) apresenta os apoios necessários para a construção de elementos elevados, através das escoras metálicas. O usuário deve posicionar as escoras nos locais indicados, podendo escolher a direção do apoio em dois sentidos, sinalizados por uma seta dupla. Ao soltar a escora na direção desejada, o *prefab* correspondente é automaticamente ajustado para a escala real (Figura 69).

Figura 68 – Instrução para posicionamento das escoras



Fonte: Autor (2024).

Figura 69 – Posicionamento da escora pelo usuário



Fonte: Autor (2024).

Montagem das fôrmas

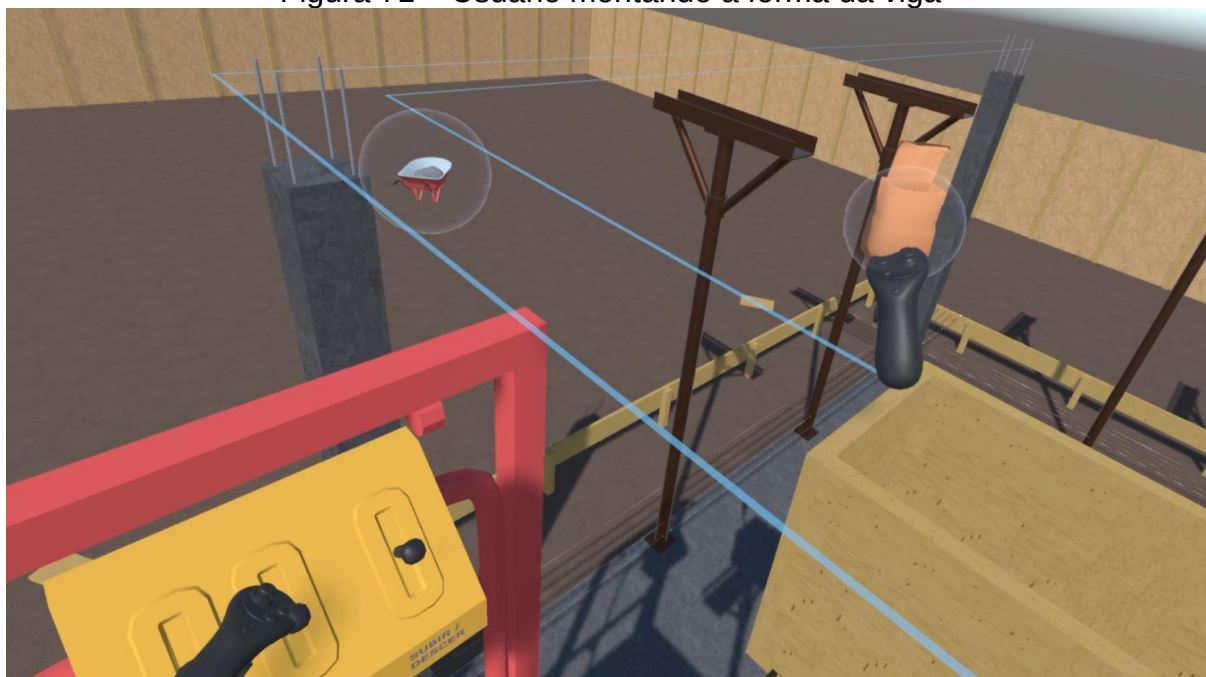
Com as escoras posicionadas, o usuário deve construir a fôrma de madeirite das vigas, seguindo a mesma lógica com um *prefab* semelhante ao utilizado nas vigas baldrame (Figuras 70 e 71).

Figura 70 – Instrução para posicionamento das escoras



Fonte: Autor (2024).

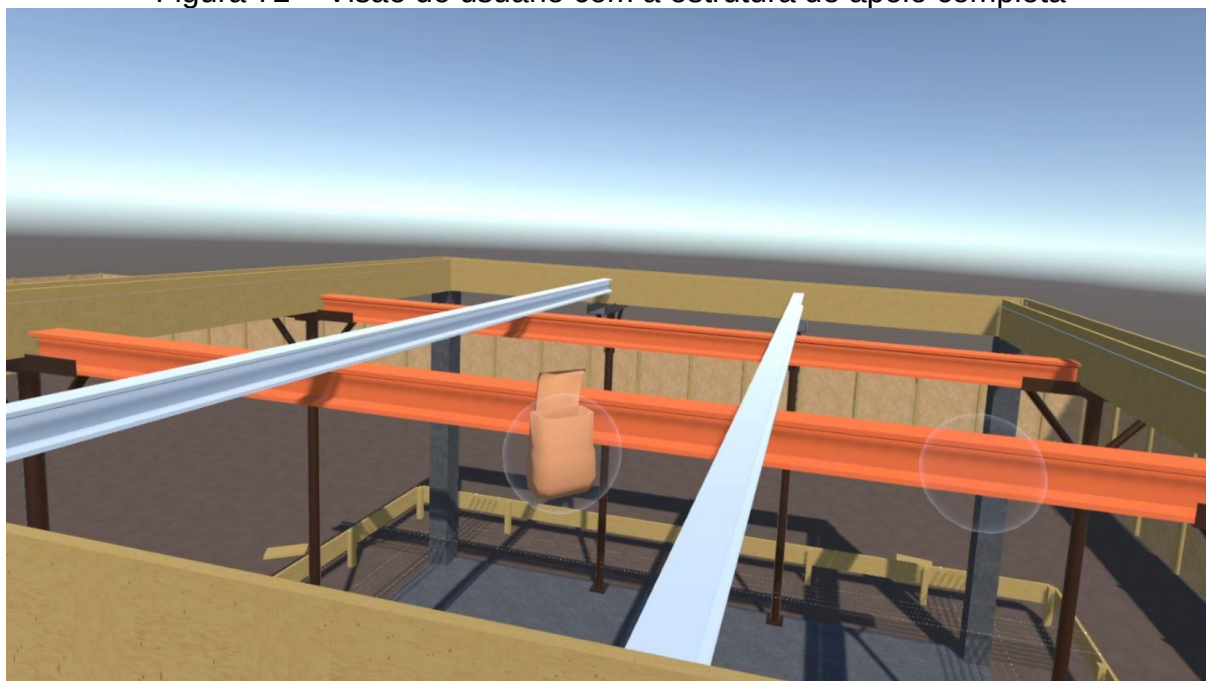
Figura 71 – Usuário montando a fôrma da viga



Fonte: Autor (2024).

Ao concluir a montagem das fôrmas das vigas, a estrutura de apoio é automaticamente completada com vigotas metálicas, que servirão de suporte para a montagem da fôrma da laje (Figura 72).

Figura 72 – Visão do usuário com a estrutura de apoio completa



Fonte: Autor (2024).

Em seguida, o usuário é instruído a montar a fôrma da laje (Figura 73). O *prefab* da fôrma da laje segue a mesma lógica de "estender" pelas bordas para ajustar as medidas (Figura 74). Além disso, há uma funcionalidade adicional para o encontro com a fôrma da viga, onde é feito um ajuste automatizado que integra as duas fôrmas, permitindo a concretagem do conjunto como um todo.

Figura 73 – Instrução para a montagem da fôrma da laje



Fonte: Autor (2024).

Figura 74 – Usuário instalando o madeirite da laje

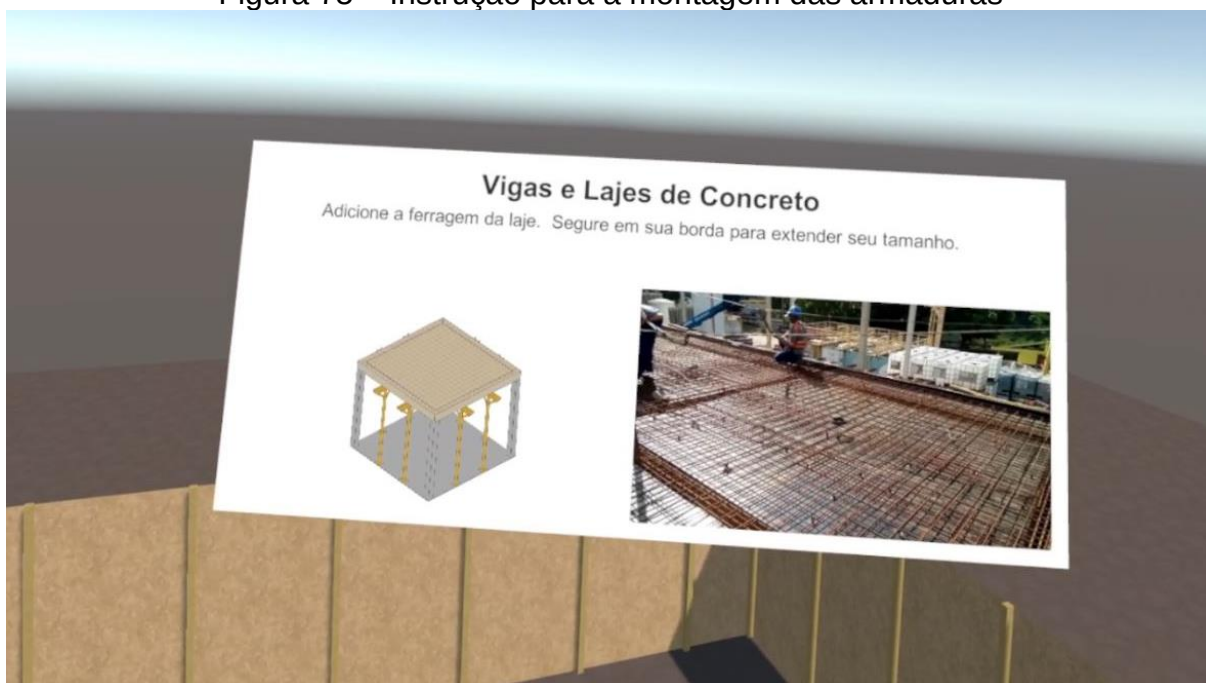


Fonte: Autor (2024).

Posicionamento das armaduras

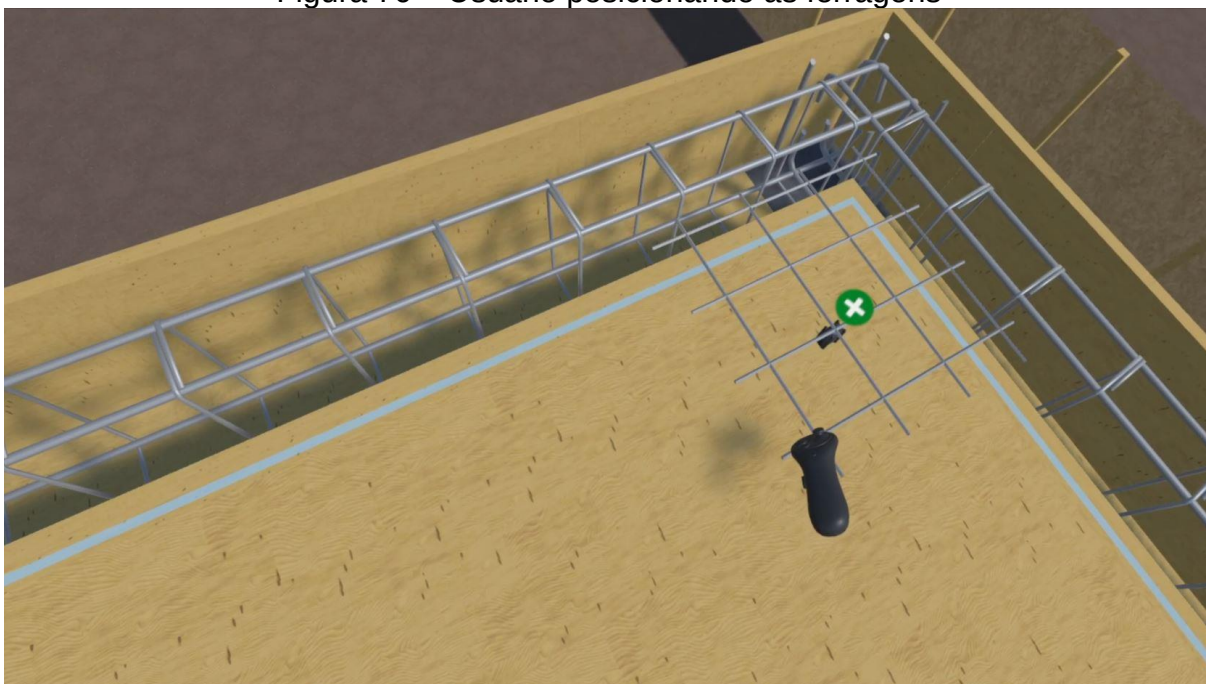
Em seguida, devem ser posicionadas as armaduras tanto das vigas quanto da laje, que são dois *prefabs* diferentes (Figuras 75 e 76).

Figura 75 – Instrução para a montagem das armaduras



Fonte: Autor (2024).

Figura 76 – Usuário posicionando as ferragens



Fonte: Autor (2024).

Concretagem vigas e laje

Na etapa de concretagem, surge um novo áudio explicando a importância da concretagem conjunta das vigas e lajes para a estabilidade estrutural da edificação:

“Em estruturas de concreto, é essencial que a viga e a laje sejam concretadas conjuntamente para assegurar o engastamento adequado da laje e evitar juntas frias, que podem comprometer a continuidade estrutural e a capacidade de carga da edificação. Isso é realizado conectando as ferragens de ambos os elementos antes da concretagem, garantindo que funcionem como uma unidade estrutural coesa. Concretar a viga e a laje separadamente pode levar a consequências, como fissuras, devido à falta de continuidade estrutural, problemas de aderência entre os elementos e até mesmo redução na resistência à flexão e ao cisalhamento. A integridade da seção transversal é essencial para resistir aos momentos fletores e esforços cortantes previstos no projeto, reforçando a importância de uma concretagem contínua e bem executada.”

No desenvolvimento do protótipo, a decisão de simular a concretagem conjunta das vigas e laje foi fundamental para refletir a prática correta na construção civil. Enquanto nas etapas anteriores, como na concretagem das sapatas e das vigas baldrame, optou-se por representar a concretagem de forma separada para fins didáticos, aqui foi imprescindível manter a simultaneidade do processo. Essa abordagem está alinhada com as recomendações da ABNT NBR 14931:2004, que orienta sobre a necessidade de concretar elementos estruturais interdependentes em conjunto para garantir a monoliticidade e evitar juntas frias (ABNT, 2004).

A seguir, o usuário recebe a instrução para realizar a concretagem utilizando o carrinho de mão (Figuras 77 e 78).

Figura 77 – Instrução para a realização da concretagem



Fonte: Autor (2024).

Figura 78 – Usuário realizando a concretagem do conjunto laje e viga



Fonte: Autor (2024).

Ao finalizar esta etapa, o aluno tem a oportunidade de visualizar a estrutura completa, permitindo uma compreensão integral dos elementos construídos e de como eles se inter-relacionam para formar a edificação. Essa visualização final é fundamental no componente didático do protótipo, pois possibilita ao aluno observar

o resultado de cada processo construtivo realizado, consolidando o aprendizado sobre a sequência de etapas e a importância de cada elemento estrutural.

Cura do concreto e remoção dos apoios

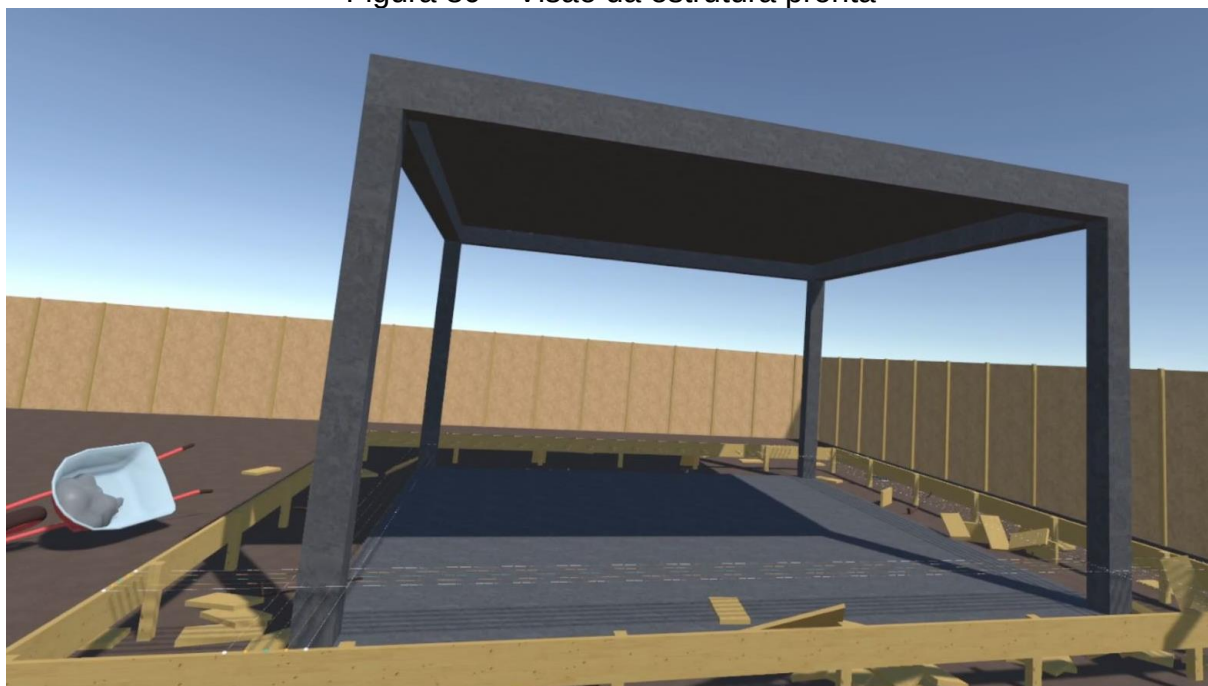
A última instrução reforça a importância da cura do concreto, que, embora não seja simulada no protótipo, seria imprescindível em uma versão completa do ObRV (Figuras 79 e 80). Em seguida, é indicada a remoção dos apoios e fôrmas para visualizar a estrutura pronta.

Figura 79 – Instrução para a remoção dos apoios e fôrmas



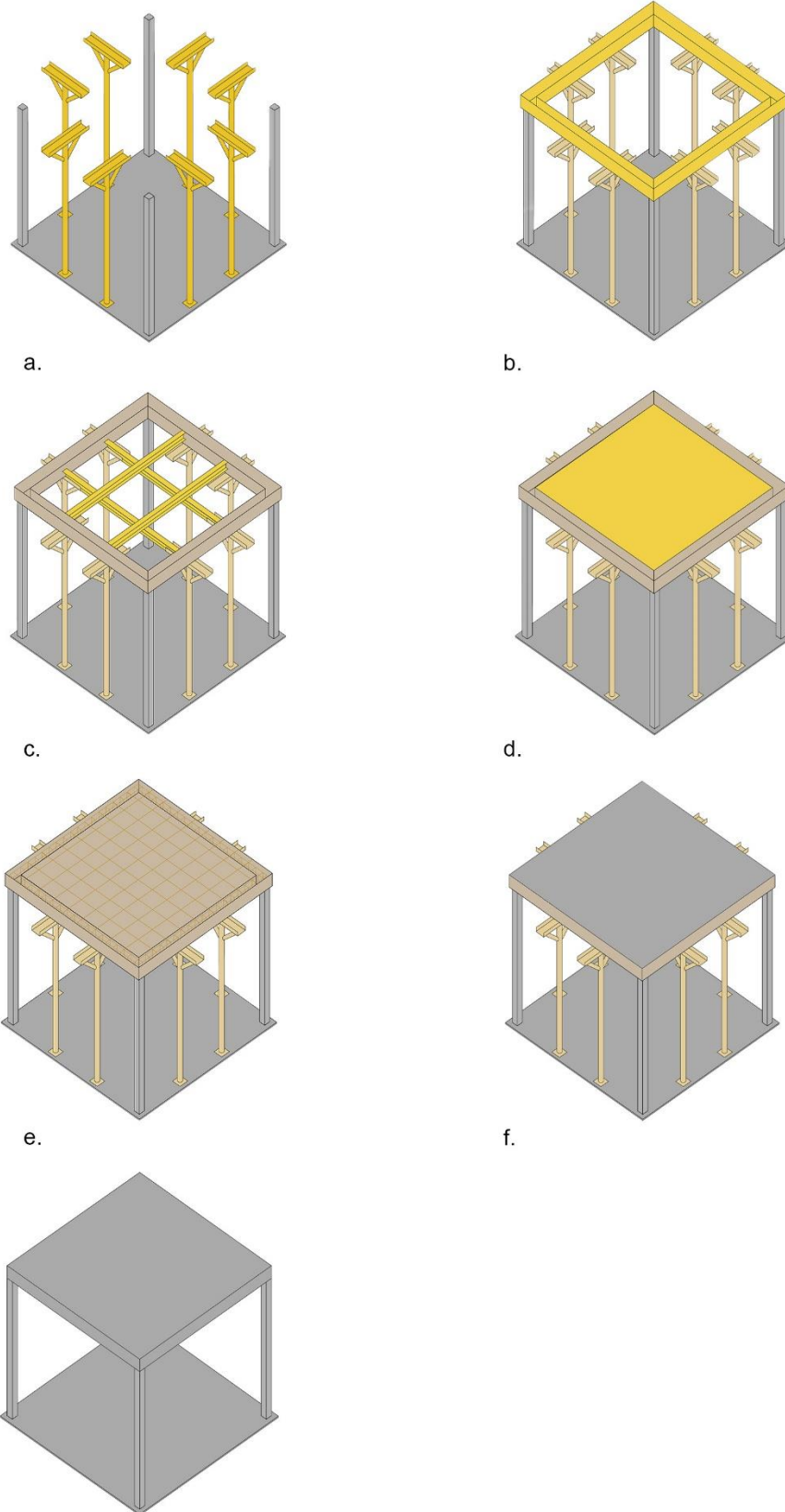
Fonte: Autor (2024).

Figura 80 – Visão da estrutura pronta



Fonte: Autor (2024).

Figura 81 – Diagramas axonométricos das etapas construtivas



g.
Fonte: Autor (2024).

Legenda: a) posicionamento das escoras; b) madeirite viga; c) escoras da laje; d) madeirite laje; e) posicionamento das armaduras; f) concretagem; g) finalização.

4.2.4.6 Alvenaria

No tutorial, a alvenaria é abordada como elemento de vedação, desempenhando um papel essencial na conformação dos espaços internos e na proteção contra agentes externos. Embora existam diversos tipos de tijolos utilizados na execução de alvenarias, optou-se pelo tijolo cerâmico maciço por vários motivos. Primeiramente, esse tipo de tijolo possui uma presença icônica em projetos arquitetônicos que exploram o tijolo aparente, permitindo realçar aspectos estéticos e construtivos. Além disso, a utilização do tijolo maciço facilita a simulação do assentamento de argamassa em um elemento sólido, tornando o processo mais didático e viável no ambiente virtual. O tijolo cerâmico maciço é amplamente empregado na construção civil devido às suas propriedades de resistência à compressão, durabilidade e boa inércia térmica, contribuindo para o conforto ambiental das edificações.

O desenvolvimento da etapa de assentamento dos tijolos foi um dos mais desafiadores e que demandou mais tempo. Por se tratar de uma execução totalmente manual, identificou-se o seu potencial para permitir a autonomia do usuário no processo. Por isso, estabeleceu-se o princípio de realizar o assentamento à moda do canteiro real, unidade por unidade, para manter a correspondência, possibilitar a compreensão da manualidade do processo e abrir margem para a criatividade.

Antes de iniciar as tarefas, o áudio e as telas fornecem informações introdutórias sobre alvenaria, como as fôrmas de assentamento, a amarração de tijolos nos encontros das alvenarias e, embora não seja simulada no protótipo, é mencionada a importância do acabamento como elemento fundamental na construção de alvenarias.

Alvenarias são paredes construídas com tijolos, que podem ser de variados tipos, como tijolos cerâmicos maciços ou furados, tijolos de concreto, tijolos ecológicos, entre outros. O assentamento é realizado com argamassa à base de cimento, areia e água, sendo essencial respeitar as proporções adequadas para cada aplicação (Figura 82).

Figura 82 – Primeira tela do painel de introdução de alvenaria



Fonte: Autor (2024).

Neste tutorial, vamos explorar o uso de um dos materiais mais tradicionais na construção civil: o tijolo cerâmico maciço, amplamente utilizado ao longo dos séculos por suas propriedades de resistência, durabilidade e boa inércia térmica, que contribuem para o conforto ambiental interno das edificações.

Na construção de alvenarias, é indispensável prever acabamentos, como reboco, pintura ou revestimentos, que desempenham um papel fundamental na proteção contra infiltrações, umidade e patologias, além de garantir a longevidade das paredes. No entanto, no canteiro didático, o foco será direcionado às técnicas de assentamento, sem abordar os acabamentos (Figura 83).

Figura 83 – Segunda tela do painel de introdução de alvenaria



Fonte: Autor (2024).

Os assentamentos podem variar conforme o projeto e estilo desejados, mas é crucial definir a espessura da parede de acordo com sua função. Paredes mais finas

são geralmente utilizadas para vedação, enquanto paredes mais espessas desempenham função estrutural, suportando cargas e proporcionando maior isolamento térmico e acústico (Figura 84).

Figura 84 – Terceira tela do painel de introdução de alvenaria



Fonte: Autor (2024).

Um aspecto essencial na execução é a amarração dos tijolos, que deve garantir que as juntas verticais estejam desencontradas, inclusive nas quinas e nos encontros de paredes. Essa técnica aumenta significativamente a estabilidade estrutural e reduz o risco de fissuras e rachaduras (Figura 85).

Figura 85 – Quarta tela do painel de introdução de alvenaria



Fonte: Autor (2024).

Assentamento dos tijolos

Para o assentamento dos tijolos, é introduzida a ferramenta espátula, que aplica a argamassa ao tocar a laje ou tijolo. Foi criado um holograma para guiar o passo a passo do assentamento, que desaparece ao ser assentado e reaparece sinalizando o próximo tijolo da fiada. Essa abordagem permite que o usuário siga a sequência correta de assentamento, compreendendo a importância da ordem, do desencontro das juntas verticais — essenciais para garantir a estabilidade estrutural da edificação — e do alinhamento.

Figura 86 – Tela de instrução para o assentamento dos tijolos



Fonte: Autor (2024).

Apesar de considerar o procedimento de assentamento passo a passo, foi desenvolvida uma maneira de otimizar o processo de construção da parede de alvenaria sem perder a essência, utilizando a mesma ferramenta introduzida anteriormente, a varinha mágica. A proposta é que o usuário construa duas fiadas para garantir a amarração e criar uma matriz, que pode ser multiplicada verticalmente usando a varinha. Isso permite certa liberdade para customizar a parede e ressalta os cuidados de alinhamento da fiada de base.

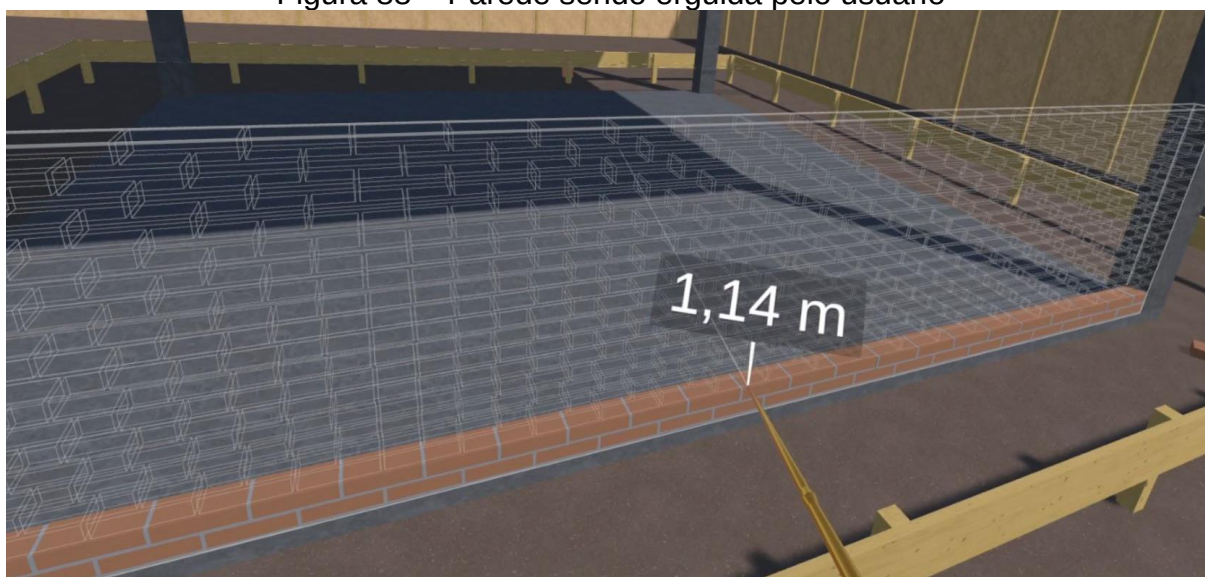
Portanto, como consta na instrução do próximo passo, após a construção das fiadas de base, o usuário deve elevar a parede usando a varinha até a altura desejada, indicada ao utilizar a ferramenta.

Figura 87 – Tela de instrução para o levantamento otimizado da parede



Fonte: Autor (2024).

Figura 88 – Parede sendo erguida pelo usuário



Fonte: Autor (2024).

Execução de vãos

Esta etapa introduz conceitos básicos sobre a execução de vãos em alvenaria, fundamentais para a abertura de portas e janelas nas edificações. A criação de aberturas requer cuidados específicos para manter a integridade estrutural das paredes. Para isso, utiliza-se a instalação de vergas pré-fabricadas. Uma narração apresenta informações sobre as vergas, seus aspectos estruturais e sua importância:

“Agora vamos introduzir as vergas, que são elementos estruturais importantes para a construção de vãos na alvenaria. As vergas atuam como pequenas vigas que redistribuem as cargas da alvenaria acima dos vãos para as áreas laterais, evitando concentrações de tensões que poderiam levar a fissuras. O correto dimensionamento das vergas, seguindo critérios de resistência dos materiais, é essencial para a durabilidade da construção. As vergas mais comuns são de concreto armado pré-moldadas de fábrica ou concretadas in loco. É crucial que as vergas sejam corretamente dimensionadas; no caso do concreto armado, a altura da verga deve ser aproximadamente 10% da largura do vão. Além disso, o uso de vergas adequadas pode melhorar a durabilidade e a resistência da edificação.”

As vergas são instaladas acima do vão, enquanto as contravergas ficam na parte de baixo, logo acima do parapeito. Ao instalar as vergas, é importante garantir que estejam perfeitamente alinhadas e niveladas para evitar problemas estruturais futuros.

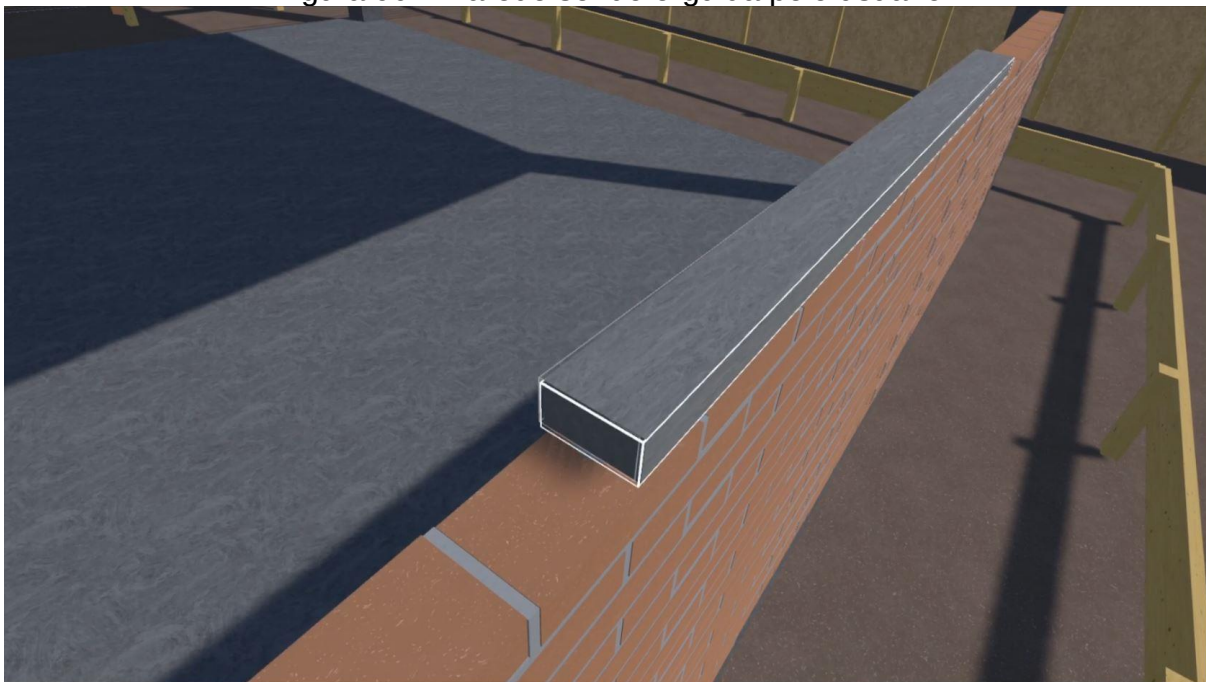
Figura 89 – Tela do painel informativo sobre vergas



Fonte: Autor (2024).

Em seguida o usuário deve assentar a verga com argamassa no local sinalizado pelo holograma.

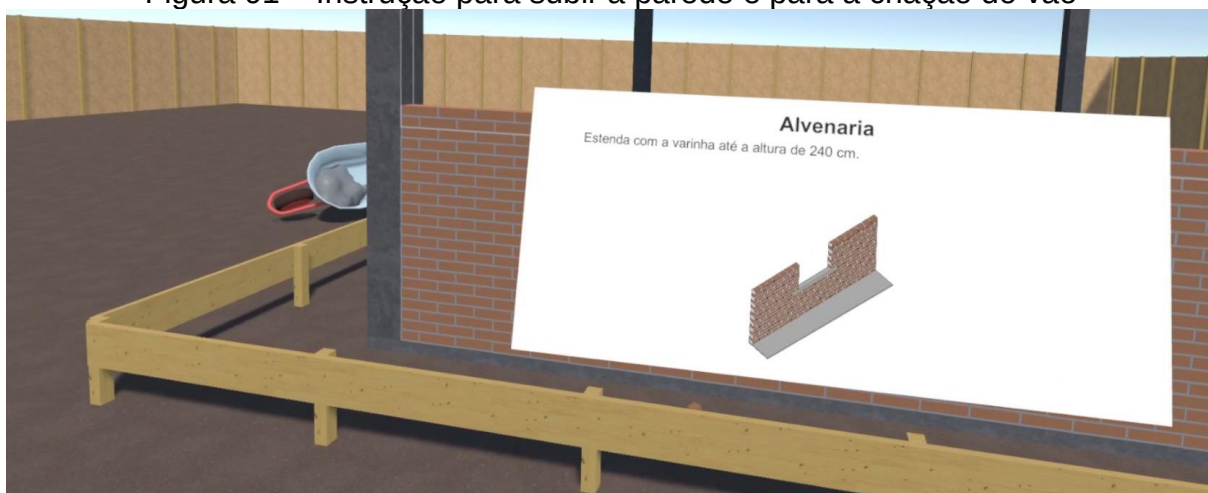
Figura 90 – Parede sendo erguida pelo usuário



Fonte: Autor (2024).

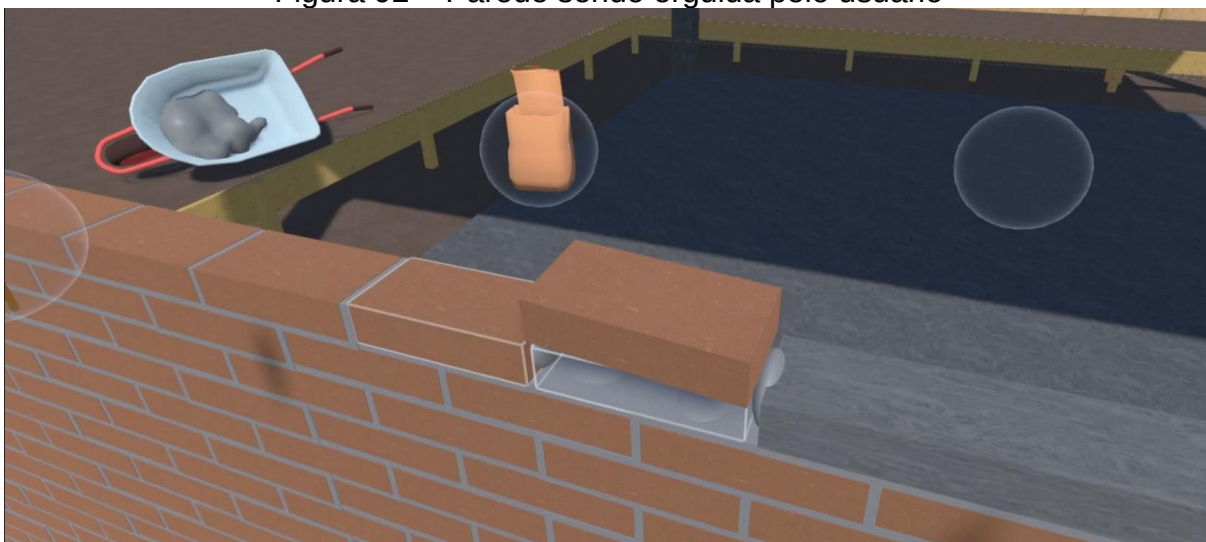
Após o assentamento da verga o usuário deve prosseguir com o assentamento manual da alvenaria até conseguir uma nova matriz de duas fiadas, que será multiplicada verticalmente até a altura desejada para a janela.

Figura 91 – Instrução para subir a parede e para a criação do vão



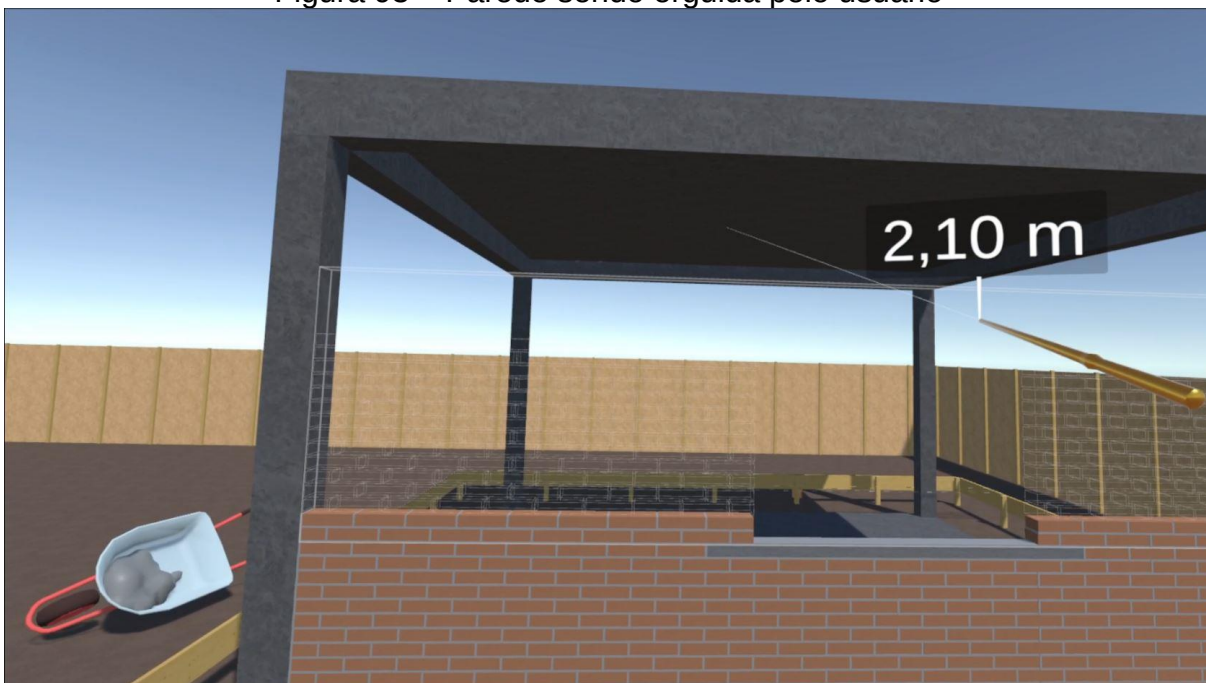
Fonte: Autor (2024).

Figura 92 – Parede sendo erguida pelo usuário



Fonte: Autor (2024).

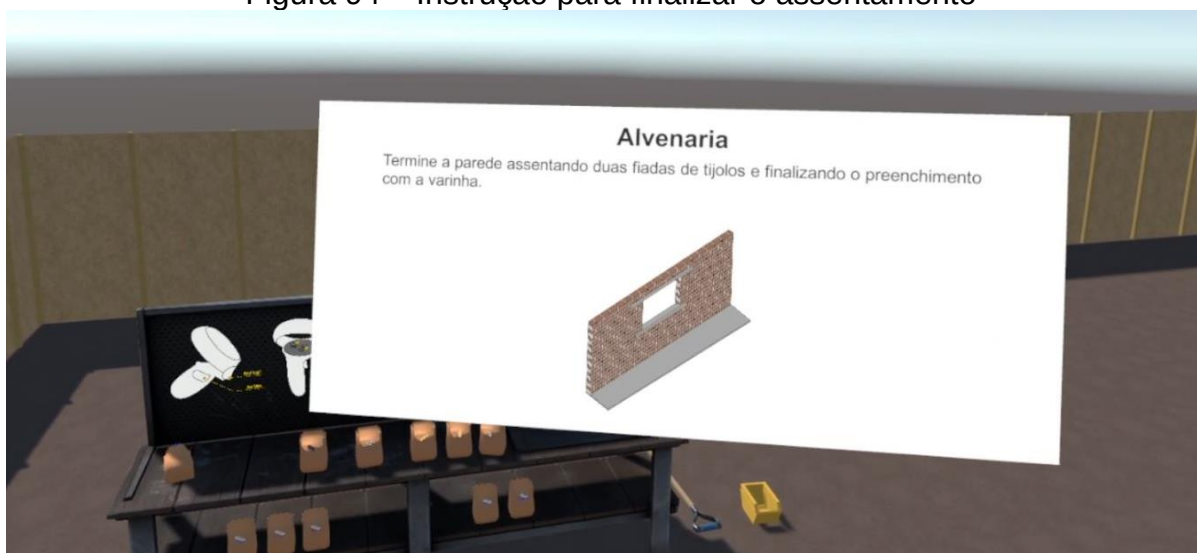
Figura 93 – Parede sendo erguida pelo usuário



Fonte: Autor (2024).

Em seguida, o usuário é instruído a assentar a verga superior e concluir a alvenaria.

Figura 94 – Instrução para finalizar o assentamento

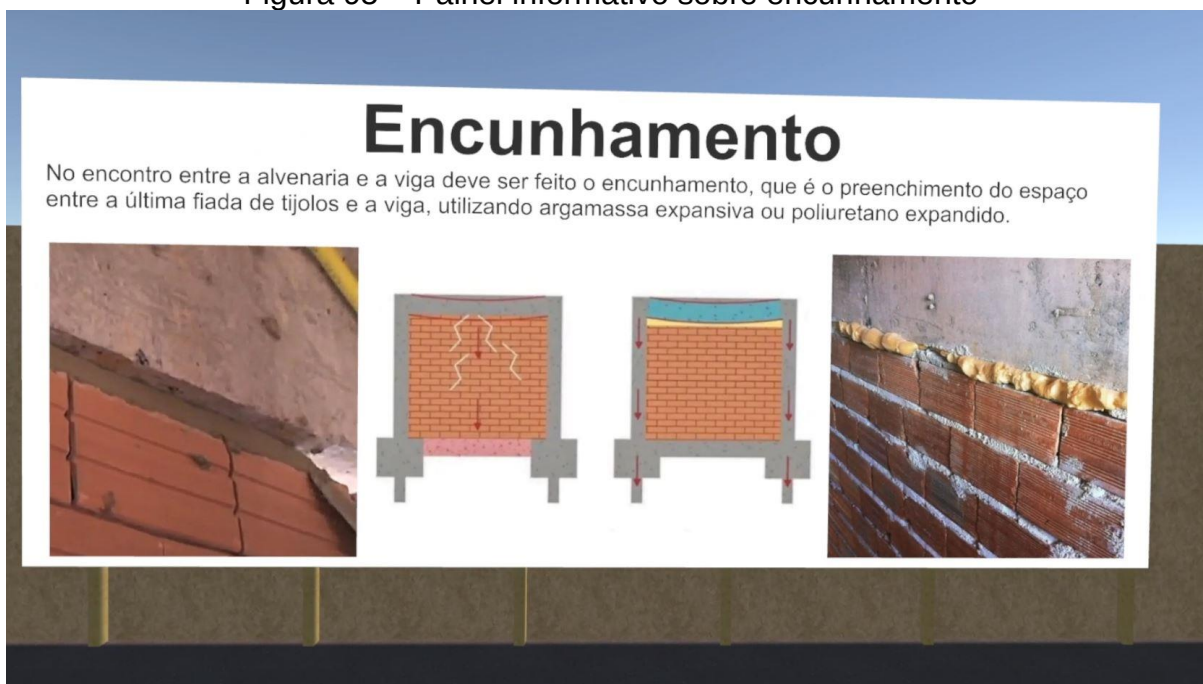


Fonte: Autor (2024).

Assim que o processo é finalizado, surge um novo áudio com informações no painel sobre o encontro entre parede e laje, o encunhamento, que, apesar de não ser simulado, é ilustrado no painel (Figura 95).

“No encontro entre a alvenaria e a viga, deve ser realizado o encunhamento, que é o preenchimento do espaço entre a última fiada de tijolos e a viga, utilizando argamassa expansiva ou poliuretano expandido. Essa técnica é essencial para garantir a estabilidade da estrutura, evitando o surgimento de fissuras e rachaduras decorrentes de movimentações ou dilatações. A técnica de encunhamento acomoda variações dimensionais devido a dilatações térmicas e deformações, prevenindo o aparecimento de patologias na interface entre a alvenaria e a estrutura de concreto. Materiais expansivos garantem um preenchimento eficaz e aderente, proporcionando uma melhor distribuição das cargas e contribuindo para a integridade e a durabilidade da construção.”

Figura 95 – Painel informativo sobre encunhamento



Fonte: Autor (2024).

Concluída a etapa de alvenaria, o usuário tem a oportunidade de visualizar o resultado final, compreendendo como os diferentes elementos construtivos se interligam para formar a edificação (Figura 96).

Figura 96 – Parede construída pelo usuário

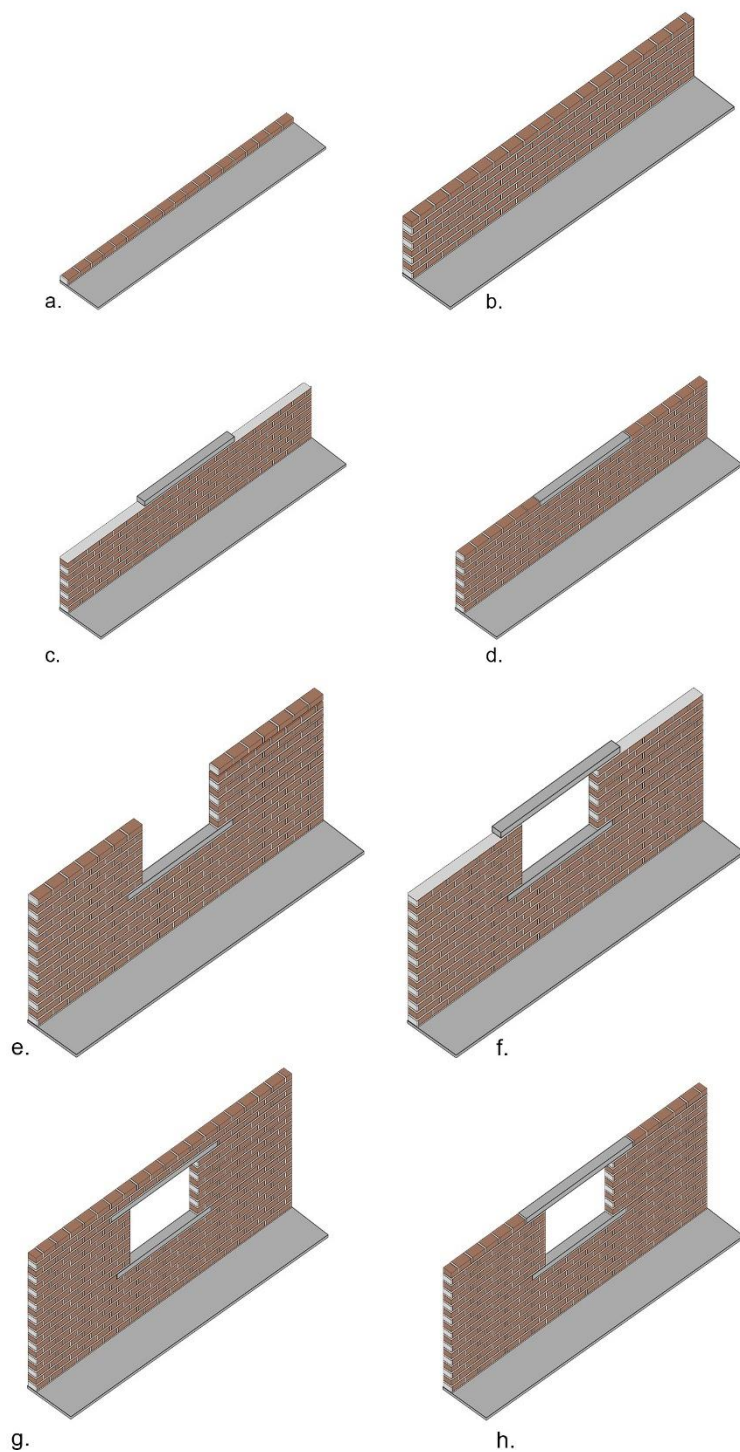


Fonte: Autor (2024).

Essa experiência permite consolidar o aprendizado sobre os processos de assentamento, elevação de paredes e execução de vãos, preparando o aluno para

aprofundar seus conhecimentos em sistemas construtivos alternativos, como o *steel frame*, que será abordado na próxima seção.

Figura 97 – Diagramas axonométricos das etapas construtivas



Fonte: Autor (2024).

Legenda: a) e b) assentamento dos tijolos; c) assentamento da contraverga; d) e e) continuação do assentamento; f) assentamento de verga; g) conclusão do assentamento.

A Figura 97, acima, apresenta uma sequência axonométrica das fases de construção, ilustrando a progressão desde o assentamento dos tijolos até a finalização da alvenaria com a execução dos vãos e o encunhamento.

4.2.4.7 Vedação em *steel frame*

Após a experiência com os modos mais convencionais de construção, foi inserido um tutorial de vedação em *steel frame*, com o objetivo de oferecer ao usuário uma experiência com sistemas construtivos a seco, realizando a mesma tarefa anterior: realizar a vedação considerando os vãos. Foi utilizada a mesma estrutura de concreto armado desenvolvida nos tutoriais anteriores para implementar a vedação em *steel frame*.

Essa introdução da vedação em *steel frame* visa diversificar a percepção dos alunos sobre os sistemas construtivos ao proporcionar uma interação que considera a estrutura em concreto armado em conjunção com a vedação em sistemas construtivos a seco. Isso ilustra um procedimento construtivo misto que está se tornando cada vez mais comum, especialmente em edifícios comerciais e residenciais verticais. Nesses casos, a estrutura de concreto armado assegura a resistência e a estabilidade necessárias, enquanto a vedação em *steel frame* contribui com diversos benefícios, destacando-se a leveza em relação à alvenaria tradicional, reduzindo significativamente o peso próprio da edificação. Essa diminuição de carga permite otimizações no dimensionamento estrutural e das fundações, além de agilizar o processo construtivo e melhorar o desempenho térmico e acústico.

Embora seja mais comum a pré-montagem de fachadas em *steel frame* no nível do chão para posterior fixação, optou-se por realizar uma simulação de montagem in loco e em altura, devido ao caráter didático e à dinâmica de montagem espacial do sistema. Essa abordagem permite que o usuário compreenda melhor o processo de montagem dos componentes estruturais diretamente na posição final, enfatizando a importância do alinhamento e da fixação adequada dos elementos em obra.

Figura 98 – Tela 1 do painel informativo sobre *steel frame*

Fonte: Autor (2024).

Os sistemas construtivos a seco são aqueles que demandam pouca ou nenhuma argamassa e água. Eles utilizam elementos industrializados que seguem uma lógica de montagem (Figura 99).

Figura 99 – Tela 2 do painel informativo sobre *steel frame*

Fonte: Autor (2024).

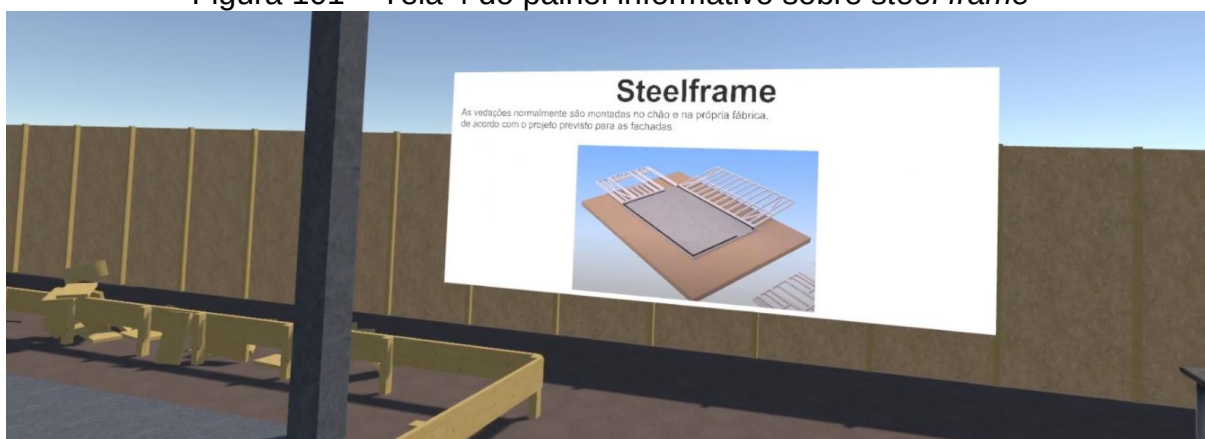
Em geral, esses sistemas trazem uma série de vantagens em relação aos sistemas construtivos tradicionais, contribuindo para uma obra mais limpa, um processo de construção mais rápido e gerando menos entulho e lixo. No entanto, também apresentam desafios, como a necessidade de projetos mais precisos, mão de obra especializada e, geralmente, um custo mais elevado (Figura 100).

Figura 100 – Tela 3 do painel informativo sobre *steel frame*

Fonte: Autor (2024).

O *steel frame* é um sistema construtivo a seco extensivamente utilizado nos Estados Unidos e na Europa, que tem ganhado cada vez mais popularidade no Brasil. Ele é baseado no uso de perfis metálicos leves, intercalados por mantas termoacústicas e com fechamentos em chapas cimentícias, que podem receber diversos tipos de acabamento, assim como na alvenaria tradicional. Esse sistema pode ser utilizado para a construção da edificação completa ou apenas para a vedação de fachadas, oferecendo flexibilidade arquitetônica e bom desempenho térmico e acústico quando bem projetado.

O *drywall*, como conhecemos no Brasil, é uma variação do *steel frame* voltada para uso interno, geralmente utilizando gesso para a criação das superfícies (Figura 101).

Figura 101 – Tela 4 do painel informativo sobre *steel frame*

Fonte: Autor (2024).

Nessa tarefa do canteiro didático, vamos construir uma vedação externa em *steel frame*. As vedações normalmente são montadas no chão e na própria fábrica, de acordo com o projeto previsto para as fachadas. No entanto, também podem ser montadas na própria obra, como faremos no canteiro virtual pelo caráter mais didático.

Para a construção da vedação, foram desenvolvidos três *prefabs* diferentes para representar os perfis:

- Guia: para ser instalada na horizontal, tanto no piso quanto no teto;
- Montante inteiro: para instalar na vertical, formando a estrutura principal;
- Montante menor: para a execução do parapeito da janela e da travessa superior da porta.

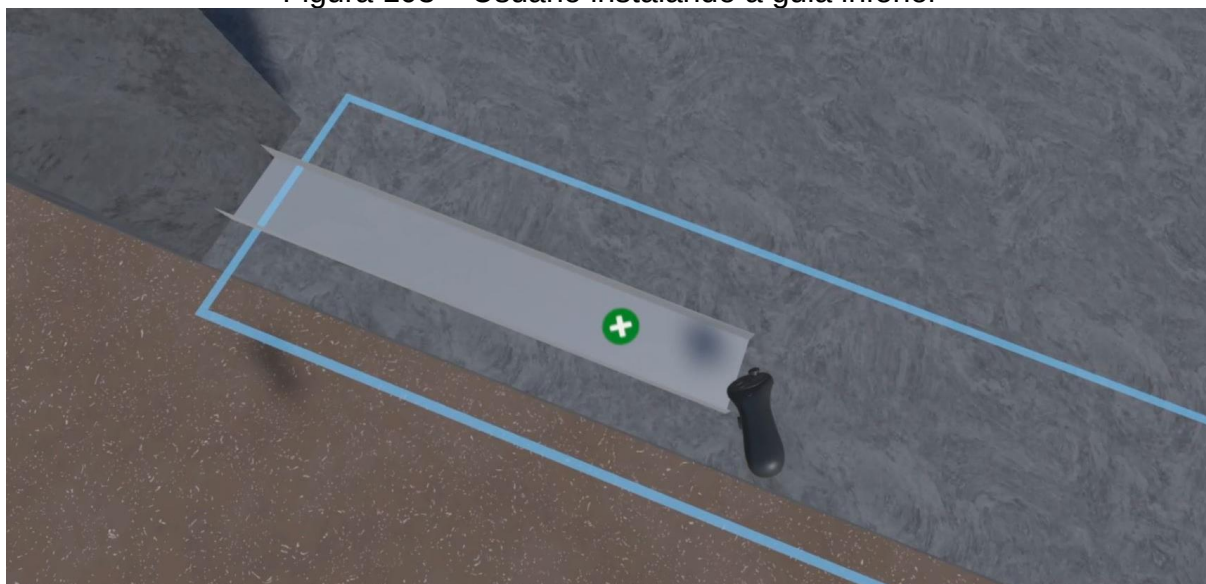
A primeira instrução induz o usuário a instalar a guia de piso e, em seguida, a guia de teto (Figura 102), cujas dimensões podem ser ajustadas pelo procedimento de "arrastar" quando sinalizado com o símbolo "+" (Figura 103).

Figura 102 – Tela 5 do painel informativo sobre *steel frame*



Fonte: Autor (2024).

Figura 103 – Usuário instalando a guia inferior



Fonte: Autor (2024).

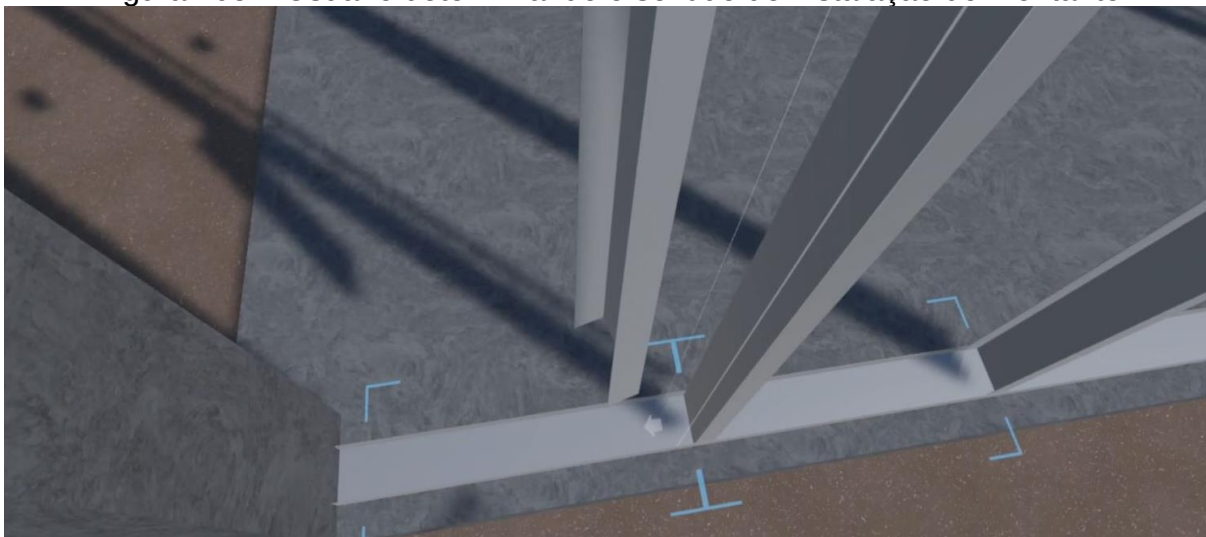
Em seguida, o usuário é instruído a instalar os montantes verticais nas guias (Figura 104). Nos montantes intermediários devem ser usados dois perfis justapostos para permitir o posterior encaixe das camadas de vedação. Cada perfil tem um sentido correto de instalação, sinalizado no holograma do piso. Assim, o usuário determina o sentido do montante girando o objeto e confirmando através da projeção, sinalizada na guia por uma seta (Figura 105).

Figura 104 – Instrução para instalação dos montantes verticais



Fonte: Autor (2024).

Figura 105 – Usuário determinando o sentido de instalação do montante



Fonte: Autor (2024).

Após a instalação dos montantes maiores, o usuário é instruído a instalar os montantes menores para o parapeito da janela e a trave superior da porta (Figuras 106 e 107).

Figura 106 – Instruções para instalar os montantes menores



Fonte: Autor (2024).

Figura 107 – Usuário instalando os montantes menores



Fonte: Autor (2024).

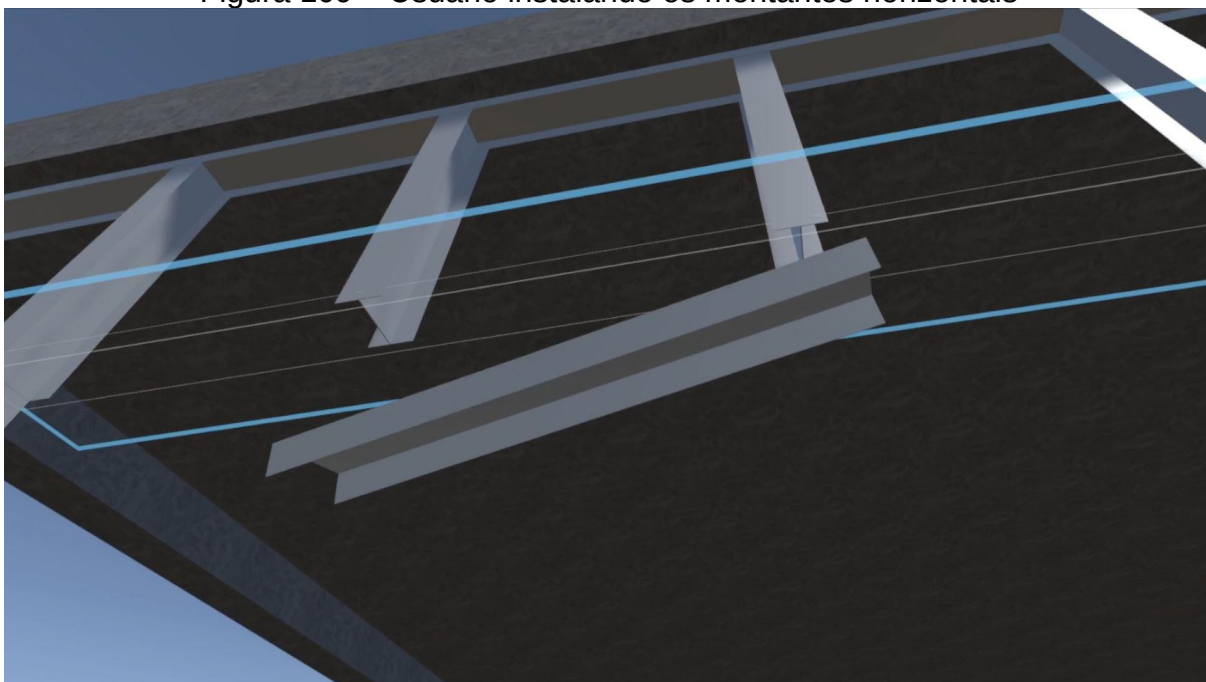
Em seguida, o usuário finaliza a estrutura da vedação com os montantes horizontais para o fechamento dos limites do vão da janela e da porta (Figuras 108 e 109).

Figura 108 – Instruções para instalar os montantes menores



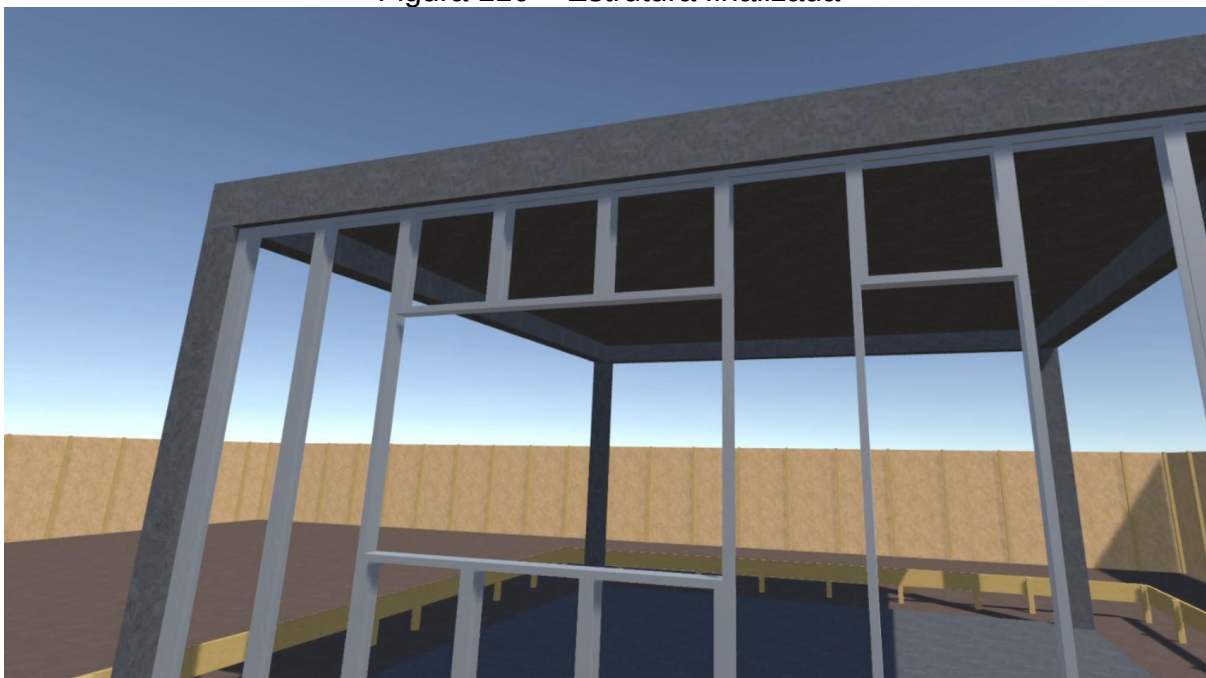
Fonte: Autor (2024).

Figura 109 – Usuário instalando os montantes horizontais



Fonte: Autor (2024).

Figura 110 – Estrutura finalizada



Fonte: Autor (2024).

Com a estrutura finalizada, o usuário é instruído a instalar a manta de isolamento térmico e acústico (Figura 111). Ao aproximar a manta do vão, aparece uma projeção da instalação, que é confirmada ao soltar o *prefab* (Figura 112).

Figura 111 – Instruções para instalar o isolamento acústico



Fonte: Autor (2024).

Figura 112 – Usuário instalando a manta de isolamento



Fonte: Autor (2024).

Seguindo o mesmo procedimento, o usuário deve instalar as chapas cimentícias para concluir a vedação (Figuras 113 e 114).

Figura 113 – Instruções para instalação da chapa cimentícia



Fonte: Autor (2024).

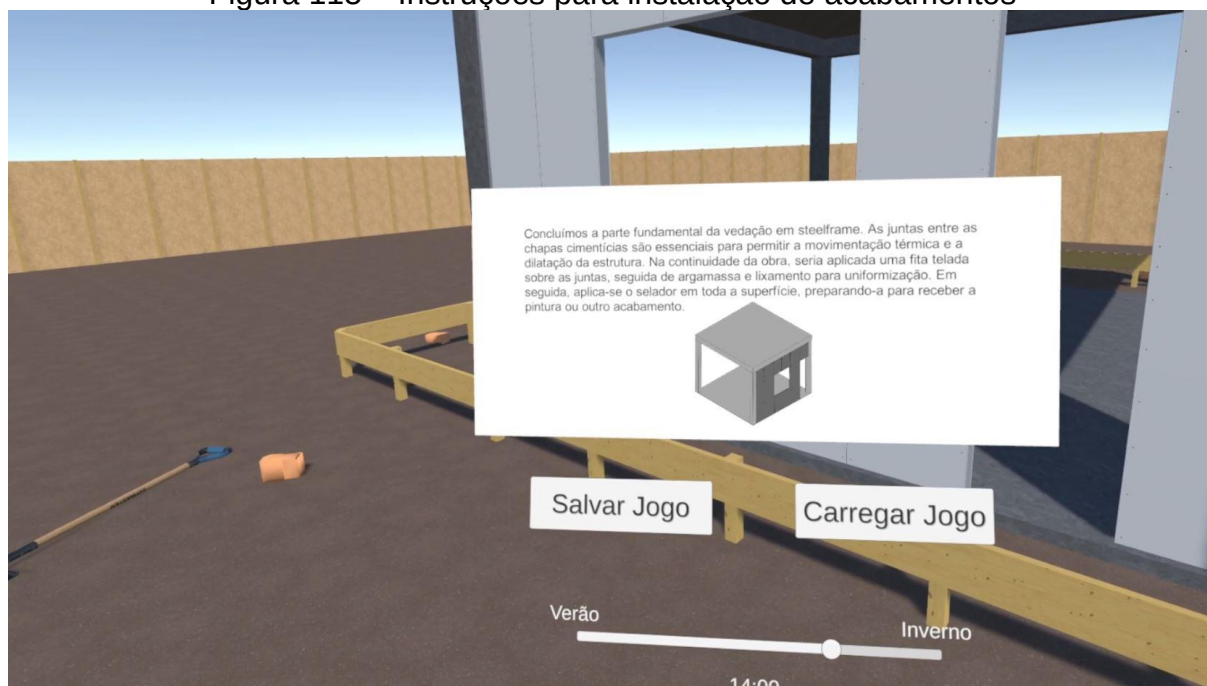
Figura 114 – Vedação concluída



Fonte: Autor (2024).

Após a conclusão, aparece ainda uma tela informativa para ressaltar a importância das juntas de dilatação, que permitem a movimentação térmica e a dilatação da estrutura. Também são indicados os procedimentos para preparar a superfície para a instalação de acabamentos, garantindo a durabilidade e a qualidade estética do sistema (Figura 115).

Figura 115 – Instruções para instalação de acabamentos

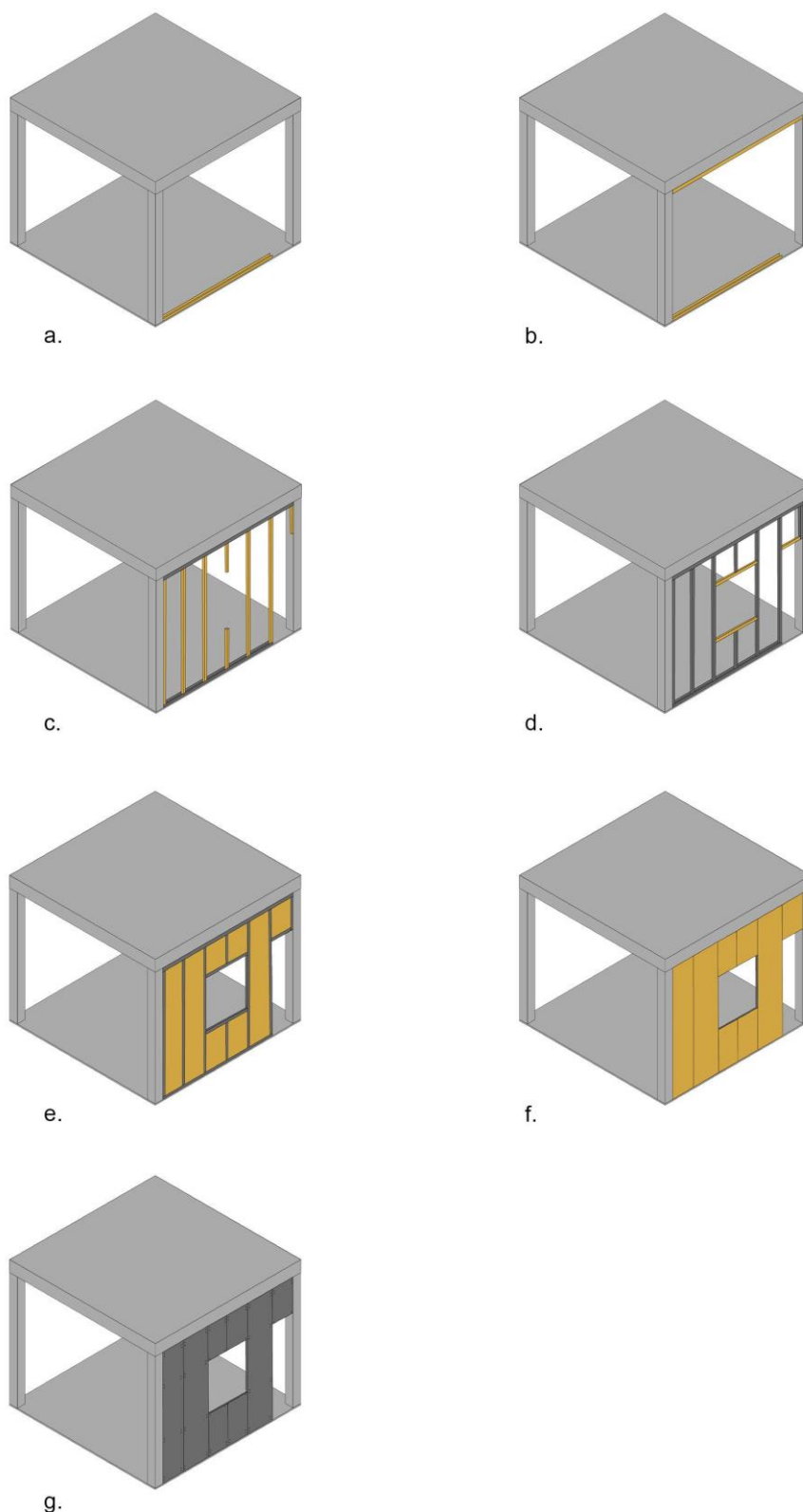


Fonte: Autor (2024).

Com a finalização da vedação em *steel frame*, o usuário conclui o processo de construção, compreendendo as particularidades e vantagens desse sistema construtivo a seco. A experiência prática no ambiente virtual busca permitir que o aluno assimile procedimentos importantes, como a montagem dos perfis metálicos, o isolamento termoacústico e o fechamento com chapas cimentícias. Além disso, a comparação entre os métodos tradicionais de alvenaria e o sistema *steel frame* busca enriquecer o entendimento sobre diferentes técnicas construtivas.

A Figura 116 apresenta os diagramas axonométricos sequenciais de cada fase da vedação em *steel frame*, desde a instalação das guias e montantes até o fechamento com as chapas cimentícias.

Figura 116 – Diagramas axonométricos das etapas construtivas



g.
Fonte: Autor (2024).

Legenda: a) guia inferior; b) guia superior; c) e d) instalação de montantes; e) instalação de isolamento acústico; f) instalação de chapa cimentícia; g) conclusão.

Ao longo de todo o desenvolvimento das ferramentas e interações, a usabilidade foi uma preocupação central, direcionando revisões constantes para tornar a interface mais intuitiva e funcional. Diferentemente da realidade concreta, onde o manuseio de ferramentas e materiais segue uma lógica natural e instintiva, no ambiente virtual, a simulação desses processos pode apresentar desafios adicionais. Determinar a direção correta, o alinhamento e até mesmo o sentido das ações no ambiente simulado nem sempre é intuitivo, mas pode ser otimizado com o uso de suporte visual e feedback imediato no ambiente virtual.

Para enfrentar esses desafios, foram implementados recursos visuais, como projeções em linhas finas para indicar o posicionamento correto dos elementos e setas indicativas que auxiliam na orientação do usuário durante o uso das ferramentas. Esses sinais permitiram maior clareza na execução das tarefas, visando reduzir a frustração e promovendo uma experiência mais fluida. Além disso, elementos como ajustes automáticos ao posicionar objetos podem ajudar a evitar erros e a reforçar os conceitos construtivos ensinados nos tutoriais.

Essas estratégias foram implementadas para criar uma plataforma que não apenas reproduzisse as etapas construtivas, mas que também fosse acessível para usuários com diferentes níveis de familiaridade com ambientes virtuais. Com as funcionalidades guiadas consolidadas, o protótipo evoluiu para incluir um formato de interação livre, que será detalhado no próximo tópico. Essa expansão permite que os alunos explorem sua autonomia, conectando a prática simulada à lógica de projeção arquitetônica.

4.2.5 Interação livre

Desde o início, uma premissa fundamental foi desenvolver uma plataforma que permitisse o uso livre pelos usuários. Embora fosse certamente mais simples criar simulações programadas e predefinidas a partir de modelos 3D, optou-se por buscar uma abordagem que possibilitasse experiências autônomas e a realização de ideias espaciais e exercícios de construção.

A intenção era criar uma plataforma que pudesse estar conectada ao processo de projeção — um tema de interesse e relevância significativa para os alunos e para o curso —, diretamente associado à experiência prática simulada de construção. O que diferencia esse formato dos tutoriais apresentados anteriormente

é a ausência de tarefas ou instruções específicas. A plataforma, com todas as ferramentas e funcionalidades, fica disponível para que o aluno desenvolva sua própria atividade, seguindo uma lógica semelhante à dos jogos *sandbox*, mas sem qualquer roteiro pré-definido.

Para testar a pertinência desse formato e avaliar as funcionalidades do protótipo, tanto no uso guiado quanto no uso personalizado pelos alunos, optou-se por criar uma disciplina a ser ofertada no curso.

4.3 Implementação do protótipo

Neste tópico, apresenta-se a metodologia adotada para a implementação do protótipo de realidade virtual e sua interação com os alunos. Descreve-se a criação da disciplina optativa no curso de Arquitetura e Urbanismo da UFMG, os procedimentos metodológicos empregados e os instrumentos de coleta de dados utilizados para avaliar a eficácia do protótipo como ferramenta educacional.

4.3.1 Criação da disciplina

Para realizar a implementação e testagem do protótipo foi criada a “Canteiro de Obras VR: Introdução ao sistema construtivo de concreto armado e alvenaria através de experiências imersivas em realidade virtual”, que, a princípio, não incluía o tema de *steel frame*, ainda em desenvolvimento naquele momento. O título da disciplina buscou ser claro para a compreensão e atração de alunos interessados no assunto. O conteúdo programático descrito no formulário de oferta visava descrever e explicitar o caráter de vinculação da disciplina à pesquisa em andamento:

"A disciplina aborda práticas construtivas simuladas em um canteiro de obras virtual. O aluno terá a oportunidade de experimentar um aplicativo em desenvolvimento no âmbito de uma pesquisa de doutorado, com uma introdução ao sistema construtivo tradicional de estrutura de concreto armado e alvenaria de tijolos cerâmicos, atuando como sujeito ativo na execução das tarefas construtivas. Será desenvolvido um exercício de projeto de um dispositivo arquitetônico de pequena escala, com foco nos procedimentos construtivos apresentados e na construção individual de cada proposta na plataforma do canteiro virtual.

Serão abordadas ferramentas básicas do canteiro de obras e marcação no terreno, construção de fundações superficiais e contrapiso, assentamento de alvenaria em tijolo cerâmico maciço para fins estruturais ou vedação,

criação de vãos na edificação, construção de estrutura em concreto armado e construção de cobertura.”

Foram disponibilizadas 10 vagas, limitadas e quantificadas a partir da disponibilidade de equipamentos e da logística para a realização das sessões. Contava-se com três unidades do Oculus Quest 2, o que permitia programar cada sessão em três turnos de três alunos, sendo que uma vaga era flexível e poderia ser remanejada de acordo com a conveniência, totalizando 10 alunos.

O tempo previsto por encontro foi de 2,5 horas, dividido em três sessões de 50 minutos, que aconteceriam de forma rotativa: a turma do primeiro horário passaria para o segundo na sessão posterior, e assim sucessivamente.

Foi desenvolvido um cronograma inicial para ser apresentado aos alunos na primeira aula, dedicada a introduzir a disciplina, seus objetivos e o contexto de realização, além de promover a apresentação e o conhecimento mútuo entre os participantes.

Quadro 1 – Cronograma R01

CRONOGRAMA R01 / PRJ052 / CANTEIRO DE OBRAS VR		
DATA	ATIVIDADE	DESCRIÇÃO
07/05	Apresentação	Introdução à disciplina e objetivos
08/05	Introdução do equipamento Oculus Quest 2	Demonstrações e configurações básicas
09/05	Canteiro Virtual - Interações Guiadas	Marcação da planta no terreno, fundação sapata isolada
14/05	Canteiro Virtual - Interações Guiadas	Viga baldrame, contrapiso
15/05	Recesso	
16/05	Recesso	
21/05	Canteiro Virtual - Interações Guiadas	Pilar, viga e laje plana
22/05	Canteiro Virtual - Interações Guiadas	Pilar, viga e laje plana
23/05	Esboço do projeto	Assentamento de tijolos, verga
28/05	Construção em VR	Assentamento de tijolos, verga
29/05	Esboço do projeto	Início do trabalho prático
30/05	Feriado	
04/06	Construção em VR	Implementação do projeto no VR
05/06	Construção em VR	Implementação do projeto no VR

06/06	Construção em VR	Implementação do projeto no VR
12/06	Encerramento da disciplina	Visita ao escritório

Fonte: Autor (2024).

Na segunda aula, o objetivo foi introduzir o equipamento Oculus Quest 2, ensinar configurações básicas, realizar demonstrações e permitir que os alunos experimentassem três aplicativos diferentes: o aplicativo de introdução da Meta, que ensina os principais comandos em uma interface interativa; o *Google Earth VR*, que permite a visualização imersiva de cidades; e um jogo de ação chamado *Superhot VR*. Esse procedimento foi realizado com o objetivo de reduzir o “efeito WOW” — uma reação inicial de deslumbramento comum ao primeiro contato com a realidade virtual, que pode influenciar a percepção e o foco nas atividades subsequentes — antes que os alunos começassem a usar o protótipo propriamente dito. Ao familiarizar os alunos com a tecnologia e seus recursos, buscou-se minimizar distrações e permitir que se concentrassem melhor nos objetivos educacionais da disciplina.

As sessões de interação guiada foram planejadas para começar a partir da terceira aula e durar por quatro encontros. Nessas sessões, os alunos conheceriam a plataforma e aprenderiam, por meio de interações guiadas, sobre diversos procedimentos construtivos. Essa etapa era fundamental para proporcionar uma experiência de aprendizado vivencial, na qual os estudantes poderiam vivenciar, de forma imersiva, os processos de construção em um ambiente virtual controlado. A metodologia adotada se baseou nos princípios do aprendizado experiencial, conforme proposto por autores como Kolb (1984), que enfatiza a importância da aprendizagem por meio da experiência direta.

Na aula 5, após a conclusão dos tutoriais, foi programado um exercício de projeto com um tema simples, que permitisse o desenvolvimento de uma concepção em apenas uma aula. Além disso, deveria ser de pequena escala, alinhando-se com a abordagem de desenvolvimento do protótipo em pequenas edificações e com um programa simples. Por isso, foi proposta a tarefa de conceber um dispositivo arquitetônico que funcionaria como um abrigo temporário de vacinação, um tema com relevância no contexto pós-pandemia. Pelo caráter improvisado e emergencial, o programa seria simples: área de atendimento, armazenamento e instalação sanitária.

Nessa etapa, os alunos teriam a oportunidade de aplicar o conhecimento dos procedimentos construtivos adquiridos nas sessões anteriores para construir suas próprias concepções. O desenvolvimento da concepção deveria ser realizado por meio de croquis manuais, sem o uso de ferramentas digitais, para favorecer a geração de ideias de maneira ágil e evitar a dependência de softwares de modelagem digital, focando na experiência posterior de construção no ambiente virtual. Essa transição do aprendizado guiado para a aplicação prática autônoma buscava reforçar os princípios do aprendizado experiencial, permitindo que os alunos consolidassem o conhecimento por meio da aplicação em um projeto próprio.

A aula foi planejada à semelhança de um ateliê de projeto, com desenvolvimento em sala, orientação processual individualizada e discussão das concepções a partir dos sistemas construtivos experimentados. Essa abordagem metodológica buscava estimular a criatividade dos alunos, ao mesmo tempo em que reforçava os conhecimentos técnicos adquiridos.

Nas aulas seguintes, os alunos deveriam começar a construir suas ideias de dispositivo arquitetônico no ambiente do protótipo ObRV, concluindo em até três aulas. Essa fase permitiria que os estudantes aplicassem, de forma prática e autônoma, os procedimentos construtivos aprendidos, enfrentando desafios e tomando decisões construtivas no ambiente virtual.

A última aula seria dedicada ao encerramento da disciplina e à reflexão conjunta sobre o processo. Nesse momento, os alunos poderiam compartilhar suas expectativas, discutir potenciais desafios e antecipar aprendizados, contribuindo para uma avaliação crítica da metodologia proposta e do potencial do protótipo como ferramenta de ensino.

4.3.2 Instrumentos para coleta de dados

Para realizar o registro das sessões e coletar informações para análise posterior do uso do protótipo, foi implementada uma metodologia formal de coleta de dados. Com a permissão dos alunos, foram realizadas gravações das telas durante as sessões de uso do protótipo, possibilitando a revisão das interações dos estudantes com o ambiente virtual. Além disso, aplicaram-se questionários periódicos para avaliar o andamento geral das atividades e captar as percepções dos alunos sobre a experiência. Essa abordagem combinada permitiu uma análise

qualitativa e quantitativa do uso do protótipo, contribuindo para o refinamento da ferramenta e para o aprimoramento das estratégias pedagógicas associadas.

Os questionários desenvolvidos buscaram monitorar questões relevantes para a análise da implementação, incluindo os tempos de sessão, a ocorrência de *cybersickness*, problemas técnicos enfrentados, o nível de familiaridade com os sistemas construtivos e tecnologias de realidade virtual, assim como a percepções dos alunos sobre a clareza e a dificuldade das tarefas realizadas. Além disso, foram documentados o interesse dos alunos pelo uso da realidade virtual, os aspectos mais apreciados na experiência, as sugestões para melhorias no protótipo e os retornos sobre o impacto pedagógico do ambiente virtual. Esses instrumentos foram estruturados em três etapas principais: um questionário prévio, aplicado antes da primeira interação com o protótipo; questionários específicos, aplicados ao final de cada tutorial; e um questionário final para avaliar a experiência geral dos alunos.

O questionário prévio teve como objetivo compreender o perfil inicial dos participantes, avaliando sua familiaridade com tecnologias de realidade virtual, experiências prévias e possíveis sensibilidades a *cybersickness*. Esse instrumento teve como objetivo fornecer um ponto de partida para a análise longitudinal das interações.

Os questionários programados para serem aplicados ao final de cada tutorial foram projetados para registrar percepções pontuais, como o nível de dificuldade das tarefas realizadas, a clareza das instruções e o desempenho técnico do sistema. Esses dados foram considerados com o objetivo de identificar melhorias necessárias e avaliar a progressão da experiência dos usuários ao longo do tempo.

Por fim, o questionário final teve como foco a análise global da experiência, incluindo aspectos como a eficácia pedagógica do protótipo, sugestões para melhorias e percepções sobre a contribuição do ambiente virtual para o aprendizado. Esse instrumento procurou sintetizar os insights acumulados, permitindo uma avaliação mais ampla do impacto do protótipo.

Ademais, foi considerada a aplicação de questionários padronizados amplamente utilizados na avaliação de aplicações em realidade virtual, garantindo uma coleta de dados consistente e comparável.

O “*Virtual Reality Sickness Questionnaire*” (VRSQ) é uma escala específica destinada a avaliar os sintomas de desconforto que os usuários podem experimentar durante ou após a interação com ambientes de realidade virtual. Esse questionário

contempla sintomas como náusea, tontura, dor de cabeça, sudorese, fadiga, desorientação, visão turva e desconforto ocular. Nele, os participantes indicam a intensidade de cada sintoma em uma escala de Likert, o que permite quantificar o nível de desconforto associado ao uso do protótipo.

Para medir a sensação de presença dos usuários no ambiente virtual, foi empregado o “*Presence Questionnaire*” (PQ). Esse instrumento avalia aspectos como a imersão envolvente, o controle natural, a interação com o ambiente, a consistência e o realismo das respostas do sistema às ações do usuário, além da consciência do ambiente real durante a experiência. O PQ é fundamental para compreender o grau de imersão e de envolvimento dos alunos com o protótipo, elementos essenciais para a eficácia de ferramentas educacionais em realidade virtual.

A fim de avaliar a usabilidade do protótipo, utilizou-se a “*System Usability Scale*” (SUS). Esse questionário fornece uma medida geral da facilidade de uso e da satisfação do usuário, analisando fatores como simplicidade, consistência, eficiência da interface e confiança no sistema. A SUS é amplamente utilizada para avaliar aspectos da interação humano-computador que podem ser aprimorados, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas mais intuitivos e acessíveis.

Adicionalmente, foi considerado o “*NASA Task Load Index*” (NASA-TLX) para avaliar a carga de trabalho percebida pelos usuários durante as tarefas realizadas no ambiente virtual. O NASA-TLX considera dimensões como demanda mental, demanda física, demanda temporal, desempenho, esforço e nível de frustração. A avaliação desses aspectos é importante para compreender o esforço cognitivo e físico exigido pelo protótipo, permitindo ajustes que tornem a experiência mais confortável e produtiva.

Essa combinação de instrumentos de avaliação foi selecionada para proporcionar uma compreensão abrangente da experiência dos alunos com o protótipo, abrangendo aspectos físicos, cognitivos e emocionais. Os questionários foram aplicados em uma ordem estratégica, iniciando pela avaliação do conforto físico (VRSQ e CSQ), seguida pela sensação de presença (PQ), usabilidade do sistema (SUS) e, por fim, a carga de trabalho (NASA-TLX). Dessa forma, a metodologia de coleta de dados foi estruturada para capturar informações relevantes que subsidiem a análise da eficácia do protótipo como ferramenta educacional e orientem futuras melhorias no sistema e nas práticas pedagógicas associadas.

A seção seguinte detalhará o processo de implementação da disciplina, discutindo os desafios enfrentados e as estratégias adotadas ao longo do percurso. Serão apresentados os resultados obtidos, com destaque para exemplos de propostas desenvolvidas no ambiente virtual, percepções dos participantes sobre o impacto do protótipo no aprendizado e análise de dados coletados por meio de questionários, gravações e observações realizadas durante as sessões. Essas informações contribuirão para avaliar a eficácia do protótipo como ferramenta pedagógica e identificar oportunidades de aprimoramento.

5 IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO PRÁTICA DO OBRV NO CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO

Esta seção apresenta a implementação prática do protótipo ObRV em uma disciplina ofertada no curso de Arquitetura e Urbanismo da UFMG. Serão descritas as etapas de planejamento e execução das atividades realizadas com os estudantes, destacando os desafios enfrentados e as adaptações feitas para alinhar a ferramenta digital às demandas do contexto acadêmico.

A abordagem incluiu a preparação da disciplina, o planejamento das atividades práticas com o protótipo e a integração dos conteúdos às ferramentas digitais. Serão detalhados os principais desafios técnicos, pedagógicos e de adaptação dos participantes ao ambiente virtual, bem como as estratégias adotadas para superá-los.

Por fim, serão apresentados os dados coletados por meio de questionários, gravações e observações realizadas ao longo das sessões. A análise dos resultados examinará como o protótipo contribuiu para o aprendizado dos estudantes, evidenciando as percepções dos participantes e as propostas desenvolvidas no ambiente virtual.

5.1 Aplicação da disciplina

As sessões práticas da disciplina foram realizadas em um laboratório cedido pela Escola de Arquitetura, equipado com computadores de alto desempenho e um espaço amplo, adequado para atividades de realidade virtual. Foram disponibilizados três dispositivos Oculus Quest 2 para uso durante as sessões.

Ao lado dos computadores, foi organizada uma área livre com largura suficiente para delimitar três zonas de segurança, garantindo espaço adequado para a realização das atividades práticas com os *headsets*. Essa organização visava prevenir acidentes e proporcionar liberdade de movimento durante as interações em realidade virtual.

O protótipo desenvolvido no Unity foi exportado como um arquivo executável (*Build*), permitindo sua execução em qualquer computador compatível. Para habilitar a funcionalidade de "link" e conectar os *headsets* aos computadores, foi necessário o uso de cabos USB. Foram utilizados cabos originais do Quest com comprimento

de aproximadamente 4 metros, o que garantiu mobilidade adequada e uma experiência fluida para os usuários.

A conexão dos *headsets* aos computadores também possibilitou o acompanhamento em tempo real das atividades dos alunos, por meio das telas dos computadores que reproduziam a visão dos dispositivos em funcionamento. Isso permitiu aos instrutores monitorar o progresso e oferecer suporte imediato quando necessário.

Além disso, para assegurar a higiene e segurança de todos os participantes, foram disponibilizadas toalhas de feltro descartáveis e álcool para higienização dos equipamentos após cada uso.

5.1.1 Informações prévias e introdução ao dispositivo Quest 2

Na aula inaugural, os alunos foram apresentados ao plano de curso e convidados a relatar suas experiências acadêmicas e profissionais, bem como sua familiaridade prévia com dispositivos de realidade virtual. Na sequência, foi aplicado um questionário prévio (Apêndice A), antes de iniciar as sessões, com o objetivo de mapear as percepções iniciais dos alunos, bem como seu entendimento dos sistemas construtivos tradicionais e do uso de tecnologias imersivas.

Os questionários prévios incluem a autorização dos alunos para o uso das informações e imagens relacionadas à pesquisa. No entanto, com o objetivo de preservar a privacidade e garantir o anonimato dos participantes, os alunos serão identificados apenas por números ao longo do estudo.

A disciplina contou com dez participantes de diferentes períodos do curso de Arquitetura, abrangendo desde o terceiro até o nono período. Essa diversidade configurou uma amostra heterogênea, possibilitando a investigação de variações na percepção e no aproveitamento em função do estágio acadêmico de cada aluno. Entre os participantes, havia um aluno com mobilidade reduzida que utilizava muletas. Essa inclusão reforçou a diversidade do grupo e foi considerada estratégica para avaliar o potencial de contribuição do protótipo, independentemente do grau de avanço dos estudantes na grade curricular ou de suas condições físicas.

Quadro 2 – Alunos matriculados

Número do Aluno	Período Acadêmico
Aluno 1	9º período
Aluno 2	8º período
Aluno 3	9º período
Aluno 4	3º período
Aluno 5	6º período
Aluno 6	6º período
Aluno 7	7º período
Aluno 8	5º período
Aluno 9	6º período
Aluno 10	9º período

Fonte: Autor (2024).

Os resultados obtidos demonstraram que 75% dos participantes já haviam utilizado dispositivos de realidade virtual. Contudo, quando analisada a frequência de uso, apenas 25% relataram ter utilizado RV entre uma e três vezes nos últimos seis meses, o que sugere que, embora familiarizados com o conceito, o uso de RV não é amplamente difundido entre os estudantes. Ademais, 17% dos alunos mencionaram ter experimentado enjoo de movimento, um dado relevante para o planejamento das sessões, uma vez que tal desconforto pode impactar negativamente a experiência.

Quanto à familiaridade com sistemas construtivos, a maioria dos participantes se autodeclarou com pouca ou moderada familiaridade (58,33% e 33,33%, respectivamente), enquanto apenas 8,3% consideraram-se muito familiarizados.

No que concerne à percepção do aprendizado em construção civil no curso de Arquitetura, os resultados indicaram que 70% dos alunos classificaram o aprendizado como fraco ou muito fraco, enquanto 20% o consideraram regular e apenas 10% o avaliaram como bom.

Embora se trate de uma amostragem reduzida, os resultados corroboram com a identificação de uma defasagem no ensino de construção civil no curso de Arquitetura. Esses números sugerem que a abordagem teórica predominante pode não estar contribuindo de forma efetiva para o desenvolvimento de competências práticas e técnicas na área. Além disso, reforçam a relevância de propostas pedagógicas que possam complementar o ensino tradicional e integrar experiências práticas mediadas por tecnologias, como a realidade virtual, possibilitando uma aprendizagem mais contextualizada.

No segundo encontro, conforme previsto no cronograma, foi realizada uma rodada de introdução ao uso dos *headsets* Oculus Quest 2. O objetivo principal foi familiarizar os alunos com o funcionamento básico do dispositivo, incluindo instruções sobre os ajustes ergonômicos do dispositivo para uso e a configuração do sistema de segurança integrado, conhecido como "guardião". Esse sistema permite que o usuário defina os limites espaciais para garantir uma experiência segura, orientando-o a ajustar o nível do chão e a delimitar uma área de segurança por meio de um desenho virtual no espaço.

Durante a sessão, foram introduzidas três aplicações distintas para uso pelos alunos. A primeira foi o tutorial interativo *First Steps*, que tem como finalidade auxiliar os usuários a aprenderem as funcionalidades básicas do dispositivo, como o manuseio dos controladores, a interação com o ambiente virtual e a realização de ações simples no espaço virtual. Em seguida, os alunos exploraram o *Google Earth VR*, que oferece a possibilidade de navegar de forma imersiva por mapas e modelos tridimensionais de cidades, permitindo experiências como sobrevoar paisagens e percorrer localidades urbanas. Por último, foi apresentado o jogo de ação *Superhot VR*, no qual os movimentos do próprio jogador controlam a velocidade dos eventos e o surgimento de desafios, criando uma dinâmica que estimula a consciência corporal e a percepção de ameaça no ambiente virtual.

Essas aplicações foram escolhidas e introduzidas estrategicamente antes do início das atividades com o protótipo, visando proporcionar aos alunos experiências iniciais diversificadas com a realidade virtual. Essa abordagem teve como objetivo não apenas acostumá-los ao uso do dispositivo, mas também mitigar o impacto do chamado "efeito WOW". Esse fenômeno, caracterizado pelo encantamento inicial com as possibilidades visuais e imersivas da RV, pode desviar a atenção dos objetivos específicos da atividade, focando mais na novidade da tecnologia do que em seu conteúdo pedagógico.

Entre as aplicações apresentadas, o *Google Earth VR* gerou o maior número de relatos de enjoo, possivelmente devido ao movimento contínuo e à sensação de sobrevoos, fatores que podem intensificar a cinetose em usuários mais sensíveis. Esse feedback foi considerado na análise posterior, destacando a importância de adaptar as experiências imersivas às condições individuais de cada participante para garantir maior conforto e engajamento.

5.1.2 Sessões guiadas

Considerando a falta de familiaridade ou o uso esporádico de dispositivos de realidade virtual (*headsets*) por parte dos estudantes, foram implementadas desde a primeira sessão estratégias para minimizar possíveis episódios de *cybersickness* durante as atividades.

Para isso, sugeriu-se a realização de pausas para descanso ao longo da sessão. Além disso, enfatizou-se o uso de alternativas ao movimento contínuo na interface do protótipo, destacando funcionalidades como o teletransporte e a rotação em incrementos. Essas opções de locomoção são especialmente benéficas para alunos com tendência a enjoo, pois reduzem a cinetose associada ao movimento virtual contínuo.

O teletransporte permite que os usuários se movam instantaneamente de um ponto a outro no ambiente virtual, eliminando o fluxo óptico contínuo associado ao movimento simulado, o que contribui para a redução de sintomas de *cybersickness*. Como observado por Adhikari *et al.* (2023), essa técnica é eficaz para minimizar enjoo, pois evita a aceleração ou desaceleração perceptível, reduzindo o impacto sobre o sistema vestibular e garantindo uma experiência mais confortável.

A **rotação em incrementos**, ou rotação discreta, possibilita que os usuários ajustem sua orientação em ângulos fixos, como 30° ou 45°, em vez de uma rotação contínua. Essa abordagem reduz a discrepância entre os sinais visuais e vestibulares, diminuindo a ocorrência de *cybersickness*. Wolf *et al.* (2021) destacam que a rotação discreta não provoca desorientação espacial significativa e pode até aumentar a sensação de presença do usuário no ambiente virtual.

Análise do Tutorial 1

Figura 117 – Alunos durante as sessões



Fonte: Acervo pessoal (2024).

De modo geral, a primeira sessão foi bem-sucedida. Dos alunos participantes, 60% consideraram o protótipo fácil de usar, enquanto 40% mantiveram-se neutros. No entanto, alguns desafios técnicos foram observados: quatro alunos enfrentaram problemas, sendo que três relataram desconexões do dispositivo durante a sessão e um aluno encontrou dificuldade com a função de ajustar o dimensionamento da armação na execução da viga baldrame.

Em relação ao tempo de conclusão da atividade, 70% dos alunos levaram cerca de 60 minutos, enquanto 30% finalizaram em 45 minutos. Notou-se que 50% dos alunos não realizaram pausas durante a sessão, e 70% apresentaram sintomas de *cybersickness*. Essa alta incidência pode estar associada à duração prolongada da sessão para usuários iniciantes, à ausência de pausas e à baixa adoção do modo teletransporte, utilizado por apenas 30% dos participantes. Destaca-se que os alunos 2 e 5 relataram os sintomas mais intensos, indicando a necessidade de atenção especial a esses casos.

Feedback dos alunos

Os aspectos positivos destacados pelos alunos no questionário incluem:

a) aprendizado das etapas construtivas: muitos alunos relataram que a experiência no canteiro virtual facilitou o entendimento das primeiras etapas de uma obra, tornando conceitos abstratos mais concretos:

- “Entender melhor as primeiras etapas de uma obra. Grande parte das etapas realizadas eram abstratas para mim antes de experimentar o canteiro virtual” (Aluno 4);
- “Experimentar as etapas de um canteiro de obras de forma interativa” (Aluno 9);
- “A interação com um canteiro de obras, o passo a passo para realizar as etapas de uma obra. Além disso, acessar ferramentas e um conhecimento que muitas vezes estão distantes dos estudantes, mesmo em um curso de arquitetura” (Aluno 2);

b) realismo e imersão: a fidelidade dos materiais e a sensação de estar em um canteiro real foram elogiadas. Exemplos:

- “A didática do jogo, e tudo ser realista, com todas as etapas reais como se a gente estivesse na obra pessoalmente” (Aluno 1);
- “A completude da experiência me chamou muita atenção. O equilíbrio entre o exercício processual com a técnica que esteve presente na fidedignidade dos materiais e ferramentas com o condicionamento dos movimentos para a execução das tarefas” (Aluno 10);

c) facilidade de uso e instruções claras: a interface intuitiva e as instruções detalhadas contribuíram para uma experiência positiva. Exemplos:

- “É fácil de usar e as instruções são claras” (Aluno 7);
- “Facilidade e muito didático” (Aluno 3);
- “A maneira com que as instruções em conjunto com as mecânicas de uso fizeram com que fosse muito intuitivo a realização das tarefas!” (Aluno 6);

d) experiência didática e completa: a combinação entre teoria e prática foi valorizada, com destaque para o equilíbrio entre o processo construtivo e a técnica. Exemplo:

- “O fácil entendimento dos processos da construção” (Aluno 8).

Por outro lado, os alunos também apontaram áreas que poderiam ser melhoradas:

a) sintomas de *cybersickness*: o enjoo foi mencionado como um problema por alguns participantes:

- “Do canteiro não tenho críticas, mas o enjoo foi um problema” (Aluno 1);

b) questões do protótipo:

- “Colisão de objetos, muitos elementos ali não respeitavam os limites de superfície” (Aluno 9);

c) clareza nas instruções e funcionalidades: sugestões para melhorar a sinalização de certas ações, como localizar materiais, foram apresentadas:

- “Deixar mais aparente a sinalização para estender os materiais” (Aluno 7);
- “Acho que seria interessante adicionar uma pequena explicação sobre os materiais no menu” (Aluno 4);

d) problemas técnicos com o *headset*: foram apontados problemas de conexão do *headset* com o computador e os controles:

- “Alguns bugs possíveis de evitar, como emparelhamento de controles” (Aluno 1);
- “A conexão do óculos com os computadores, salvamento automático quando o programa cai” (Aluno 8).

Com base nas respostas (Apêndice B), foram implementadas diversas medidas para as próximas sessões, principalmente no que diz respeito à mitigação dos sintomas da *cybersickness*. Entre essas medidas estão a redução da duração das atividades iniciais, levando em consideração as particularidades de cada aluno, e a promoção de pausas regulares. Além disso, foram destacadas com maior clareza as vantagens do uso de técnicas de locomoção alternativas, como o

teletransporte e a rotação em incrementos, que contribuem significativamente para o conforto do usuário.

Outra medida foi a inclusão da opção de realizar as sessões sentado, o que pode desempenhar um papel importante na redução da *cybersickness*. Segundo Zielasko e Riecke (2024), a postura sentada proporciona maior conforto ergonômico e reduz a fadiga física, fatores que, aliados à estabilidade postural, minimizam os conflitos sensoriais e posturais. Esse benefício é alcançado pela ausência de movimentos físicos que estejam em desacordo com a percepção visual, promovendo maior coerência sensorial. Além disso, estar sentado confere uma sensação de segurança ao eliminar riscos de quedas e colisões no ambiente físico, ampliando a acessibilidade e melhorando a experiência do usuário em ambientes virtuais.

Durante a sessão também foi observado que os alunos não pareciam prestar atenção nos áudios e imagens do painel explicativo. Por isso, foi acrescentado um item no questionário posterior para averiguar essa questão.

Análise do Tutorial 2

A segunda sessão do tutorial abrangeu a execução de vigas, pilares e coberturas. Observou-se maior heterogeneidade no tempo de finalização das atividades: 20% dos alunos concluíram a tarefa em 1 sessão, 30% concluíram em 2 sessões e 50% concluíram em 3 sessões (Apêndice C).

Esse resultado indica um descompasso no ritmo da atividade, já que alguns estudantes demonstraram facilidade e terminaram rapidamente, ao passo que outros necessitaram de mais tempo para concluir as mesmas etapas.

O que pode ser observado durante as sessões é que alguns alunos realizavam as tarefas com tranquilidade, com movimentos ágeis e precisos, enquanto outros alunos apresentavam mais dificuldade em “pegar o jeito” e impaciência quando cometiam erros.

Durante essa fase, o trabalho em altura, com uso de andaimes automatizados e plataformas elevadas, chamou atenção. Esse ambiente, mais complexo e dinâmico, contribuiu para o surgimento de sintomas de *cybersickness* (*motion sickness*). Ao todo, 60% dos participantes (6 de 10 alunos) relataram enjoo em algum nível, sendo que três estudantes manifestaram uma ligação direta com o uso do andaime.

Um desses estudantes, no entanto, relatou adaptação ao longo do uso e desaparecimento do sintoma, sugerindo que a exposição gradual ao cenário virtual pode amenizar o desconforto.

Em relação aos materiais de apoio (áudios, fotos e diagramas), 100% dos alunos consideraram esses recursos positivos, contribuindo para a compreensão dos procedimentos construtivos. No entanto, houve relatos de que o excesso de informações visuais pode dificultar a atenção aos áudios.

Feedback dos alunos

Os alunos destacaram aspectos que gostaram, relacionados especialmente ao aprendizado, à didática e à imersão, bem como apontaram pontos que poderiam ser melhorados. A seguir, apresentam-se alguns dos exemplos positivos:

a) aprendizado prático e intuitivo:

- “A praticidade de aprender e a didática da matéria” (Aluno 1);
- “A forma prática e intuitiva de aprender as etapas da construção” (Aluno 6);
- “[...] a construção em etapas ajudou na compreensão das partes da obra e das nomenclaturas usuais em um canteiro real” (Aluno 7);
- “O contato com os processos estruturais de uma obra, e a possibilidade de estar dentro um projeto antes de ser construído” (Aluno 2);
- “Gostei da facilidade de manejo das coisas, saber como que constrói uma edificação” (Aluno 8);
- “Gostei da colocação de pilares e laje” (Aluno 9);

b) trabalho em diferentes planos:

- “Gostei de trabalhar em outros planos” (Aluno 10);

c) realidade virtual e imersão:

- “Aprender a usar a realidade virtual” (Aluno 5);
- “Experiência inédita em VR, muito bacana” (Aluno 8);

d) recursos multimídia e instruções claras:

- “Gostei muito da apresentação dos vídeos explicativos intercalados com a execução das tarefas” (Aluno 4);
- “As etapas do tutorial são muito bem descritas” (Aluno 7);

e) funcionalidades do protótipo:

- “A automatização de algumas ferramentas, como a instalação das ferragens, facilita o uso do canteiro. Gostei” (Aluno 7).

Em relação às sugestões de melhorias, apontam-se os seguintes exemplos:

a) controle e organização de materiais:

- “As bolsas que contêm os itens poderiam ser nomeadas para facilitar a localização” (Aluno 4);
- “As bolsas poderiam ter os nomes dos elementos” (Aluno 8);

b) manipulação de elementos construtivos:

- “Contato físico entre objetos poderia ser melhorado, alguns se atravessam” (Aluno 9);

c) ajustes nas instruções:

- “Nas partes explicativas, acredito que, por causa da quantidade de informações visuais, não prestei atenção o suficiente nos áudios informativos. Talvez a possibilidade de pausar ou repetir os áudios seja uma alternativa” (Aluno 7);
- “Tinham instruções que não entendia e tinha que ficar perguntando” (Aluno 8);

d) etapas de correção e erros:

- “A opção de refazer etapas caso hajam erros durante o processo” (Aluno 2).

Análise da terceira sessão

As sessões do terceiro tutorial focaram na realização da vedação em alvenaria e na criação de vãos. Observou-se que 60% dos alunos concluíram as atividades em 2 sessões, enquanto 40% necessitaram de 3 sessões, indicando um tempo de realização ligeiramente superior ao esperado para tarefas consideradas simples (Apêndice D).

Os alunos ressaltaram os pontos que mais gostaram dessa etapa:

a) aprendizado prático e intuitivo:

- “Compreendi melhor como se dá o assentamento dos blocos e a importância da disposição deles ao longo da parede” (Aluno 7);
- “A facilidade de aprender as etapas construtivas com dinâmicas e mecânicas intuitivas” (Aluno 6);
- “A facilidade do conteúdo de aprender e entender” (Aluno 1);
- “É de uma maneira rápida e fácil de entender as tecnologias construtivas” (Aluno 3);
- “Elucidação pedagógica” (Aluno 10);

b) progresso da obra:

- “Da construção em si, ver o projeto criado tomar forma” (Aluno 8);
- “Praticar etapas da obra não tão presentes ao longo do curso” (Aluno 9);
- “Entender que existem várias possibilidades diversas” (Aluno 5).

Apesar dos aspectos positivos, alguns alunos relataram dificuldades e problemas técnicos:

a) levantamento e argamassa:

- “Dificuldade de alinhamento dos blocos para assentamento de alvenaria” (Aluno 7);
- “A varinha mágica não preencheu toda a parede... não permitindo o levantamento completo” (Aluno 4);

- “Problemas envolvendo argamassa dos tijolos” (Aluno 9);
- “Dificuldade no depósito de argamassa” (Aluno 10);

b) conexão e hardware:

- “Problemas com a conexão do óculos com o PC, travamento do programa” (Aluno 8);
- “Óculos desconectando” (Aluno 10).

Sugestões de melhoria

Para otimizar a experiência, os alunos sugeriram:

a) ferramentas e funcionalidades:

- “A opção de desfazer ou refazer uma tarefa que possa ter sido feita de maneira errada. Como um ctrl z” (Aluno 2);
- “Possibilidade de escolher outros tipos de blocos com outras dimensões” (Aluno 7);
- “Acho que os tijolos podiam se juntar automaticamente quando você colocava ele perto da argamassa pois assim a construção ficaria menos torta” (Aluno 5);
- “Nomear os objetos nas bolsas para facilitar” (Aluno 4);
- “Questões de preenchimento da argamassa” (Aluno 9);
- “Aprimoramento do assentamento de tijolos” (Aluno 10);

b) estabilidade e salvamento:

- “Perdi quase uma hora de trabalho por desconexão do PC e não ter salvamento prévio” (Aluno 8).

Conclusões sobre a terceira sessão

Apesar da tentativa de agilizar o assentamento com a varinha mágica, o tempo total da atividade permaneceu elevado. Um fator que contribuiu significativamente foi a necessidade de repetir o processo de assentar duas fiadas

base (matriz) após o assentamento da verga e contraverga, tornando a tarefa mais trabalhosa e repetitiva. Como resultado, alguns alunos ficaram cansados ao final da atividade.

A aplicação da argamassa se apresentou como um dos principais desafios técnicos nesta sessão. Por se tratar de um material virtual que deve aderir simultaneamente a diversos elementos construtivos (blocos, vergas, contravergas, entre outros), o comportamento físico no ambiente Unity torna-se mais complexo. A plataforma de desenvolvimento, ao lidar com uma grande quantidade de objetos com física ativa (*prefabs* com componentes rígidos e colisionadores), tende a gerar inconsistências e conflitos entre elementos, dificultando a simulação fluida do assentamento. Esse excesso de entidades com física simultânea pode levar a instabilidades, como interpenetrações indesejadas, problemas de colisão e lentidão no processamento dos cálculos de física. Além disso, o equilíbrio entre realismo e desempenho exige um refinamento criterioso do código e das configurações físicas, de forma a estabilizar o comportamento da argamassa e garantir que o usuário tenha uma experiência mais estável, intuitiva e menos sujeita a falhas técnicas.

Em suma, embora esta sessão tenha proporcionado um aprendizado prático e maior compreensão das etapas de construção de alvenaria, os desafios técnicos, a necessidade de funcionalidades adicionais e a duração excessiva da tarefa indicam pontos a serem aprimorados em futuras iterações.

5.1.3 Desenvolvimento dos projetos

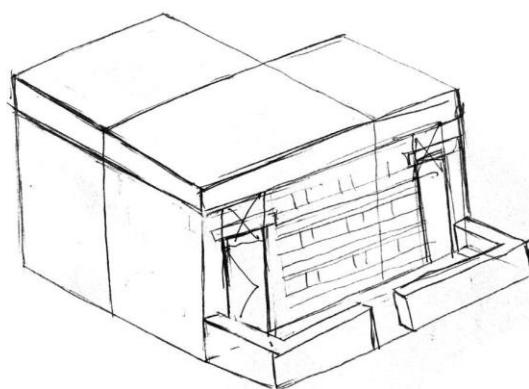
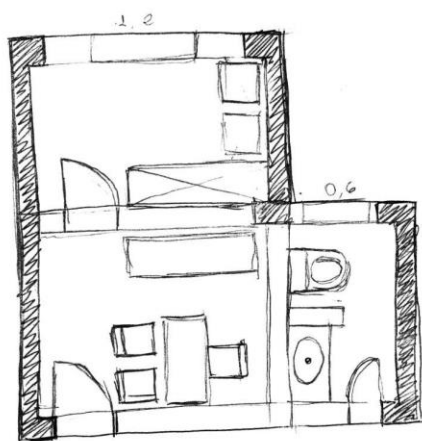
Após a conclusão dos tutoriais, foi proposto aos alunos o desafio de esboçar e construir, no ambiente virtual, um dispositivo arquitetônico de pequena escala (com área máxima de 30 m²), a ser utilizado como um centro de vacinação emergencial. Esse exercício ultrapassava a mera reprodução de etapas pré-definidas, exigindo a integração dos conhecimentos adquiridos, a aplicação de conceitos construtivos (incluindo modulação, dimensionamento, orientação solar e lógica executiva) e a tomada de decisões projetuais de forma autônoma.

A proposta do dispositivo incluía um programa mínimo: um espaço destinado ao atendimento, uma área de armazenamento de insumos e uma instalação sanitária. Os alunos foram orientados a planejar o dispositivo por meio de croquis e desenhos à mão durante a aula, já considerando os sistemas construtivos

aprendidos, as diretrizes e limitações apresentadas no protótipo ObRV. A dimensão do grid do terreno, as medidas dos elementos construtivos disponíveis e a lógica sequencial de etapas aplicadas nos tutoriais anteriores deveriam ser incorporadas no planejamento inicial. Esse processo se assemelhou a um ateliê de projeto: os estudantes apresentavam esboços, recebiam orientações e discutiam aspectos técnicos e arquitetônicos, tais como modulação da estrutura, dimensões de vãos, proteção contra insolação e concepção de áreas de transição (varandas, alpendres, beirais, etc.).

Durante as discussões, emergiram ideias e abordagens não contempladas diretamente nos tutoriais. Por exemplo, o aluno 3 optou por uma solução em alvenaria estrutural, dispensando pilares e vigas de concreto. Isso demandou paredes mais espessas e lajes armadas apoiadas diretamente sobre elas (Figura 118). O mesmo aluno considerou ainda a introdução de mobiliário integrado.

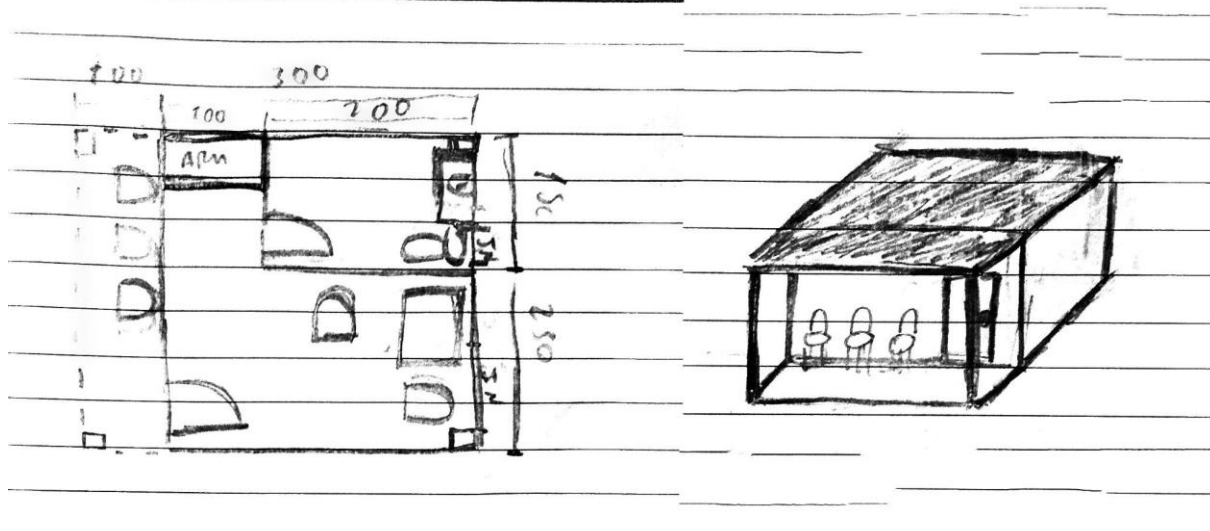
Figura 118 – Croquis de projeto do aluno 3



Fonte: Autor (2024).

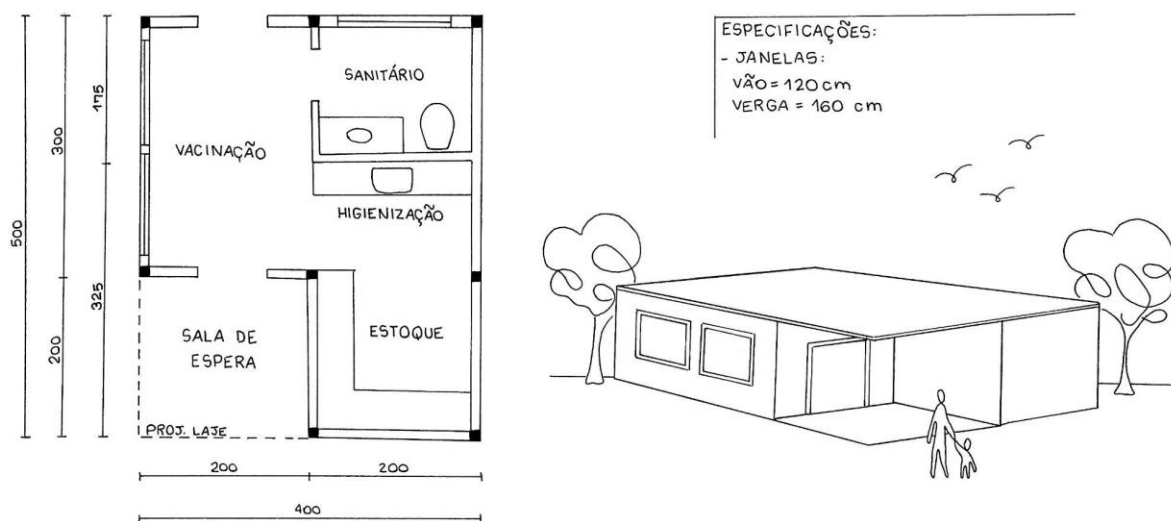
Os alunos 6, 4 e 5 introduziram elementos de transição espacial, como varandas ou pequenos alpendres, o que levantou o debate sobre o balanço estrutural e a viabilidade construtiva dessas soluções.

Figura 119 – Croquis de projeto do aluno 6



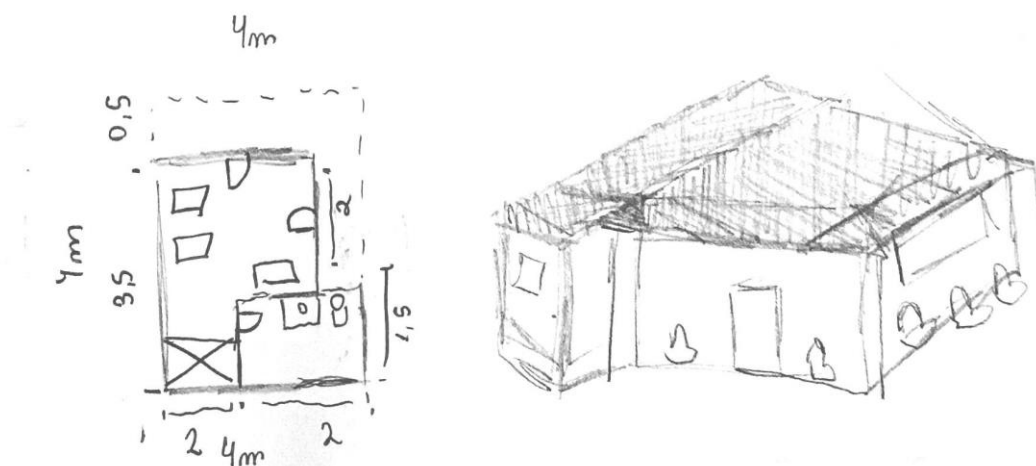
Fonte: Autor (2024).

Figura 120 – Croquis de projeto do aluno 4



Fonte: Autor (2024).

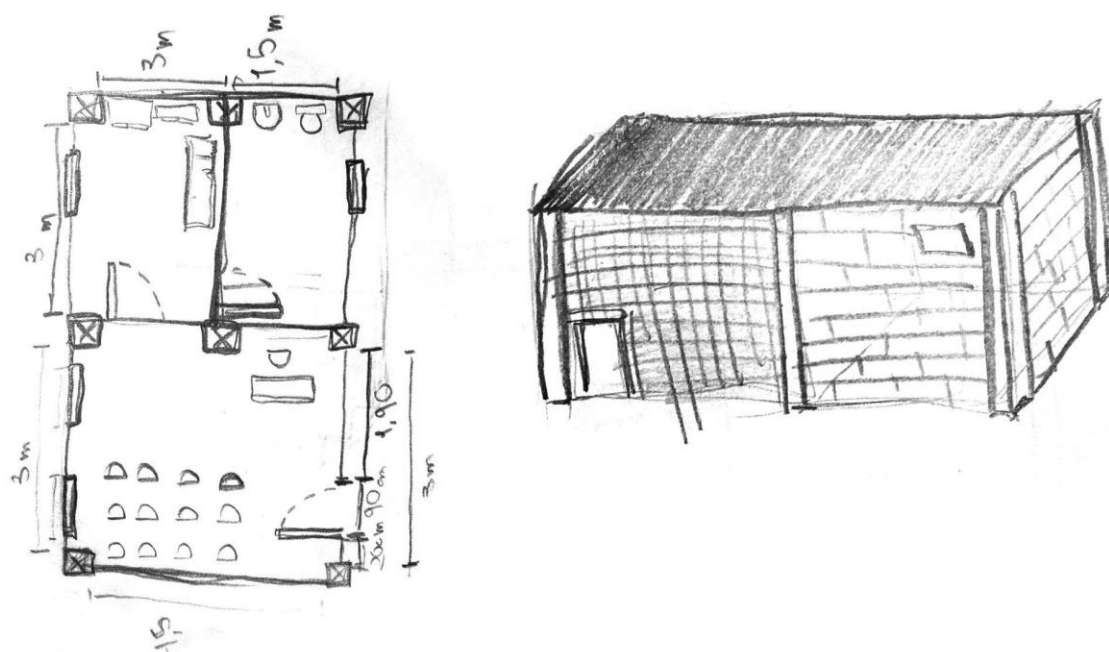
Figura 121 – Croquis de projeto do aluno 5



Fonte: Autor (2024).

O aluno 9 explorou a possibilidade de executar uma parede vazada por meio da estratégia de assentamento dos blocos.

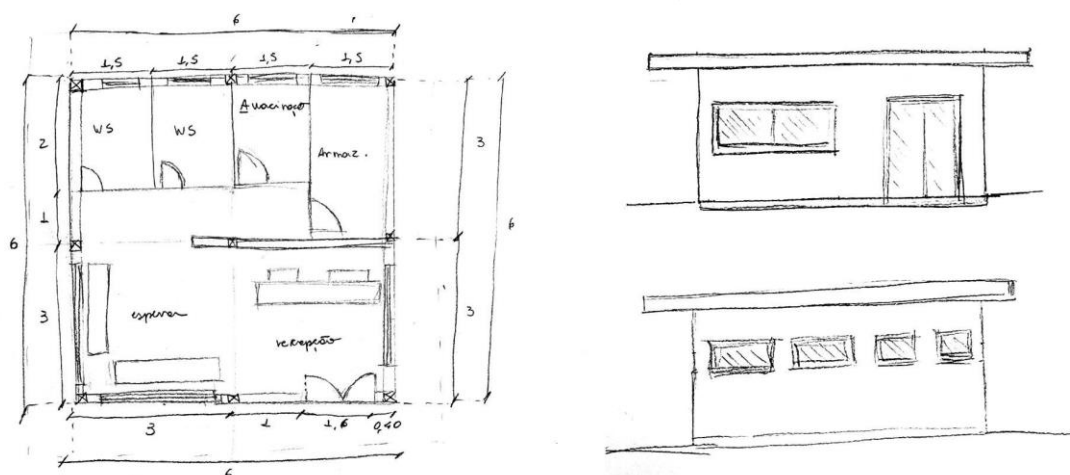
Figura 122 – Croquis de projeto do aluno 9



Fonte: Autor (2023).

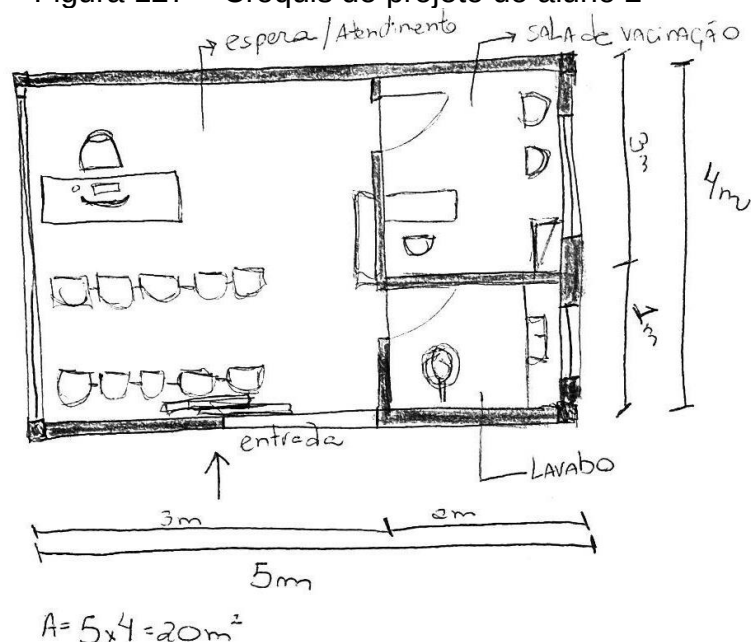
Já o aluno 10 propôs um dispositivo multifuncional, servindo tanto como abrigo de vacinação quanto como mobiliário urbano, assumindo a forma de uma arquibancada. Esse estudante também avançou na discussão da execução por meio de elementos pré-moldados de concreto e seu embutimento na alvenaria estrutural.

Figura 126 – Croquis de projeto do aluno 2



Fonte: Autor (2024).

Figura 127 – Croquis de projeto do aluno 2



Fonte: Autor (2024).

Os demais alunos (8, 7, 2, 1) também apresentaram propostas diversas. Observou-se que, enquanto alguns estudantes permaneceram presos à lógica construtiva dos tutoriais — caso dos alunos 7 e 1 — a maior parte buscou testar novas ideias, propor soluções espaciais e introduzir elementos arquitetônicos diferentes. O ambiente de ateliê, apoiado pelo professor, funcionou como um espaço de experimentação, onde o diálogo entre a proposta conceitual e a viabilidade construtiva resultou em um aprendizado dinâmico.

5.1.4 Construção no modo livre

Nesta etapa, os alunos estavam em “modo livre” de construção, sem as instruções lineares dos tutoriais, contando apenas com a experiência prévia e as referências conceituais aprendidas. Essa mudança aumentou a autonomia e aproximou a experiência de um canteiro de obras real, exigindo recordar etapas construtivas, gerenciar tempo e antecipar problemas.

O resultado foi um processo construtivo marcado por tentativas, acertos e erros, semelhante a um canteiro experimental, mas sem riscos físicos. Assim, os estudantes puderam experimentar soluções diversas.

Entre os aspectos mais valorizados, destacam-se a liberdade e a autonomia construtiva (Apêndice E):

- “A liberdade de fazer” (Aluno 6);
- “A minha liberdade de citar o que eu quisesse sem ter que seguir regras” (Aluno 5);
- “Poder dar forma àquilo que projetamos” (Aluno 2);
- “Os aspectos do modo livre que mais me agradaram foram a possibilidade de maior independência para execução de cada etapa do projeto e a facilidade de testar diferentes modos de execução do projeto” (Aluno 4);
- “[...] possibilitou uma liberdade maior de criação de novas formas” (Aluno 7);
- “Meu desenho sendo levantado” (Aluno 8);
- “A liberdade em explorar método construtivo de alvenaria estrutural” (Aluno 3);
- “O estado atual do projeto já permitir ser um pouco inventivo” (Aluno 9).

Já o aluno 10 destacou que a experiência de construir sua proposta no protótipo colocou “a obrigação de pensar construtivamente”.

A presença do instrutor (pesquisador) no ambiente de aula foi fundamental. Sem roteiros automáticos, os estudantes dependiam do raciocínio independente, da memória das etapas aprendidas e do auxílio pontual do professor para solucionar problemas inusitados ou esclarecer dúvidas. Aos poucos, eles desenvolveram

estratégias próprias, aprenderam a lidar com limitações técnicas e materiais virtuais, bem como a organizar o fluxo de construção.

Tempos de conclusão e duração das sessões

A finalização do projeto variou consideravelmente, refletindo as diferentes estratégias, a complexidade das propostas e o grau de familiaridade com as ferramentas:

- 40% dos alunos concluíram em 5 sessões;
- 40% em 6 sessões;
- 10% em 3 sessões;
- 10% em 4 sessões.

Esses percentuais refletem ritmos heterogêneos e a diversidade das soluções adotadas. Para facilitar a conclusão dentro do prazo, flexibilizaram-se os horários, com aulas mais longas e antecipação do início. O tempo efetivo de cada sessão foi ampliado:

- 10% dos alunos utilizaram sessões de 60 minutos;
- 20% utilizaram 1h15min;
- 30% utilizaram 1h30min;
- 10% utilizaram 1h45min;
- 20% utilizaram 2h;
- 10% chegaram a 2h30min.

Observou-se também uma redução no número de pausas, indicando maior concentração e envolvimento. O aumento da duração das sessões e a liberdade no ritmo de trabalho mostram que o modo livre exigiu não apenas conhecimento técnico, mas também gerenciamento de tempo e energia.

Adaptação e *cybersickness*

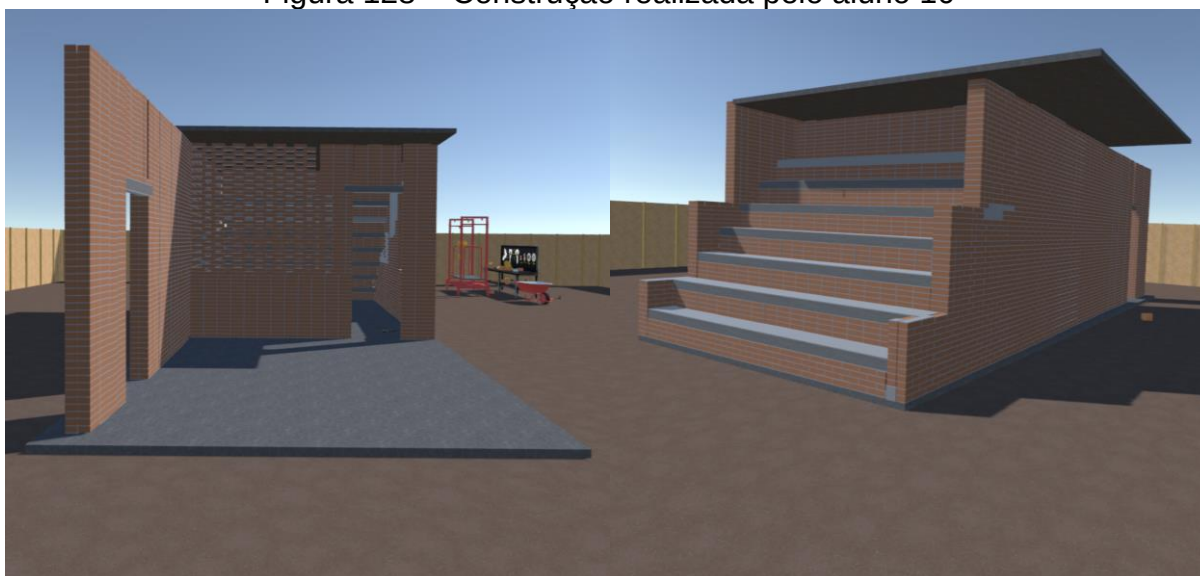
Apesar de 70% dos alunos relatarem sintomas de *cybersickness* (enjoo ou tontura), houve um atraso no aparecimento desses desconfortos em relação às

sessões anteriores. Antes, os sintomas surgiam após cerca de 20 minutos. Agora, com maior familiaridade, 40% dos alunos sentiram enjoo entre 40 e 60 minutos, e 10% após 60 minutos de uso. Essa adaptação indica que os estudantes estavam se habituando à dinâmica do espaço virtual e aprendendo a gerenciar melhor seus limites físicos durante a imersão.

Realização do projeto, ajustes durante a obra e validação

Quando perguntados se conseguiram construir no ambiente virtual o que haviam planejado em seus croquis, 80% responderam “Sim, parcialmente” e 20% responderam “Sim, totalmente”. A princípio, todas as propostas poderiam ser realizadas no protótipo. No entanto, foi necessário um ajuste adicional para a proposta do aluno 10 (Figura 128).

Figura 128 – Construção realizada pelo aluno 10



Fonte: Autor (2024).

A partir da discussão com o aluno sobre como construir o mobiliário urbano em forma de arquibancada, decidiu-se por lajes pré-moldadas, semelhantes às vergas, mas com dimensões adequadas ao uso como assentos. Entre as sessões, modelou-se uma nova laje pré-moldada disponibilizada no protótipo e uma variação da verga com o mesmo comportamento físico, passível de fixação por argamassa.

As dificuldades enfrentadas não estão necessariamente relacionadas a limitações do protótipo, mas sim ao entendimento das lógicas construtivas e à

sequência correta das etapas. Isso evidencia a importância do planejamento prévio e da integração entre procedimentos construtivos.

Por exemplo, o aluno 4 relatou:

“Não consegui construir a marquise, porque executei o procedimento de forma incorreta. Primeiro concretei a laje da cobertura e, com ela pronta, tentei construir a laje da marquise. Entretanto, como elas não se conectavam, não foi possível executá-la” (Aluno 4) (Figura 129).

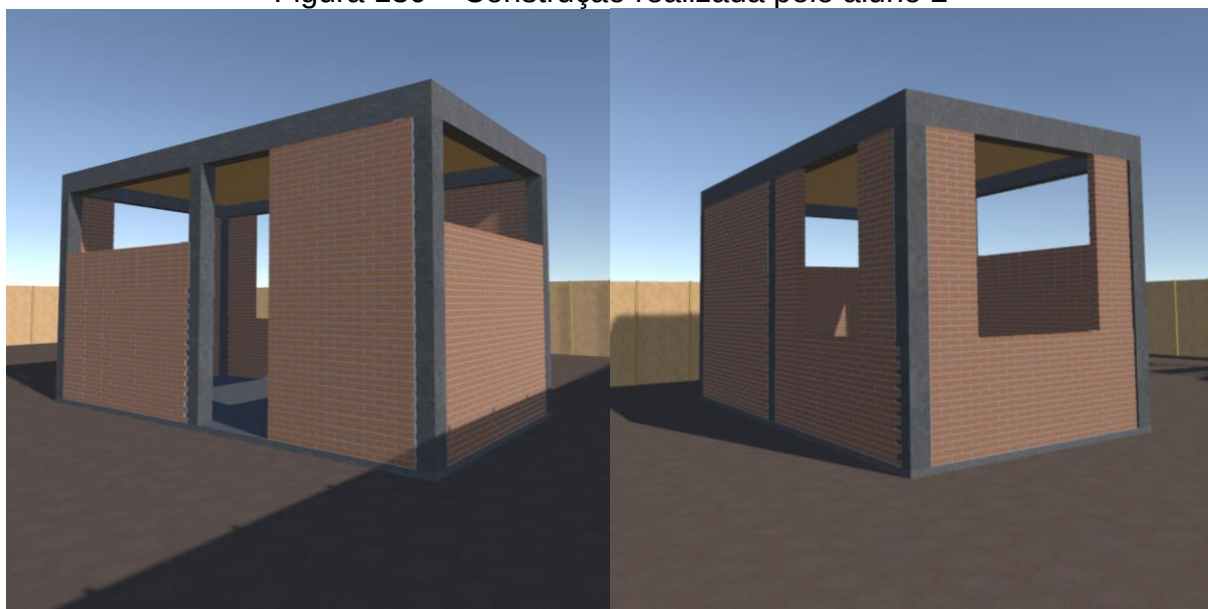
Figura 129 – Construção realizada pelo aluno 4



Fonte: Autor (2024).

Situação semelhante ocorreu com o aluno 2: “Não consegui construir a cobertura em balanço” (Figura 130). Já o aluno 8 mencionou: “Não consegui fazer o pergolado nem o cobogó em uma das paredes”. Esse aluno, contudo, não participou adequadamente da aula de orientação, saindo mais cedo, o que prejudicou a assistência no planejamento para execução desses elementos (Figura 131).

Figura 130 – Construção realizada pelo aluno 2



Fonte: Autor (2024).

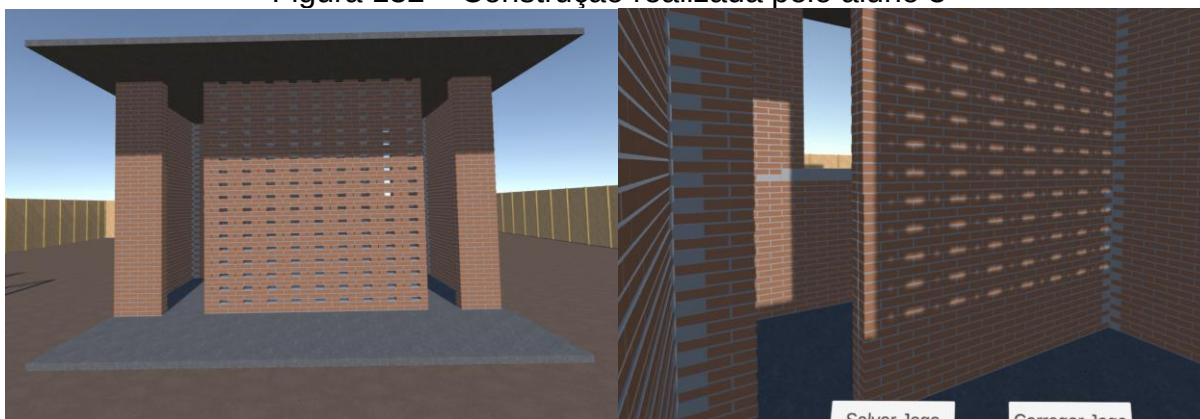
Figura 131 – Construção realizada pelo aluno 8



Fonte: Autor (2024).

O aluno 3, embora não tenha registrado queixa formal no questionário, manifestou certo desconforto durante a construção da alvenaria estrutural, devido à necessidade de paredes mais espessas e esforço adicional em relação ao tutorial, no qual as paredes eram mais simples (Figura 132).

Figura 132 – Construção realizada pelo aluno 3



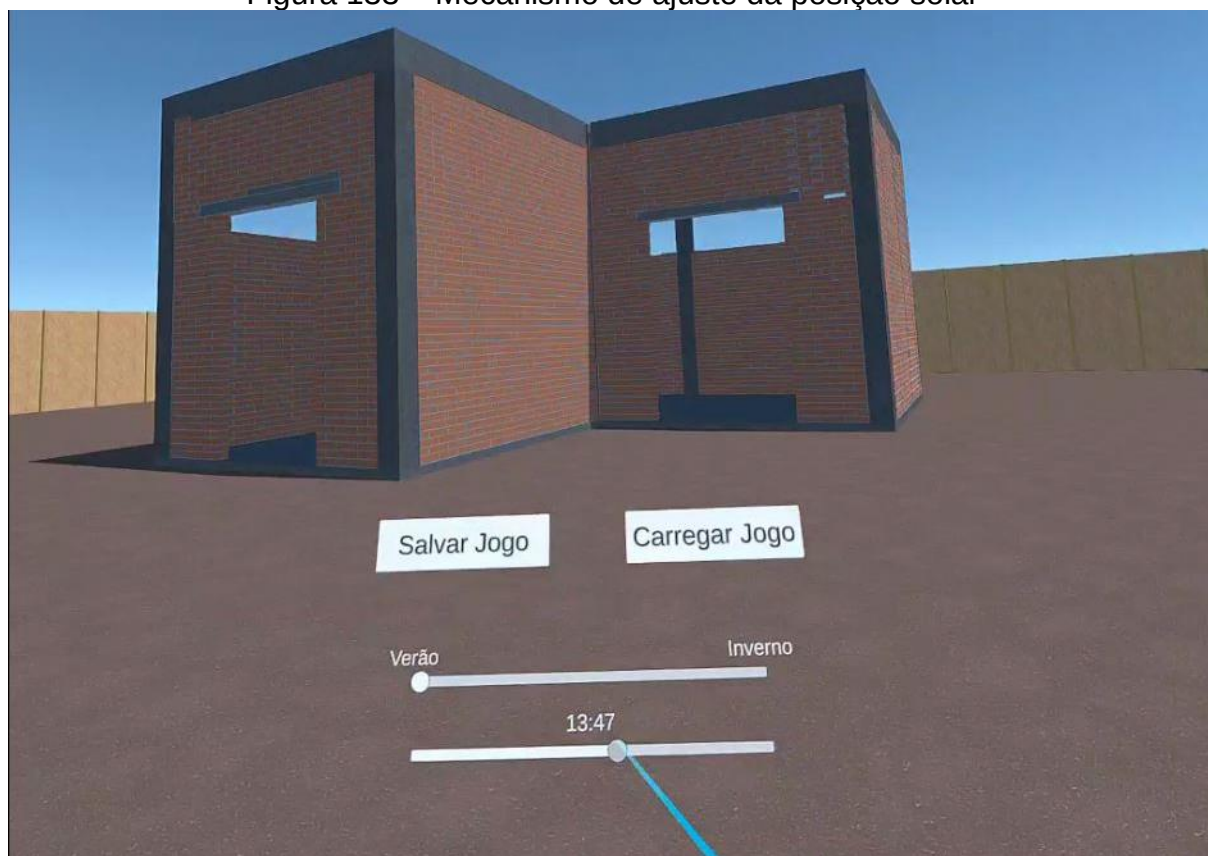
Fonte: Autor (2024).

Diante do prazo limitado previsto pela disciplina optativa e de questões práticas, os alunos desenvolveram um esboço de projeto. Ao avaliar os resultados das edificações construídas pelos alunos, constatou-se que, para a implementação de um canteiro virtual em um contexto oficial de ensino, seria importante ter mais tempo para aprofundar a discussão do projeto antes da etapa de construção. Assim, seria possível potencializar a criatividade e aprimorar o aprendizado da aplicação de soluções construtivas.

Mudanças durante a construção e mecanismo de validação

Uma inovação importante no modo livre foi a introdução da ferramenta de análise solar, que permitia ajustar a posição do sol no decorrer do dia e ter um controle de transição entre as estações, como verão e inverno, simulando as mudanças na inclinação do sol ao longo do ano (Figura 133). A funcionalidade incluía o uso da ferramenta de bússola para a identificação do norte, essencial para confirmar a orientação do projeto. Além disso, ao ilustrar na escala 1:1 o movimento do sol de maneira clara e interativa, a ferramenta incentivava os alunos a refletir sobre aspectos como conforto térmico, aproveitamento da iluminação natural e estratégias de proteção contra o sobreaquecimento.

Figura 133 – Mecanismo de ajuste da posição solar



Fonte: Autor (2024).

Quanto à tomada de decisões durante a execução no protótipo, alguns alunos optaram por eliminar vergas para agilizar a construção das alvenarias, resultando em vãos para esquadrias de piso a teto. Também houveram mudanças decorrentes da percepção espacial em escala real durante a obra.

O aluno 7 relatou:

“Altereí a posição da porta do depósito, fazendo de forma espelhada à do banheiro. Decidi mudar, pois imaginei que o mobiliário a ser instalado para a recepção poderia atrapalhar a circulação para o depósito. Percebi isso durante a construção após ter uma noção melhor do espaço real que existia na sala de espera” (Aluno 7) (Figura 134).

Figura 134 – Construção realizada pelo aluno 7



Fonte: Autor (2024).

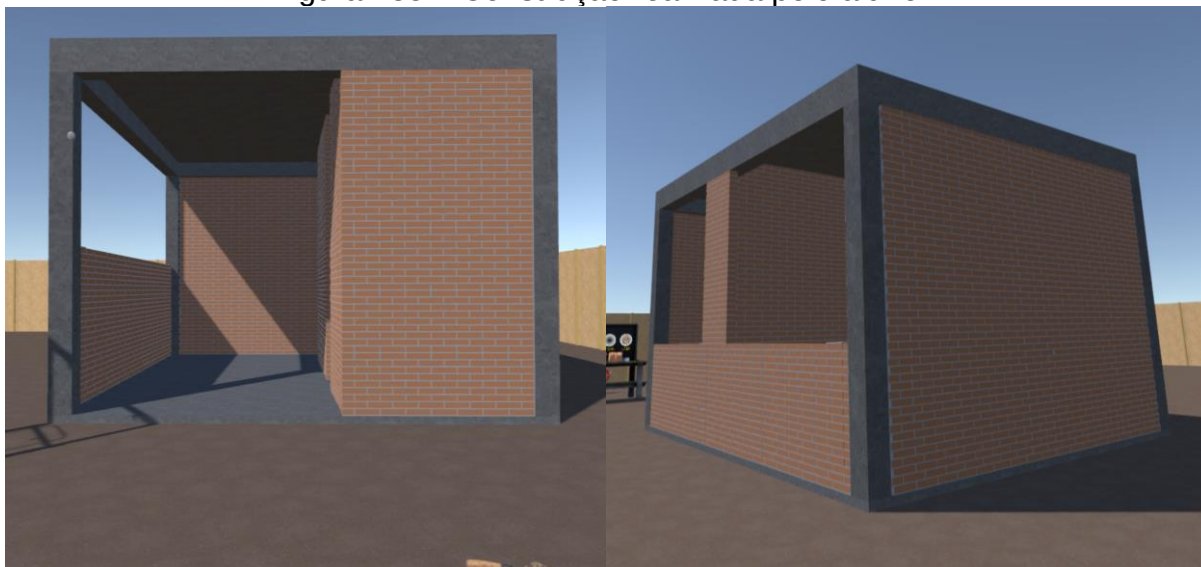
Como recurso para validação da edificação no aspecto da insolação, foi disponibilizado ao final da construção um mecanismo para visualizar a variação da projeção, que permite movimentar a posição do sol no espaço virtual, simulando sua movimentação ao longo do dia e do ano.

A análise solar levou a ajustes no projeto, conforme depoimentos:

“A projeção solar me fez perceber como o sol se comportaria na edificação, principalmente nos locais de permanência e nas estações mais quentes, e como isso afetaria o conforto do usuário. Isso fez com que eu mudasse as aberturas da construção” (Aluno 2).

“A projeção solar foi um estudo muito bom para entender como realmente estaria o conforto térmico na edificação. No meu projeto, o sol pegou mais na área de atendimento com cadeiras de espera, precisei aumentar a altura do peitoril da janela e pensar em possíveis soluções para um beiral” (Aluno 1) (Figura 135).

Figura 135 – Construção realizada pelo aluno 1



Fonte: Autor (2024).

Alguns alunos perceberam problemas mais amplos:

“Após as análises da projeção solar eu percebi que meu projeto teria sido melhor aproveitado em relação a luz natural se tivesse sido feito em outra orientação, pois do jeito que foi feito a luz solar não entrou em momento algum pelas aberturas feitas” (Aluno 6) (Figura 136).

“Teria que ter brise nas fachadas norte e oeste, mas a entrada estava a sul, então não teria tantos problemas” (Aluno 8).

“Inverteria a implantação da edificação, deixando a fachada cega para norte e a arquibancada a leste para receber o sol da manhã” (Aluno 10).

“As aberturas das janelas da sala de espera ficaram orientadas no sentido leste/oeste. Apesar de facilitar a ventilação cruzada, acredito que a abertura direcionada a oeste poderia gerar problemas de conforto térmico ao permitir a grande entrada de radiação solar no período da tarde (maior acúmulo de calor). Já as aberturas do depósito e do banheiro ficaram voltadas para o sul, que apresenta pouca incidência solar ao longo do ano. Além disso, elas são aberturas pequenas devido ao tamanho reduzido desses ambientes. Então, acredito que não seriam suficientes para gerar uma boa iluminação natural para esses locais” (Aluno 7).

Figura 136 – Construção realizada pelo aluno 6



Fonte: Autor (2024).

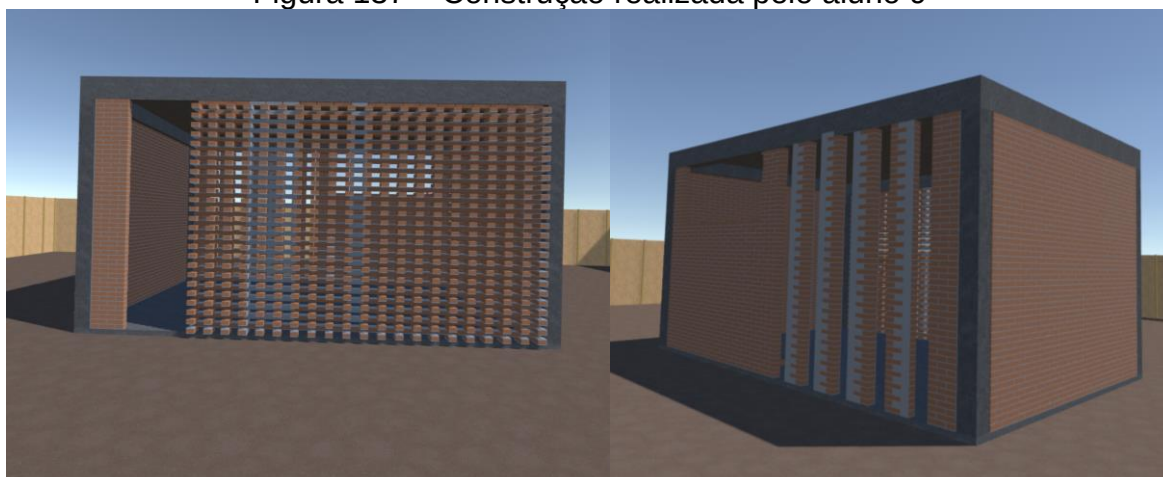
Em contrapartida, alguns alunos avaliaram positivamente a análise da projeção solar:

“A partir da análise solar, verifiquei que a construção ficou bem orientada de forma que sua fachada principal recebe apenas o sol da manhã. A fachada que recebeu insolação direta do sol poente não possui janelas, contribuindo para a proteção do ambiente interno e para o controle de sua temperatura” (Aluno 4).

“O resultado foi bastante satisfatório, pois o projeto terminou de forma a proteger da luz solar na fachada oeste e utilizar na fachada leste” (Aluno 3).

“Ao final eu gostei muito do resultado, pois as aberturas permitiam entrada de luz, mas não do sol” (Aluno 9).

Figura 137 – Construção realizada pelo aluno 9

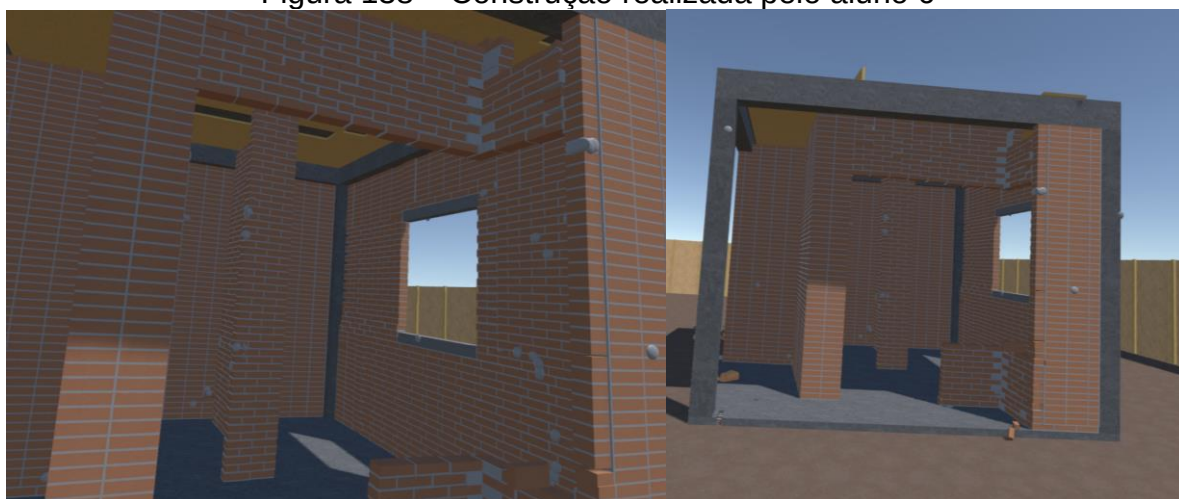


Fonte: Autor (2024).

Ao serem questionados sobre o interesse em outras ferramentas de validação, os alunos 4 e 9 mencionaram a análise de ventilação, e o aluno 7 citou a análise estrutural. Os demais não manifestaram necessidade de ferramentas adicionais.

Entre os problemas técnicos encontrados, destacaram-se desconexões eventuais do *headset* com o computador (alunos 4 e 7) e instabilidades no sistema de construção de alvenaria, como dificuldade na aplicação da argamassa (alunos 6, 9 e 10) e problemas para partir tijolos (aluno 5).

Figura 138 – Construção realizada pelo aluno 6



Fonte: Autor (2024).

5.1.5 Tutorial extra: vedação em *steel frame*

Durante o desenvolvimento da disciplina, constatou-se que seria enriquecedor para a experiência dos alunos abordar uma técnica de vedação alternativa à alvenaria. Por isso, desenvolveu-se, paralelamente às atividades, um tutorial de vedação em *steel frame*.

Ao concluir o projeto, o aluno já poderia realizar o tutorial, seguindo o passo a passo descrito na seção 4. Devido à própria natureza do *steel frame* — com montantes metálicos, manta de isolamento e placas cimentícias — o sistema de vedação a seco se mostrou mais eficiente. A modularidade do sistema reduziu os conflitos físicos entre componentes, tornando a execução mais fluida e rápida. Como resultado, 60% dos alunos finalizaram a vedação em 30 minutos e 40% em até 15 minutos. Em comparação, na alvenaria, 60% levaram cerca de 100 minutos (duas sessões) e 40% precisaram de aproximadamente 150 minutos (três sessões).

Avaliação pelos alunos

No questionário (Apêndice F), os alunos destacaram a agilidade e o dinamismo do tutorial:

- “Gostei das marcações indicativas que facilitavam o posicionamento das peças na montagem da estrutura” (Aluno 4);
- “Gostei do tutorial como um todo, porque ele mostra a maior facilidade de instalação desse tipo de vedação em relação ao uso dos tijolos cerâmicos” (Aluno 7);
- “Praticidade e agilidade de construção” (Aluno 8);
- “Extremamente rápido e fácil de entender” (Aluno 3);
- “A clareza com que as etapas da construção foram apresentadas” (Aluno 6);
- “A rapidez na execução” (Aluno 5);
- “Conhecer como é realizado o processo de construção de steel frame na prática, que eu não conhecia” (Aluno 2);
- “Como ele é prático e rápido” (Aluno 9);
- “A agilidade construtiva” (Aluno 10).

Comparação entre *steel frame* e alvenaria

Ao comparar a experiência com *steel frame* e alvenaria, os alunos ressaltaram a agilidade, a precisão e a limpeza do processo:

- “O processo construtivo em steel frame permite a execução mais rápida do projeto se comparada à alvenaria, que exige mais etapas. Além disso, acredito que o steel frame reduz a quantidade de erros comuns na alvenaria (tijolos mal assentados, paredes com espaços não preenchidos)” (Aluno 4);
- “Steel frame é muito mais prático, não fiz bagunça no canteiro” (Aluno 8);
- “O procedimento com vedação na alvenaria é bem longo e demorado, com maior gasto de materiais. Já o steel frame é mais dinâmico por envolver montagem de módulos pré-fabricados” (Aluno 1);
- “O steel frame é mais rápido e exato nas dimensões, enquanto a alvenaria permite maior liberdade” (Aluno 3);

- “O processo de construção do steel frame foi mais simples e direto, aumentando a velocidade de conclusão do tutorial e gerando um resultado muito satisfatório. Já a alvenaria, embora também tenha resultado satisfatório, mostrou-se mais complexa” (Aluno 6);
- “Um processo mais ágil e limpo, demandando menos ferramentas” (Aluno 10).

Por outro lado, alguns alunos apontaram menor flexibilidade no *steel frame*:

- “O steel frame é mais engessado, ao contrário da alvenaria” (Aluno 5);
- “Um oferece maior manualidade, seja isso bom ou ruim, enquanto o outro exemplifica a economia de tempo que o processo oferece” (Aluno 9);
- “O steel frame parece mais simples e rápido” (Aluno 2).

Um aluno destacou o aprofundamento de conhecimento proporcionado:

- “Apesar de já ter um conhecimento básico sobre o steel frame, ainda não tinha clareza sobre a instalação dos perfis, principalmente onde são usados os perfis duplos e como ficaria a estrutura em portas e janelas. O tutorial ajudou a entender melhor esses aspectos” (Aluno 7).

Após a conclusão do tutorial de *steel frame* a disciplina foi encerrada e foram aplicados os questionários finais (Apêndice G). A liberdade do modo livre foi elogiada, assim como a sensação de maior realismo e imersão proporcionada pela ausência de tutoriais prescritivos. Entretanto, a ausência de certas funcionalidades e a complexidade técnica apontam para a necessidade de um aperfeiçoamento do protótipo, de forma a tornar o processo construtivo mais fluido, intuitivo e robusto em termos de simulação física e estabilidade.

O plano inicial da pesquisa era finalizar o desenvolvimento do protótipo junto com a disciplina. No entanto, o processo da disciplina evidenciou a importância de contemplar de forma mais ampla o sistema construtivo a seco, além disso, as características de sistema industrializado e a lógica construtiva de montagem possibilitaram um desenvolvimento mais ágil que o sistema convencional de alvenaria.

Portanto, decidiu-se prosseguir um pouco mais com o desenvolvimento do protótipo para incluir o *steel frame* de forma mais ampla e tentar realizar novas sessões com os alunos que aceitassem participar como voluntários.

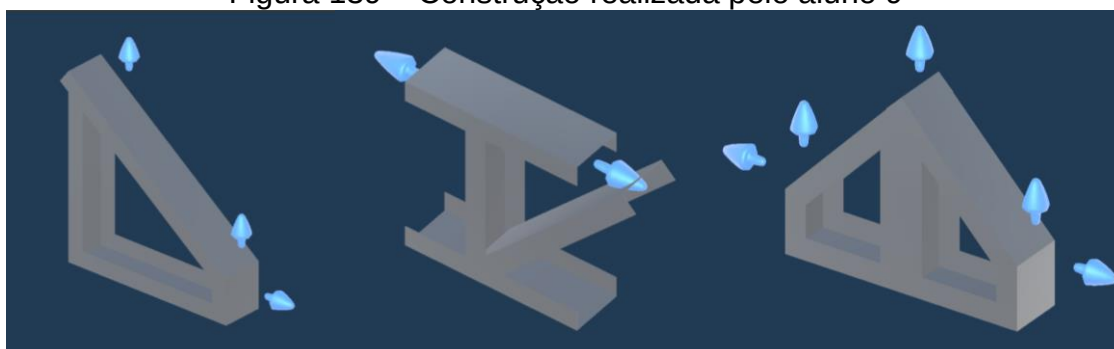
5.2 Aprimoramento do protótipo ObRV

5.2.1 Melhorias e desenvolvimento do sistema *steel frame*

A implementação das melhorias no protótipo ObRV enfrentou restrições temporais, o que direcionou o foco para intervenções mais relevantes e viáveis dentro do prazo estabelecido. A principal prioridade foi o desenvolvimento do sistema em *steel frame*, mas também se incorporou um novo tipo de fundação, a laje radier. Essa solução superficial, amplamente utilizada em edificações de pequeno porte em terrenos planos, mostra-se adequada para o *steel frame*, pois distribui uniformemente as cargas no solo, reduzindo a necessidade de fundações profundas. Assim, o processo construtivo torna-se mais rápido e econômico, além de proporcionar maior estabilidade à edificação e minimizar o risco de recalques diferenciais. A laje radier integra-se bem ao sistema modular do *steel frame*, facilitando a conexão entre os elementos estruturais e a base.

Em decorrência dessa opção, criou-se um novo procedimento construtivo no protótipo, a partir do desenvolvimento de uma variação pré-fabricada da fôrma de madeirite para execução da laje radier (Figura 139). Após essa etapa, as fases de impermeabilização do solo, montagem das armaduras e concretagem mantiveram-se semelhantes àsquelas realizadas no contrapiso, proporcionando familiaridade ao usuário e agilidade na execução.

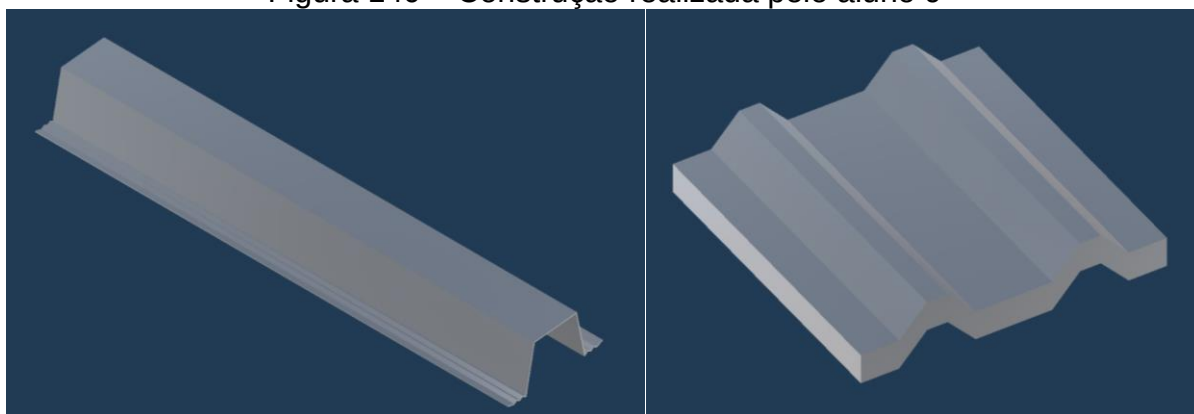
Figura 139 – Construção realizada pelo aluno 9



Fonte: Autor (2024)

No que diz respeito ao *steel frame*, além dos painéis de vedação já parcialmente desenvolvidos, foram introduzidos elementos estruturais leves para a cobertura, tais como a viga treliçada, a tesoura e a meia-tesoura. A viga, com altura fixa, pode ter seu comprimento ajustado pelo usuário, enquanto as tesouras admitem variações tanto de comprimento quanto de altura, expandindo as possibilidades de adaptação do projeto ao terreno e às necessidades do usuário.

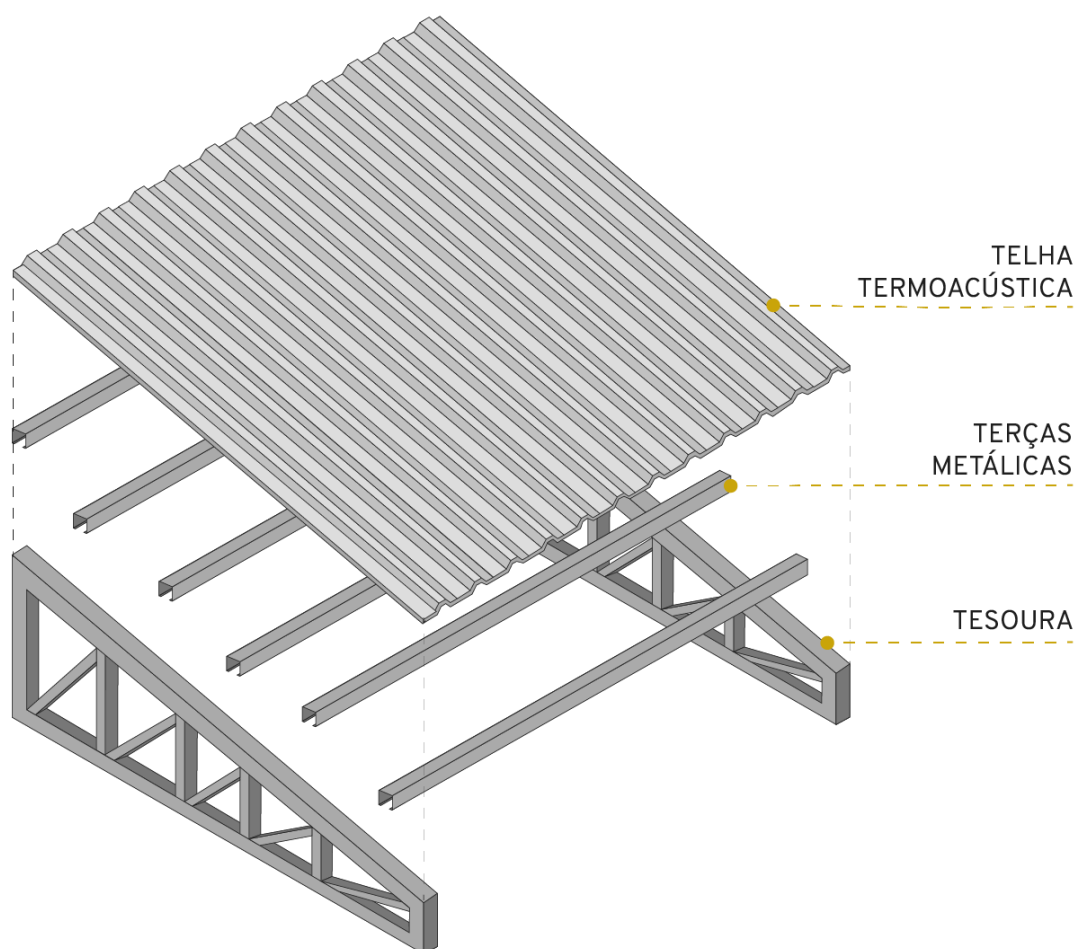
Figura 140 – Construção realizada pelo aluno 9



Fonte: Autor (2024).

Para a cobertura, passaram a ser disponibilizados perfis específicos de telhado, bem como a telha sanduíche para a proteção final. A instalação desses componentes ocorre da seguinte forma: ao posicionar mais de uma tesoura paralelamente, cria-se um plano invisível que, ao receber o material dos perfis e da tesoura, reorganiza automaticamente os elementos.

Figura 141 – Diagrama ilustrativo de montagem de cobertura



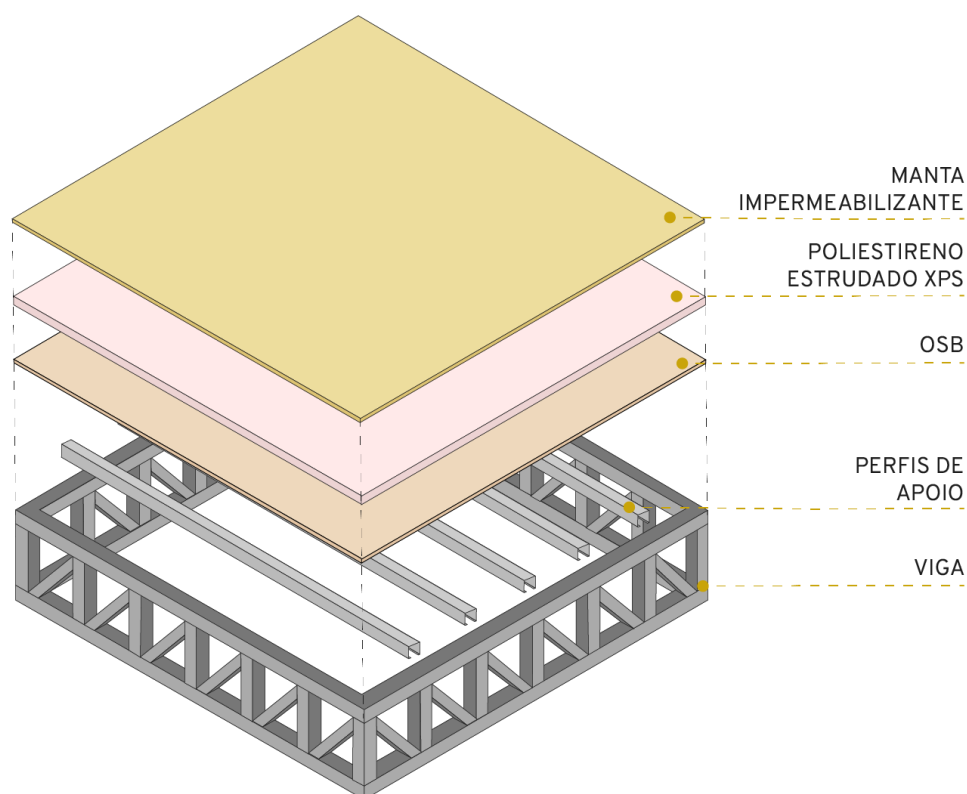
Fonte: Autor (2024).

Outra inovação foi o desenvolvimento da “laje seca”, indicada quando se utilizam vigas em substituição às tesouras na estrutura do sistema. O processo construtivo da laje seca no protótipo segue um protocolo em camadas, descrito a seguir e ilustrado no diagrama abaixo (Figura 142):

- 1. Perfis de apoio e vigas:** base estrutural composta por perfis metálicos que sustentam as demais camadas e transferem as cargas para a estrutura principal, garantindo estabilidade;
- 2. OSB (*Oriented Strand Board*):** camada rígida de painéis prensados, que serve de suporte para o isolamento térmico e acústico, proporcionando rigidez ao conjunto;
- 3. Poliestireno estruturado (XPS):** material leve, de alta resistência à compressão, utilizado para isolamento térmico e acústico, além de contribuir para a distribuição uniforme das cargas;

- 4. Manta impermeabilizante:** camada superior que protege a laje contra infiltrações e umidade, aumentando a durabilidade do sistema.

Figura 142 – Diagrama ilustrativo de montagem de laje seca



Fonte: Autor (2024).

Essa sequência assegura leveza, resistência e eficiência térmica-acústica à laje seca, tornando-a uma solução rápida, limpa e compatível com o *steel frame*. Para complementar a infraestrutura básica do sistema, foi incorporada a possibilidade de instalar forro abaixo da estrutura principal, empregando chapas de gesso, o que aumenta a flexibilidade do protótipo em termos de acabamentos internos.

Além dessas inovações construtivas, também foram implementadas melhorias de usabilidade solicitadas pelos alunos. Dentre elas, destaca-se a reformulação das “bolsas de materiais”, que passaram a apresentar não apenas o ícone, mas também o nome do item, facilitando a identificação durante a montagem e reduzindo enganos.

Outra funcionalidade relevante adicionada ao sistema foi o recurso de “ativar o fluxo de vento”. Essa ferramenta de validação da edificação, desenvolvida no Unity por meio do sistema interno de partículas, representa graficamente a direção e o

movimento do vento predominante em Belo Horizonte, proveniente do leste. Assim, o usuário obtém maior clareza quanto ao comportamento dos fluxos de ar, podendo antecipar soluções de ventilação natural no projeto.

5.2.2 Segunda iteração de testes com voluntários e refinamentos do protótipo

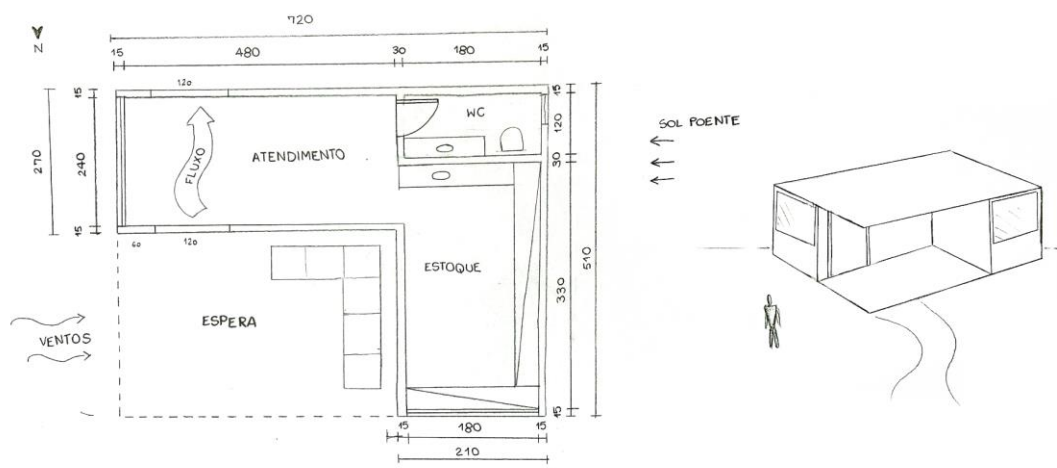
Após a conclusão das melhorias — um processo que levou cerca de 2 meses — os alunos participantes da primeira etapa do experimento foram novamente contatados para uma segunda rodada de testes, configurando assim uma nova iteração de avaliação. Nesse contexto, 5 alunos tiveram disponibilidade para atuar como voluntários. Em função do período de férias e da disponibilidade restrita, foram programadas até no máximo 4 sessões.

Na primeira sessão dessa segunda fase, as novidades do protótipo foram apresentadas por meio de uma demonstração com o dispositivo Quest, espelhando a imagem em uma tela para que todos pudessem acompanhar simultaneamente. Em seguida, iniciou-se novamente o exercício de concepção: o desenvolvimento de um esboço de projeto de um dispositivo arquitetônico com um programa de abrigo emergencial de vacinação, permitindo avaliar o impacto das melhorias.

De modo geral, os esboços de projeto mantiveram certa semelhança na setorização interna, mas passaram a evidenciar um cuidado maior com iluminação e ventilação já na etapa inicial de concepção. Esse resultado sugere um aprendizado derivado da experiência anterior, na qual a possibilidade de validar as soluções por meio da simulação de projeção solar influenciou positivamente o processo projetual.

No caso do aluno 4, seus croquis (Figura 143) sinalizam explicitamente o “sol poente” em uma das fachadas mais críticas do ponto de vista de insolação, bem como a direção predominante do vento em Belo Horizonte. Apesar da composição de planta ser semelhante à realizada anteriormente, o aluno 4 alterou levemente o layout e ampliou a área coberta da varanda, executando agora a estratégia projetual que não foi possível na etapa anterior, devido a erros na ordem de execução da concretagem da laje e na preparação do balanço.

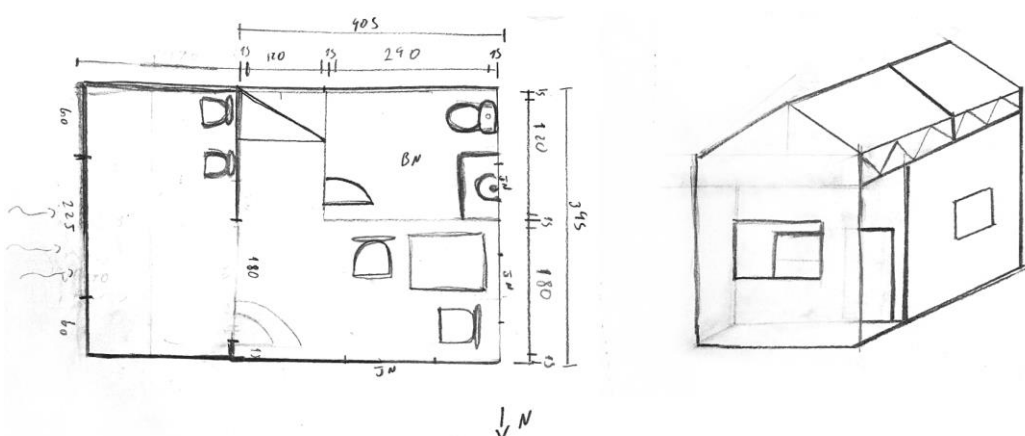
Figura 143 – Croquis de projeto do aluno 4



Fonte: Autor (2024).

O aluno 6 manteve um partido semelhante ao da primeira experiência, porém optou por criar um plano de proteção na varanda, que funciona como uma moldura para a paisagem, com acessos livres pelas laterais. Adicionalmente, recorreu ao uso de um telhado de duas águas construído com as tesouras de *steel frame* (Figura 144).

Figura 144 – Croquis de projeto aluno 6

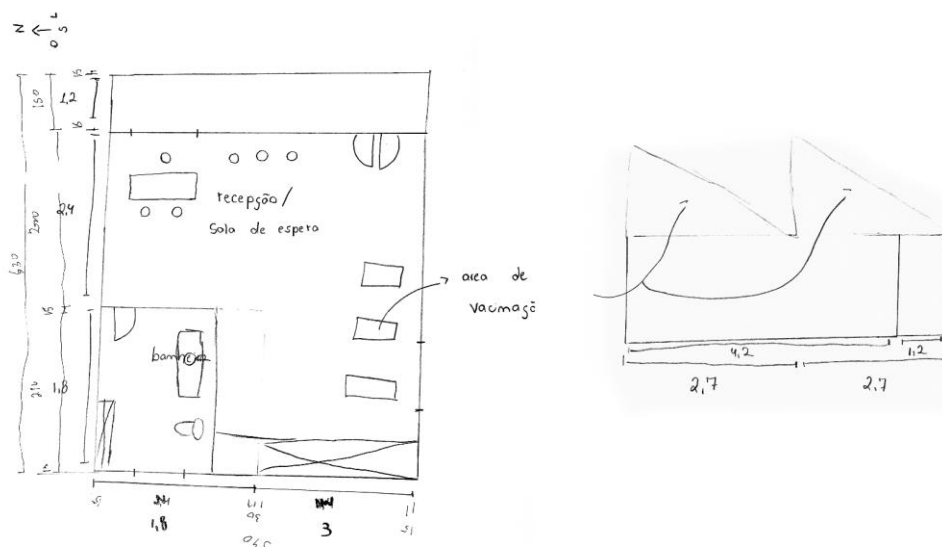


Fonte: Autor (2024).

O aluno 5, por sua vez, modificou a posição da instalação sanitária levando em conta a insolação e propôs um telhado com *sheds* para favorecer o “efeito chaminé” (Figura 145). Esse fenômeno se refere ao movimento ascendente do ar quente no interior da edificação, que escapa por aberturas elevadas, enquanto o ar

mais fresco entra por aberturas inferiores, proporcionando uma ventilação natural mais eficiente.

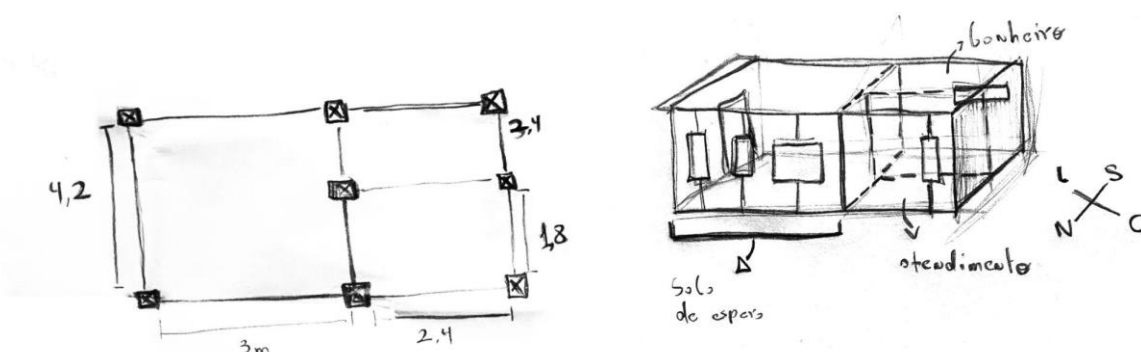
Figura 145 – Croquis de projeto do aluno 5



Fonte: Autor (2024).

O aluno 9 manteve uma concepção espacial semelhante, porém também inverteu a posição da instalação sanitária, demonstrando sensibilidade às condicionantes ambientais (Figura 146).

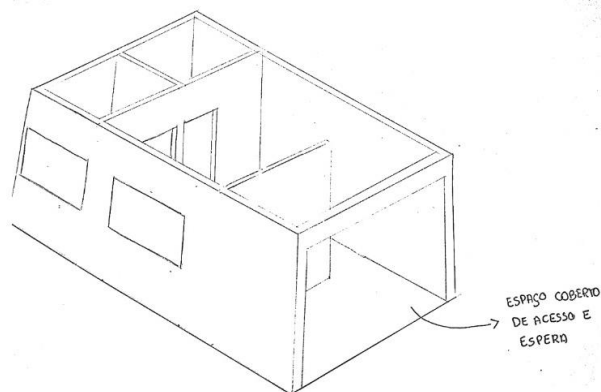
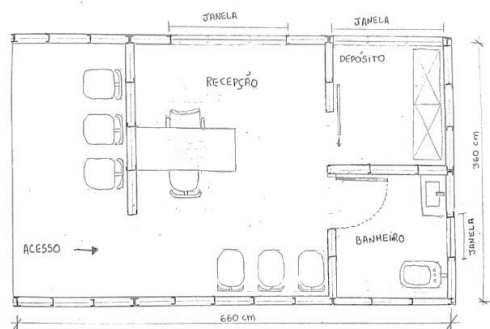
Figura 146 – Croquis de projeto do aluno 9



Fonte: Aluno (2024).

O aluno 7 manteve o layout interno anterior com o acréscimo de uma varanda coberta para acolhimento no acesso do edifício:

Figura 147 – Croquis de projeto do aluno 7

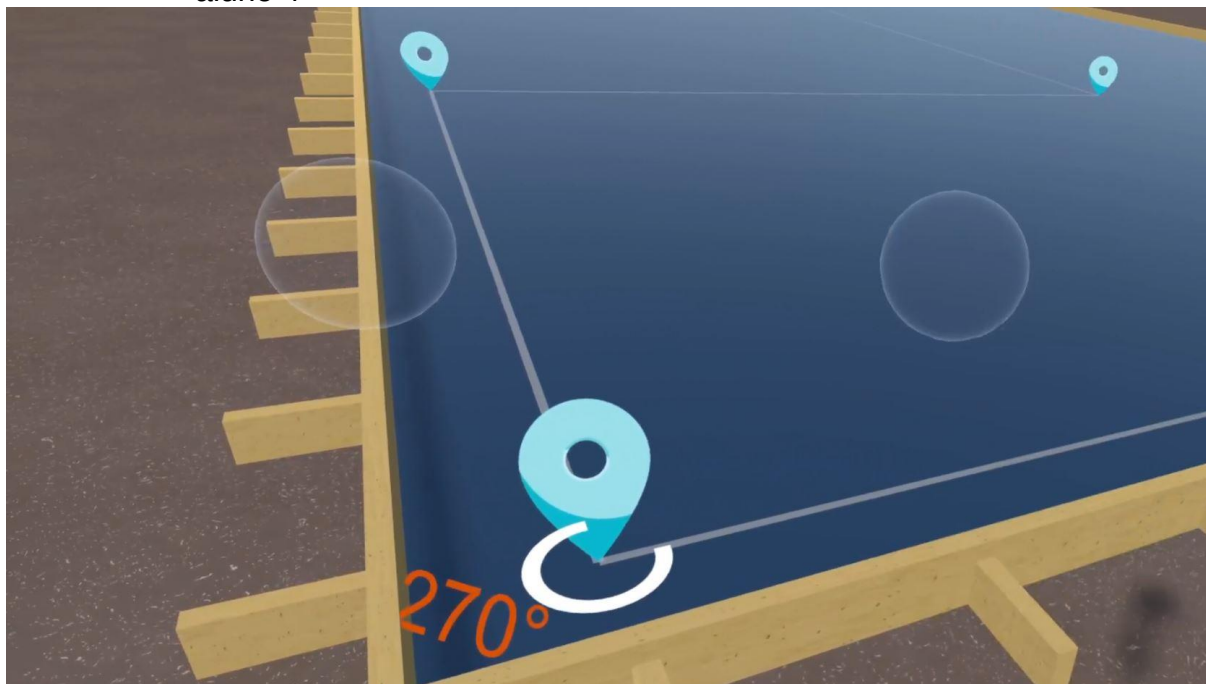


Fonte: Autor (2024).

A construção das edificações no protótipo com o *steel frame* nesta segunda iteração foi mais fluida. Observou-se, ainda, uma redução de erros quanto à ordem das etapas construtivas. Embora as estruturas de perfis tenham ficado mais complexas, o processo de montagem transcorreu de forma mais contínua, com menos interrupções e melhor distribuição de tempo entre as etapas. Enquanto, na construção anterior, a maior parte dos alunos levou entre 5 e 6 sessões, desta vez, as edificações foram concluídas em 3 ou até 2 sessões, evidenciando a eficácia das melhorias implementadas.

Alguns procedimentos foram facilitados, como as fundações com laje radier (Figura 148), agilizando o início da construção. Por outro lado, a montagem da estrutura tornou-se mais complexa do ponto de vista espacial, resultando em configurações mais elaboradas. Os alunos também foram instruídos a posicionar inicialmente montantes de quina e a conferir a modulação com a trena, a fim de evitar retrabalhos após a conclusão das paredes (Figura 149).

Figura 148 – Processo de construção da laje radier com madeirite montado pelo aluno 4



Fonte: Autor (2024).

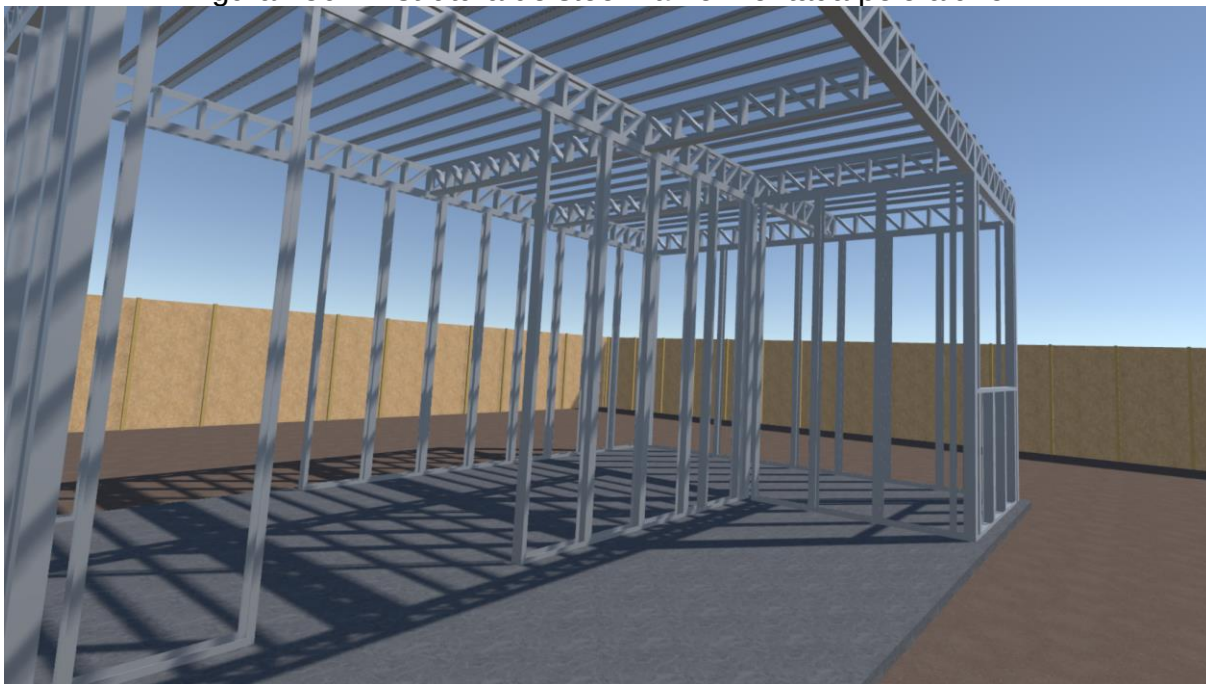
Figura 149 – Montantes de quina posicionados pelo aluno 6



Fonte: Autor (2024).

No caso do aluno 4, a correta modulação da estrutura, incluindo distâncias entre vigas e alinhamentos, precisou ser bem planejada na etapa de esboço para viabilizar a varanda coberta (Figura 150).

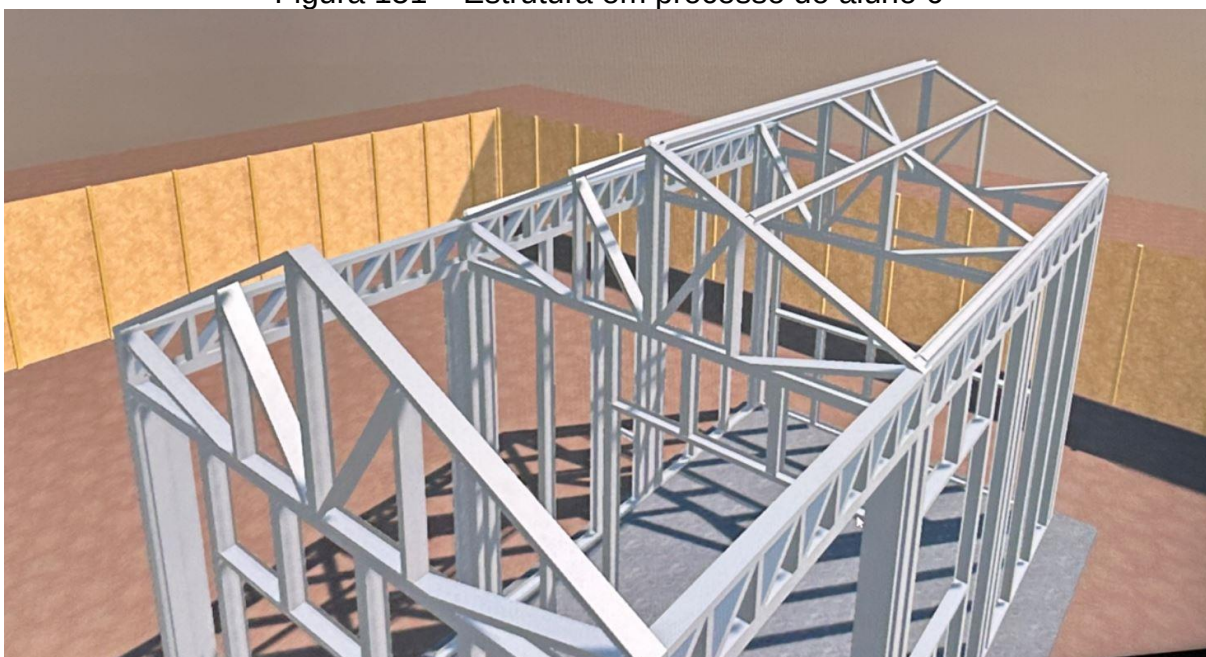
Figura 150 – Estrutura de *steel frame* montada pelo aluno 4



Fonte: Autor (2024).

O aluno 6 construiu uma estrutura que articulou vigas treliçadas com tesouras, resultando em um travamento eficiente da estrutura e na criação do telhado de duas águas (Figura 151).

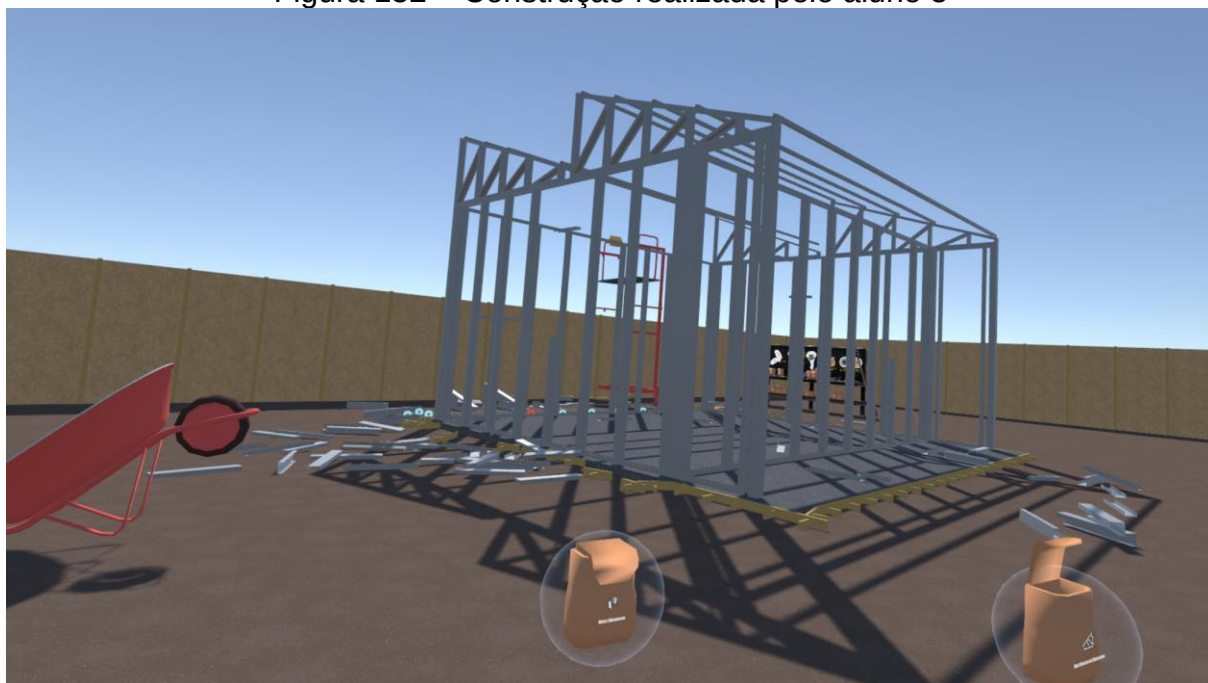
Figura 151 – Estrutura em processo do aluno 6



Fonte: Aluno (2024).

O aluno 5 apresentou uma modulação mais simplificada, porém obteve um resultado espacial do teto mais singular, explorando as inclinações causadas pelo uso da meia-tesoura para criar vãos de teto, favorecendo iluminação e ventilação para os *sheds* (Figura 152).

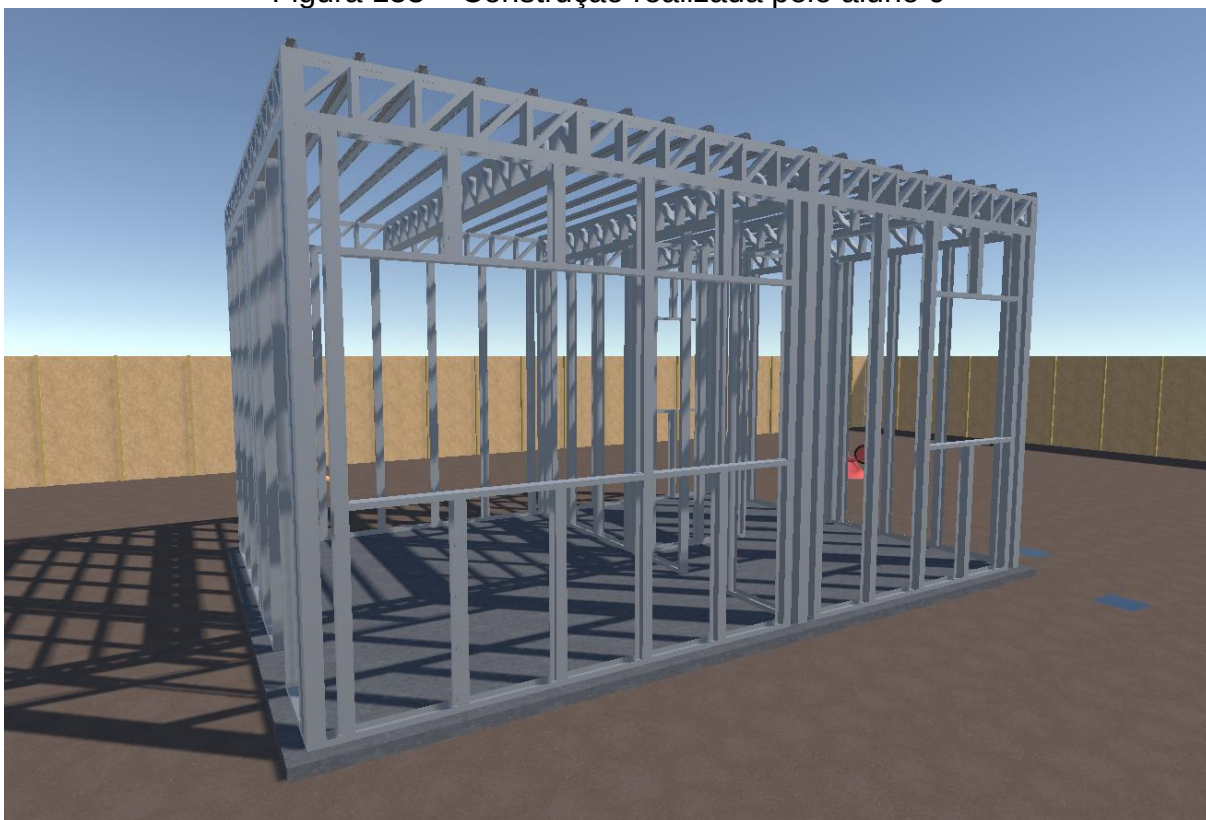
Figura 152 – Construção realizada pelo aluno 5



Fonte: Autor (2024).

Os alunos 9 (Figura 153) e 7 (Figura 154) optaram por estruturas ortogonais de menor complexidade, indicando que, mesmo com as novas possibilidades, alguns preferiram soluções mais simples, porém eficazes.

Figura 153 – Construção realizada pelo aluno 9



Fonte: Autor (2024).

Figura 154 – Estrutura em processo do aluno 7

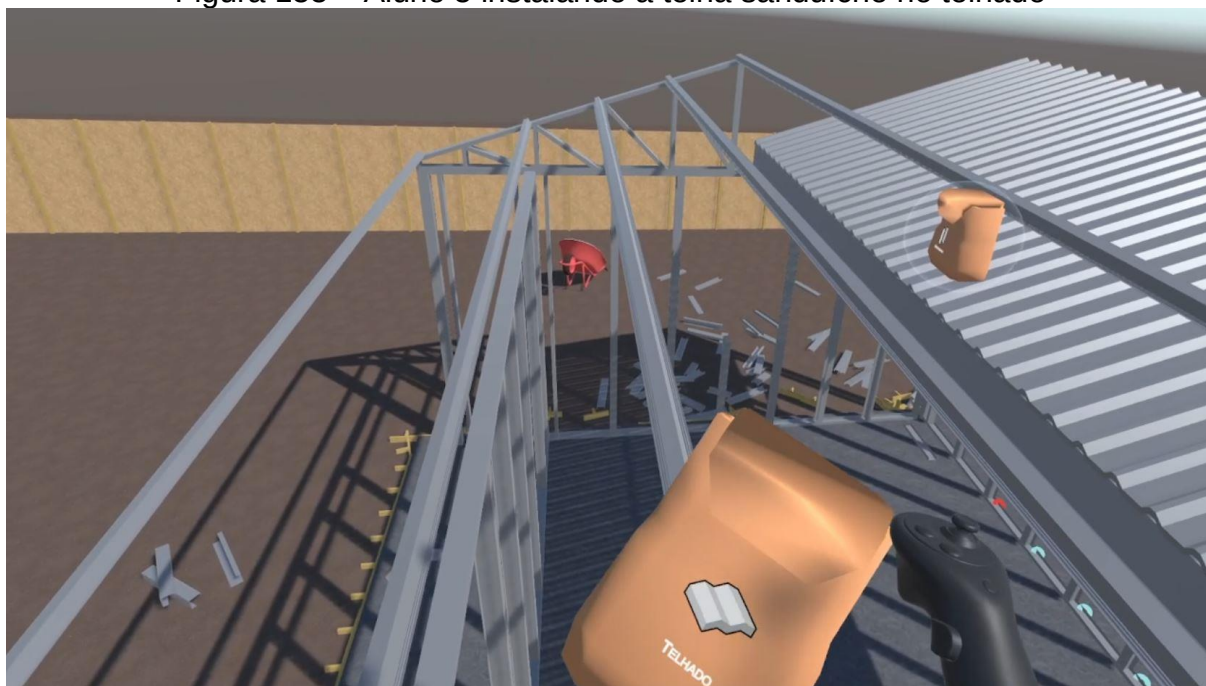


Fonte: Autor (2024).

Após a conclusão das estruturas, os alunos avançaram para a cobertura, que desempenha papel fundamental na proteção contra intempéries, além de contribuir

para estabilizar a edificação e distribuir esforços horizontais. Aqueles que utilizaram tesouras e telhados inclinados instalaram a telha sanduíche (Figura 155).

Figura 155 – Aluno 5 instalando a telha sanduíche no telhado



Fonte: Autor (2024).

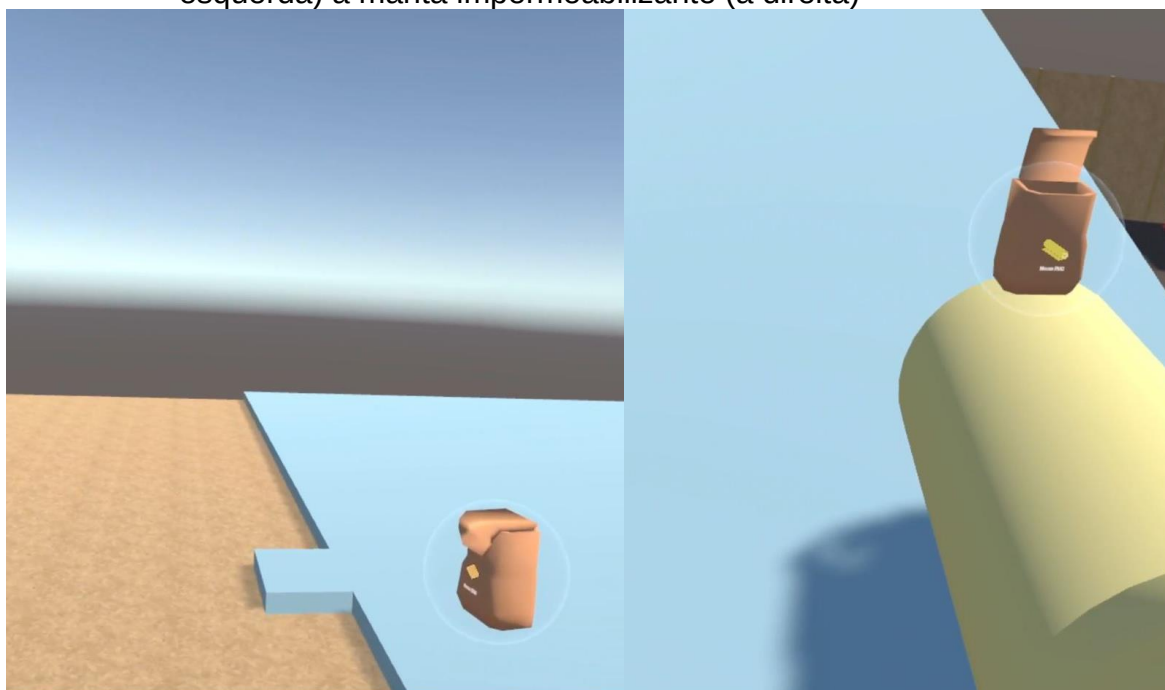
Já os alunos que adotaram vigas treliçadas e coberturas planas executaram a laje seca, aplicando sucessivamente as chapas de OSB (Figura 156), as chapas de XPS (Figura 157) e, por fim, a manta impermeabilizante (Figura 158). A Figura 159 mostra o resultado final dessa sequência.

Figura 156 – Aluno 4 cobrindo a estrutura com chapas de OSB



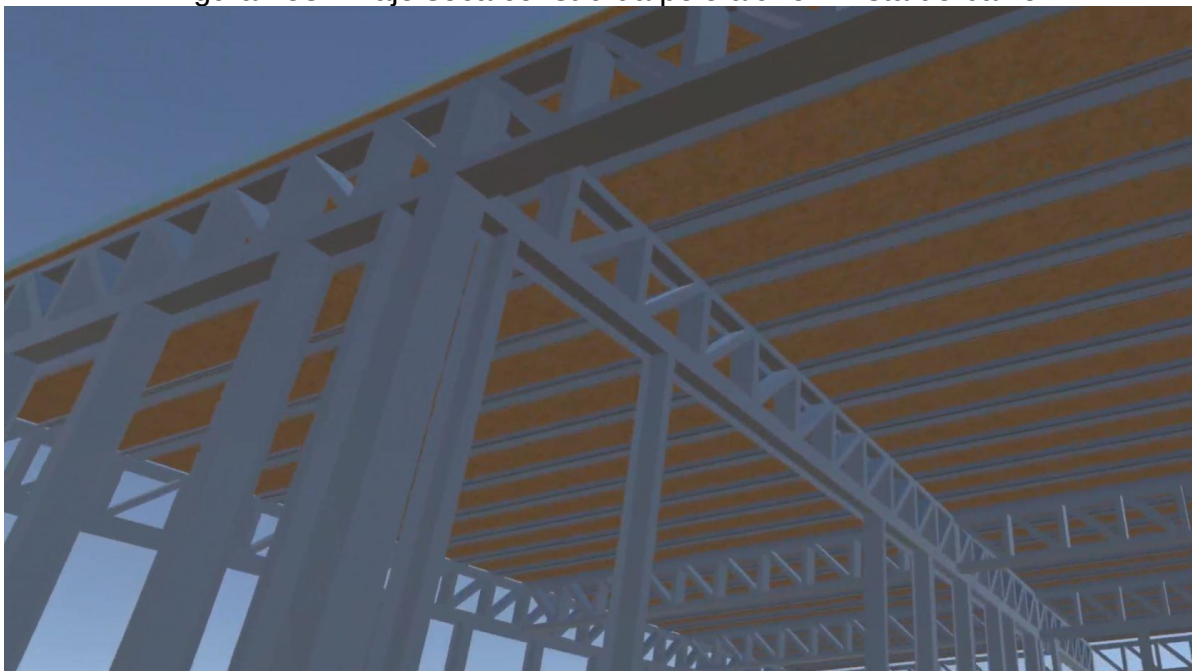
Fonte: Autor (2024).

Figura 157 – Aluno 4 adicionando a camada de XPS e em seguida aplicando (à esquerda) a manta impermeabilizante (à direita)



Fonte: Autor (2024).

Figura 158 – Laje seca construída pelo aluno 4 vista de baixo



Fonte: Autor (2024).

Em seguida, procederam-se às vedações, aplicando a manta de isolamento térmico e acústico, conforme demonstrado anteriormente no tutorial de vedação, e, posteriormente, as chapas cimentícias (Figura 159). Com essa etapa concluída, a edificação atinge seu fechamento.

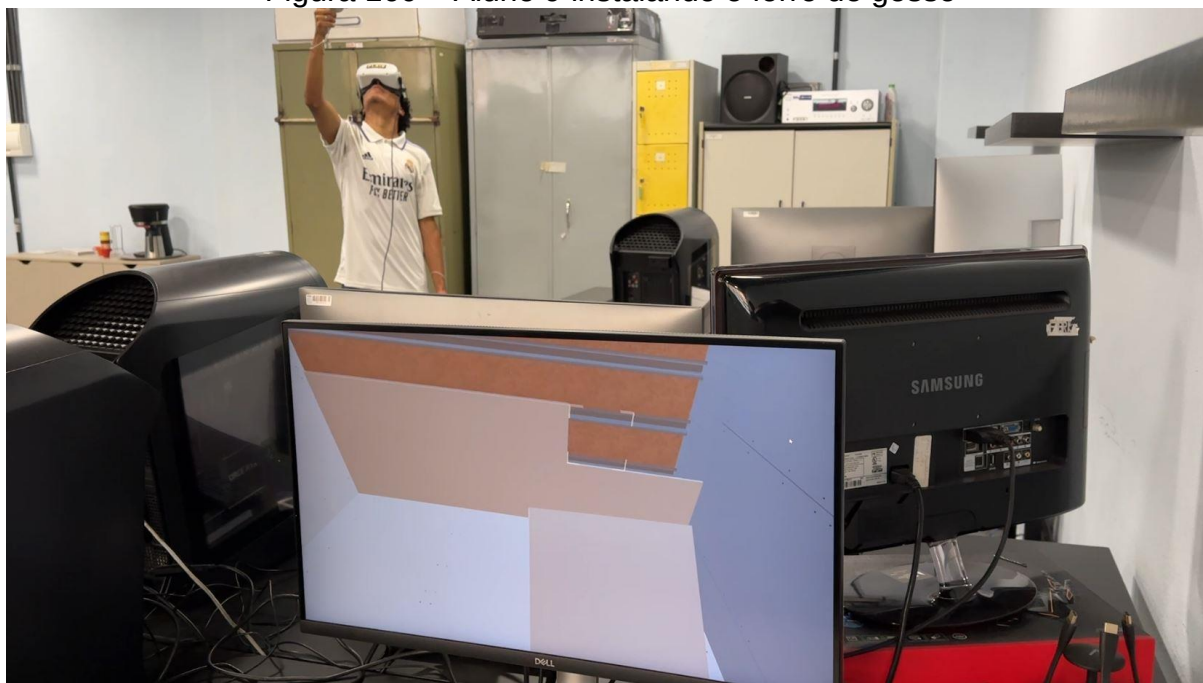
Figura 159 – Aluno 4 instalando as chapas cimentícias após a manta de isolamento térmico e acústico



Fonte: Autor (2024).

Finalmente, o processo termina com a instalação do forro de gesso acartonado. Esse procedimento foi otimizado para dispensar o uso de andaime, bastando apontar para cima com a chapa e soltar a garra do controle quando o plano de instalação é identificado, reduzindo deslocamentos e minimizando possíveis sintomas de *cybersickness* (Figura 160).

Figura 160 – Aluno 9 instalando o forro de gesso



Fonte: Acervo pessoal (2024).

Todos os alunos conseguiram concluir a construção dos seus projetos e, em seguida, utilizaram as ferramentas de validação disponíveis. Além da projeção solar, a ferramenta de ativação do fluxo de vento predominante em Belo Horizonte (leste) foi empregada, permitindo avaliar a eficiência da ventilação natural.

Para os alunos 4 (Figura 161) e 6 (Figura 162), as validações confirmaram suas previsões projetuais, sugerindo um amadurecimento do processo ao comparar com a primeira experiência em alvenaria:

“A ventilação e a insolação do projeto estavam ideais, logo não alteraria nenhum elemento” (Aluno 4).

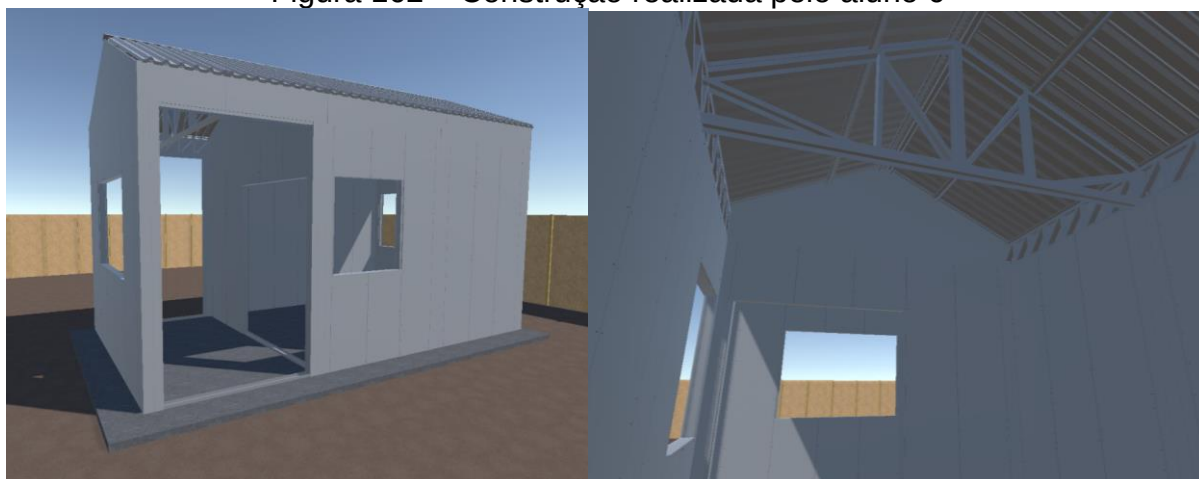
“Achei que o projeto dessa vez foi mais satisfatório em relação a isso, porque já havia planejado ele em relação a direção do sol e do vento, portanto fiz as aberturas e a posição em relação a isso, então penso que atingi um projeto satisfatório nesse ponto” (Aluno 6).

Figura 161 – Construção realizada pelo aluno 4



Fonte: Autor (2024).

Figura 162 – Construção realizada pelo aluno 6



Fonte: Autor (2024).

Figura 163 – Fluxo de ventilação ativado pelo aluno 6 que evidencia a existência de ventilação cruzada na edificação



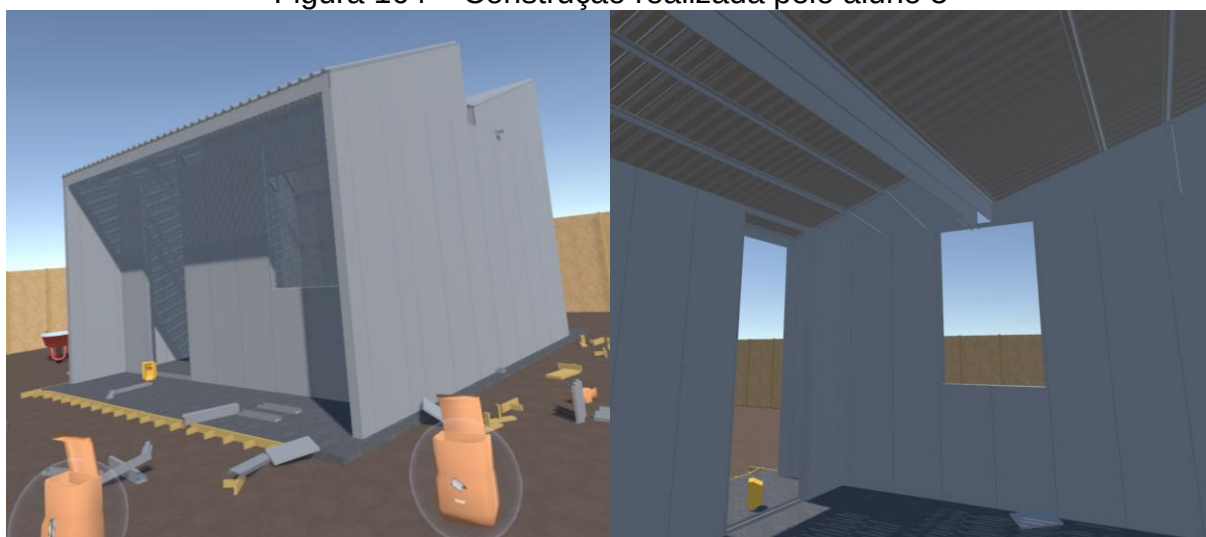
Fonte: Autor (2024).

Por outro lado, os alunos 5 (Figura 164) e 7 (Figura 165) indicaram que a visualização do fluxo de vento evidenciou a necessidade de melhorias quanto à ventilação cruzada (Apêndice H).

“Eu colocaria mais uma janela para ventilação cruzada” (Aluno 5).

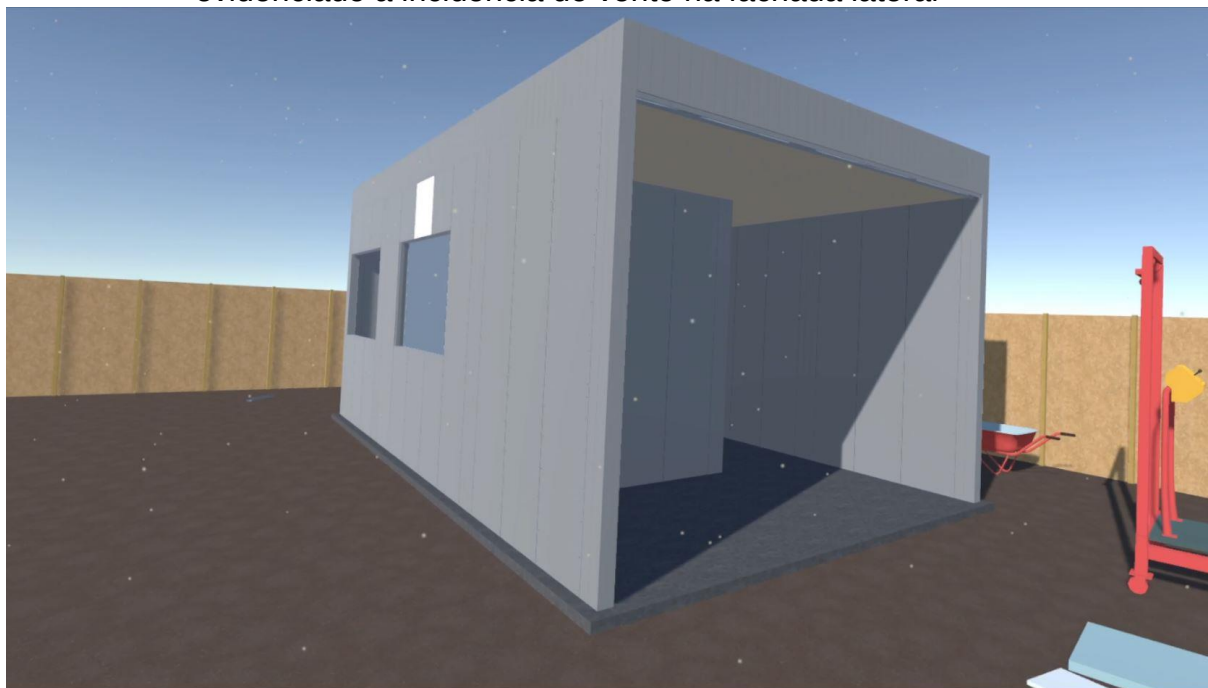
“A simulação possibilitou a percepção da direção do vento e como seu fluxo se dava no interior da construção. Por isso, notei que a ventilação natural dentro do ambiente construído poderia ser melhorada se existissem aberturas que favorecessem a ventilação cruzada com mais qualidade.” (Aluno 7).

Figura 164 – Construção realizada pelo aluno 5



Fonte: Autor (2024).

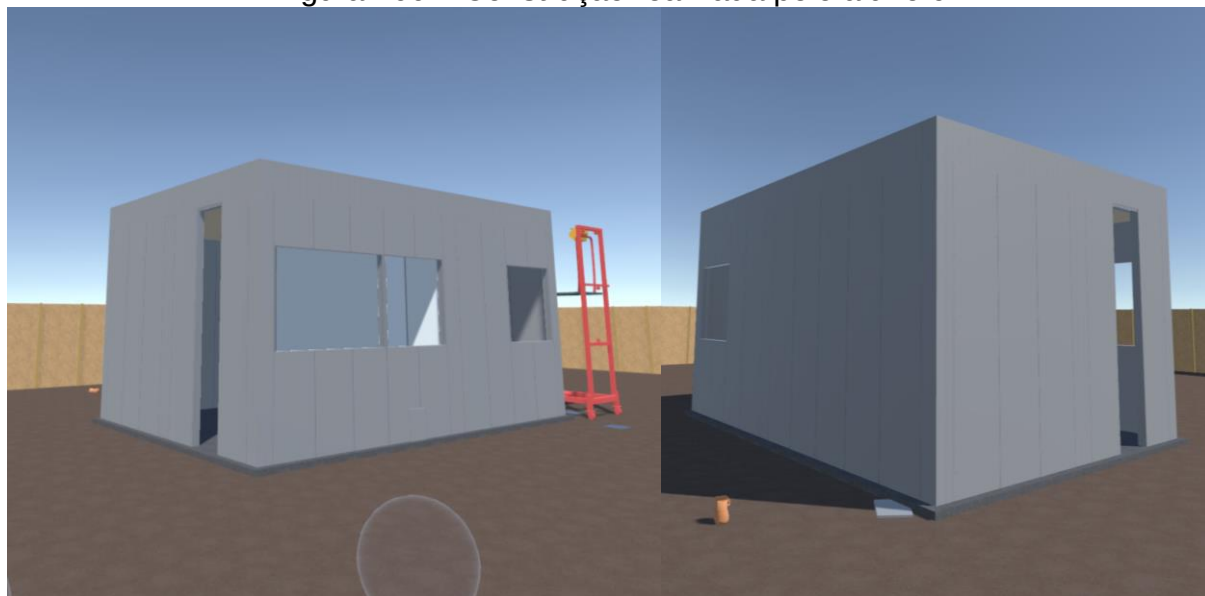
Figura 165 – Construção realizada pelo aluno 7 com fluxo de ventilação ativado evidenciado a incidência do vento na fachada lateral



Fonte: Autor (2024).

O aluno 9 também manifestou interesse em ajustar o projeto após as análises: “Adicionaria mais aberturas e se possível brises para o conforto térmico” (Aluno 9) (Figura 166).

Figura 166 – Construção realizada pelo aluno 9



Fonte: Autor (2024).

Em suma, a segunda iteração do protótipo ObRV, com suas melhorias construtivas, de usabilidade e de validação ambiental, demonstrou um amadurecimento no processo de concepção e execução por parte dos alunos. A integração das ferramentas de análise (projeção solar e fluxo de vento) e a incorporação de soluções técnicas (*steel frame*, laje radier, laje seca e telha sanduíche) contribuíram para projetos mais coerentes, conscientes das condicionantes ambientais e com um melhor entendimento da sequência construtiva. Essa evolução reflete o potencial do protótipo como ferramenta de aprendizado iterativo, impulsionando o aperfeiçoamento das estratégias projetuais e executivas a cada nova rodada de testes.

5.3 Análise dos resultados e discussões sobre o protótipo

A experiência de aplicação do protótipo ObRV ao longo da disciplina e, posteriormente, na segunda iteração com voluntários demonstrou resultados amplamente positivos quanto ao potencial pedagógico e técnico da realidade virtual (RV) para o ensino de Construção em cursos de Arquitetura. A iniciativa de criar um “canteiro de obras virtual” permitiu que os alunos desenvolvessem esboços de projeto de forma mais autônoma, aproximando a teoria da prática construtiva e ampliando sua compreensão dos procedimentos envolvidos no processo de construção. A totalidade dos participantes concluiu as atividades, sem desistências, indicando boa aceitação e envolvimento.

A satisfação dos alunos com a experiência foi expressiva: 40% a consideraram “muito satisfatória” e 50% “satisfatória”, com apenas 10% se mantendo neutros. Em termos de usabilidade, 40% julgaram o protótipo “muito intuitivo” e 50% “intuitivo”. Tal percepção positiva é reforçada pelo consenso de que o canteiro virtual contribui para o ensino de Construção (100% de aprovação). Essa unanimidade confirma o potencial do protótipo como ferramenta pedagógica, sobretudo em contextos onde o acesso a canteiros físicos é limitado, dificultando a vivência prática.

Diversos depoimentos de alunos reforçam essa percepção:

- “O Canteiro Didático em Realidade Virtual pode contribuir muito para o ensino de construção no curso de Arquitetura porque permite [...] acesso direto às etapas de uma construção. [...] É, sem dúvidas, uma forma mais barata e segura de se envolver no universo da construção” (Aluno 4);

- “Nos anos iniciais do Curso de Arquitetura é ensinada muita teoria sobre a construção, [...] essa teoria é pouco relacionada à prática real da obra” (Aluno 7);
- “Na arquitetura não tem muitas visitas às obras. [...] O canteiro virtual traz essa noção de como uma obra é feita” (Aluno 8);
- “No curso de Arquitetura não temos muito contato com obra, [...] então, acredito que seja importante ter um laboratório prático presencial também” (Aluno 1);
- “Pode contribuir muito para o entendimento das tecnologias nos primeiros semestres do curso quando se tem pouquíssima prática” (Aluno 3);
- “Eu vejo o canteiro virtual como uma forma de compreender as etapas construtivas ‘na prática’, sem que seja necessário ir até uma obra” (Aluno 6);
- No Curso de Arquitetura, nós, alunos, temos pouco ou nenhum contato com os processos da construção. [...] O canteiro virtual pode ajudar a contribuir com essa parte que falta” (Aluno 2);
- “O curso atual de Arquitetura não possui muitas visitas e experiências práticas no setor da construção, então ter [...] a experiência (mesmo que sem os riscos e problemas da vida real), já é um grande suporte na formação dos alunos” (Aluno 9);
- “O processo de aprendizagem passa a abranger as questões técnicas, estimulando uma perspectiva construtiva que vai além de traçar linhas” (Aluno 10).

Além da percepção geral de satisfação, a análise mais específica sobre os procedimentos construtivos que mais agradaram aos alunos traz importantes indícios para o aperfeiçoamento do protótipo. Nesse sentido, a preferência por diferentes sistemas reflete tanto a diversidade de enfoques construtivos quanto a relevância didática de cada um.

Cerca de 40% dos estudantes destacaram as fundações e a estrutura de concreto armado, ressaltando como essa etapa, muitas vezes vista apenas de forma abstrata em sala de aula, ganhou clareza no ambiente virtual. Como observou o aluno 1: “Gostei mais das fundações e da estrutura em concreto armado, pois era algo que ainda não tive contato em escavar buracos e entender as marcações, já vi

pessoalmente em obra, mas passou despercebido.” Outros reforçaram esse entendimento, apontando a importância de visualizar a estrutura ganhando forma (Aluno 3) ou compreendendo o posicionamento dos moldes no concreto armado (Aluno 9), bem como a riqueza de detalhes nos componentes envolvidos (Aluno 10).

Por outro lado, 10% mencionaram a alvenaria, sublinhando a relevância da execução correta das amarrações de tijolos para a estabilidade da construção: “É uma etapa que muitas vezes não pensamos, como a organização das fiadas dos tijolos” (Aluno 2). Já 50% dos alunos enfatizaram o *steel frame*, elogiando sua praticidade e rapidez: “Acredito que foi o tutorial com maior facilidade de compreensão” (Aluno 7); “praticidade construtiva” (Aluno 8); “mais prático e rápido que os outros sistemas construtivos” (Aluno 4) e “mais rápido e de mais simples execução”, foram algumas das avaliações observadas.

Esse sistema também expandiu a compreensão técnica dos alunos, conforme expresso pelo aluno 7: “Sim, obtive novas percepções sobre como os montantes deveriam ser posicionados e sobre as possibilidades de coberturas utilizando a construção em Steel Frame.” Assim, a diversidade de opiniões indica que cada sistema traz seu próprio valor formativo, mas também sugere que alguns procedimentos, como a alvenaria, demandam refinamentos na simulação para mitigar dificuldades, enquanto o *steel frame* emerge como um exemplo de sistema mais ágil e intuitivo a ser tomado como referência para futuras melhorias no protótipo.

Adicionalmente, vale mencionar que, apesar do esforço durante o desenvolvimento do protótipo em proporcionar maior liberdade criativa na construção de alvenaria — inclusive a possibilidade de executar paredes curvas — essa demanda não se materializou nas propostas dos alunos. Esperava-se que o fascínio inicial de muitos estudantes de Arquitetura por formas não convencionais os levasse a experimentar soluções mais complexas, mas isso não ocorreu. Esse fato pode ser atribuído à natureza prática do exercício no canteiro virtual, que torna mais claras as dificuldades técnicas e o nível de empenho necessários para realizar tais variações, refletindo, de certa forma, as restrições do contexto real da construção civil. Assim, a ausência de paredes mais inventivas, não apenas sinaliza a aderência dos alunos à lógica executiva mais simples e segura, mas também reforça o potencial do protótipo em transmitir as implicações práticas de decisões projetuais.

A segunda iteração do protótipo, realizada após melhorias técnicas e conceituais, confirmou o potencial da ferramenta em evoluir e se adaptar ao feedback dos alunos. A implementação do *steel frame* — um sistema construtivo mais limpo, industrializado e modular — reduziu significativamente o tempo de execução, o número de erros e a frustração do usuário. Enquanto, na primeira versão, os alunos levavam entre 5 e 6 sessões para concluir seus projetos, nessa segunda etapa, o tempo caiu para apenas 2 ou 3 sessões, resultado das soluções mais ágeis e da usabilidade aprimorada. Esse avanço refletiu diretamente nas percepções dos participantes: quando compararam a experiência da construção em *steel frame* àquela em concreto armado, 80% consideraram a nova abordagem “muito melhor” e 10% avaliaram-na como “um pouco melhor”.

As falas dos alunos reforçam o impacto positivo das melhorias: o aluno 5 elogiou os “encaixes automáticos” e o aluno 9 destacou que “não houve bugs em nenhum dos revestimentos” e mencionou a “otimização do tempo”. Já o aluno 7 observou “maior facilidade no posicionamento dos montantes e das guias”, dispensando a necessidade de se abaixar ou levantar com frequência, enquanto o aluno 4 corroborou ao mencionar uma “maior agilidade no posicionamento das peças”. De fato, 60% dos alunos não enfrentaram qualquer problema técnico durante as sessões, enquanto os 40% que tiveram dificuldades citaram falhas pontuais, como a desconexão do *headset* ou ajustes na interface de construção do telhado.

Entre os problemas técnicos observados, a desconexão do *headset* foi o mais recorrente durante as sessões, conforme apontado pelos alunos nos questionários. Esse problema não está relacionado ao desempenho dos computadores utilizados, que possuem excelente capacidade técnica, nem à qualidade dos cabos link originais. A conexão instável parece ser uma limitação do próprio hardware do Quest 2. Embora o uso de cabos tenha sido suficiente para manter a funcionalidade do protótipo, a necessidade de conexão física destaca um aspecto técnico que poderia ser aprimorado no futuro. Atualmente, as restrições da plataforma do Quest 2, que acessa conteúdo diretamente pela loja da Meta, inviabilizam essa integração. Esse ponto técnico, embora secundário, reforça a importância de considerar futuras melhorias para garantir uma experiência ainda mais robusta.

O novo sistema também evidenciou a importância do planejamento prévio e da modulação, aspecto central em sistemas industrializados. Embora 60% dos

alunos não tenham encontrado dificuldade na construção, 40% afirmaram que lidar com a modulação foi um desafio.

O depoimento de um deles pontua:

“A principal dificuldade específica na construção com Steel Frame foi em relação à modulação. Porém, realizar o croqui e definir as medidas do projeto antes de usar o canteiro virtual ajudou a compreender a modulação mais aconselhável para o sistema construtivo” (Aluno 7).

Esse dado mostra que, apesar da facilidade relativa, o *steel frame* implica uma “obrigação” de pensar modularmente, ampliando o caráter pedagógico da experiência.

Além disso, 60% dos participantes conseguiram construir totalmente o que haviam planejado, enquanto 40% alcançaram esse resultado parcialmente, muitas vezes por falhas de cálculo ou adaptação no decorrer da execução. O aluno 5 relatou: “Eu não fiz as contas certas sobre os encaixes e tive que diminuir um pouco o tamanho das paredes”.

Em termos de contribuição para o ensino, o *steel frame* ampliou a compreensão técnica dos alunos, conforme mencionou o aluno 7: “Obtive novas percepções sobre como os montantes deveriam ser posicionados e sobre as possibilidades de coberturas utilizando a construção em Steel Frame”. Assim, a adoção desse sistema não apenas tornou o processo mais fluido e eficiente, mas também aprofundou a dimensão formativa do protótipo, tornando mais explícitos conceitos-chave como modulação, precisão dimensional e raciocínio construtivo.

Além da construção em si, a incorporação de ferramentas de validação ambiental — como a projeção solar e, posteriormente, o fluxo de vento — incentivou os alunos a considerar condicionantes como insolação, ventilação e orientação no projeto. Na segunda iteração, a experiência anterior levou diversos alunos a ajustar o posicionamento de aberturas e a repensar a implantação. A título de exemplo, a ferramenta de fluxo de vento destacou a necessidade de criar condições para ventilação cruzada, levando alguns estudantes a propor mais janelas. Essas funcionalidades evidenciam a importância da RV não apenas para compreender as etapas construtivas, mas também para estimular a integração entre aspectos arquitetônicos, conforto ambiental e lógica executiva.

A análise integrada dos resultados obtidos por meio dos diferentes questionários (Presença, SUS, NASA-TLX e *cybersickness*), quando confrontada com os dados qualitativos das observações em aula e os depoimentos dos alunos, fornece uma visão mais ampla, profunda e coerente sobre a eficácia do protótipo ObRV.

Presença e imersão (Questionário de Presença)

O escore global médio de presença, calculado a partir da média dos oito itens (com o item 6 invertido), foi de 5,34 (numa escala de 1 a 7), com desvio-padrão de aproximadamente 0,83. Em linhas gerais, esse resultado indica que o ambiente virtual foi capaz de “transportar” a maioria dos alunos para o canteiro virtual, promovendo um grau significativo de engajamento.

Ainda que alguns participantes tenham demonstrado certo nível de consciência do ambiente físico real (média bruta de 3,8 na Questão 6, antes da inversão) e que o realismo (Questão 2) tenha obtido média de 4,2, a sensação global de “estar lá” se manteve elevada. Além disso, os escores para “imersão” (Questão 7, média 5,7) e para “experiência envolvente” (Questão 8, média 6,3) reforçam o potencial do protótipo como recurso educacional imersivo.

Esses achados sugerem que a maioria dos alunos se sentiu inserida no contexto do canteiro de obras virtual, embora ainda exista espaço para aprimorar elementos visuais, auditivos e comportamentais que tornem a simulação mais natural e convincente. Em síntese, o Questionário de Presença aponta para o sucesso do protótipo em engajar os participantes, ao mesmo tempo em que sinaliza oportunidades de evolução técnica e sensorial.

Usabilidade e facilidade de uso (Questionário SUS)

A partir das dez respostas coletadas, o escore médio do **System Usability Scale (SUS)** foi de **74**, com desvio-padrão em torno de **14**, valor que se situa **acima da média** (68) normalmente apontada na literatura para esse instrumento. Em linhas gerais, esse índice indica que a maioria dos alunos avaliou o protótipo como simples, intuitivo e relativamente fácil de compreender, mesmo aqueles com baixa familiaridade prévia com tecnologias imersivas.

A boa avaliação quanto à **coerência das funcionalidades** e a **curva de aprendizagem reduzida** corrobora a percepção positiva observada nas sessões presenciais (Apêndice J). Ao mesmo tempo, as sugestões dos participantes — como a possibilidade de um comando de “desfazer”, melhor identificação de materiais e algumas correções pontuais — sinalizam que ajustes adicionais podem tornar a experiência ainda mais satisfatória.

Por fim, tais achados dialogam com as percepções de **presença**: um sistema **usável** e coerente tende a reforçar a sensação de **imersão**, ampliando o **engajamento** e permitindo que os estudantes se concentrem no conteúdo propriamente dito, em vez de se defrontarem com dificuldades de interface.

Carga de trabalho, desafio e aprendizagem (Teste NASA-TLX)

A avaliação do **NASA-TLX**, considerando a média das seis dimensões (com Desempenho invertido para refletir carga), resultou em um **Raw TLX** médio de **6,07** ($DP \approx 1,03$), numa escala de 0 a 10. Em linhas gerais, isso indica que a atividade demandou atenção e esforço consideráveis, mas sem ultrapassar níveis que pudessem comprometer a experiência de aprendizagem.

Observa-se uma carga cognitiva e temporal relativamente alta, coerente com a proposta de aproximar o protótipo das condições de um canteiro de obras real — que exige planejamento, tomada de decisão e certa complexidade nas ações. No entanto, tais exigências devem ser equilibradas para que a vivência virtual não se torne excessivamente cansativa ou frustrante. Pequenos ajustes na ergonomia e no design das interações podem, assim, transformar parte dessa carga em desafio construtivo, potencializando o engajamento e a aprendizagem ativa.

Conforto físico e óptico (Questionário Cybersickness)

A análise do VRSQ indicou que, embora os sintomas relatados variem de “nenhum” a “moderado”, houve tontura (média 2,7, em 0–4) e desconforto ocular (média 2,7) como destaques entre as maiores queixas. Também se observou um nível intermediário de dor de cabeça (3,4) em alguns participantes. Esses efeitos chamam atenção para a importância de se tratar questões fisiológicas na

implementação de realidade virtual, como a estabilidade de framerate, a configuração ergonômica do headset e a minimização de discrepâncias sensoriais.

Ao relacionar esses achados com a boa aceitação do sistema e a alta imersão, percebe-se que, apesar dos desconfortos pontuais, os alunos permaneceram motivados. Ainda assim, melhorias no desempenho gráfico, ajustes de iluminação, redução de latências e um cuidado extra com a postura e a configuração do *headset* trariam ganhos significativos à qualidade da vivência.

Esses resultados se reforçam mutuamente: o engajamento observado durante as sessões presenciais e a satisfação declarada pelos alunos encontram eco nos índices de presença e imersão; a usabilidade avaliada positivamente no SUS apoia a aceitação do protótipo; o esforço cognitivo e a frustração moderada do NASA-TLX mostram que o desafio foi percebido como significativo, o que pode ser produtivo do ponto de vista educacional, desde que ajustado; enquanto os sintomas de *cybersickness* destacam a necessidade de melhorias técnicas.

Em relação ao desenvolvimento de um Canteiro de Obras Didático completo, a introdução de novos sistemas construtivos (madeira, perfis metálicos laminados), instalações elétricas e hidráulicas, acabamentos variados, além de ferramentas de validação estrutural (análise de vão, travamentos, indicações de erros dimensionais), poderiam ampliar significativamente o escopo formativo vislumbrado no protótipo. A inclusão de uma funcionalidade para mapear falhas estruturais e dimensionamentos inadequados — por exemplo, evidenciando a ausência de vigas treliçadas para travamento adequado em determinadas situações, como ocorrido no projeto do aluno 5 — ajudaria os estudantes a compreender a lógica interna dos sistemas construtivos, bem como as consequências diretas de equívocos no raciocínio ou na execução.

Além disso, mecanismos de visualização mais avançados poderiam tornar as implicações de decisões incorretas ainda mais claras. Ao simular, por exemplo, a flambagem ou até mesmo o desmoronamento virtual de elementos devido a falhas na execução, o protótipo forneceria um feedback visualmente impactante e seguro, enfatizando a importância da precisão, do planejamento e do respeito aos critérios estruturais. Tais recursos, aliados ao aperfeiçoamento da física dos materiais, à inclusão de detalhes de fixação, como o parafusamento no *steel frame*, e à implementação de elementos essenciais de cobertura (calhas, rufos, pingadeiras), tornariam a experiência mais completa, coerente e próxima da realidade.

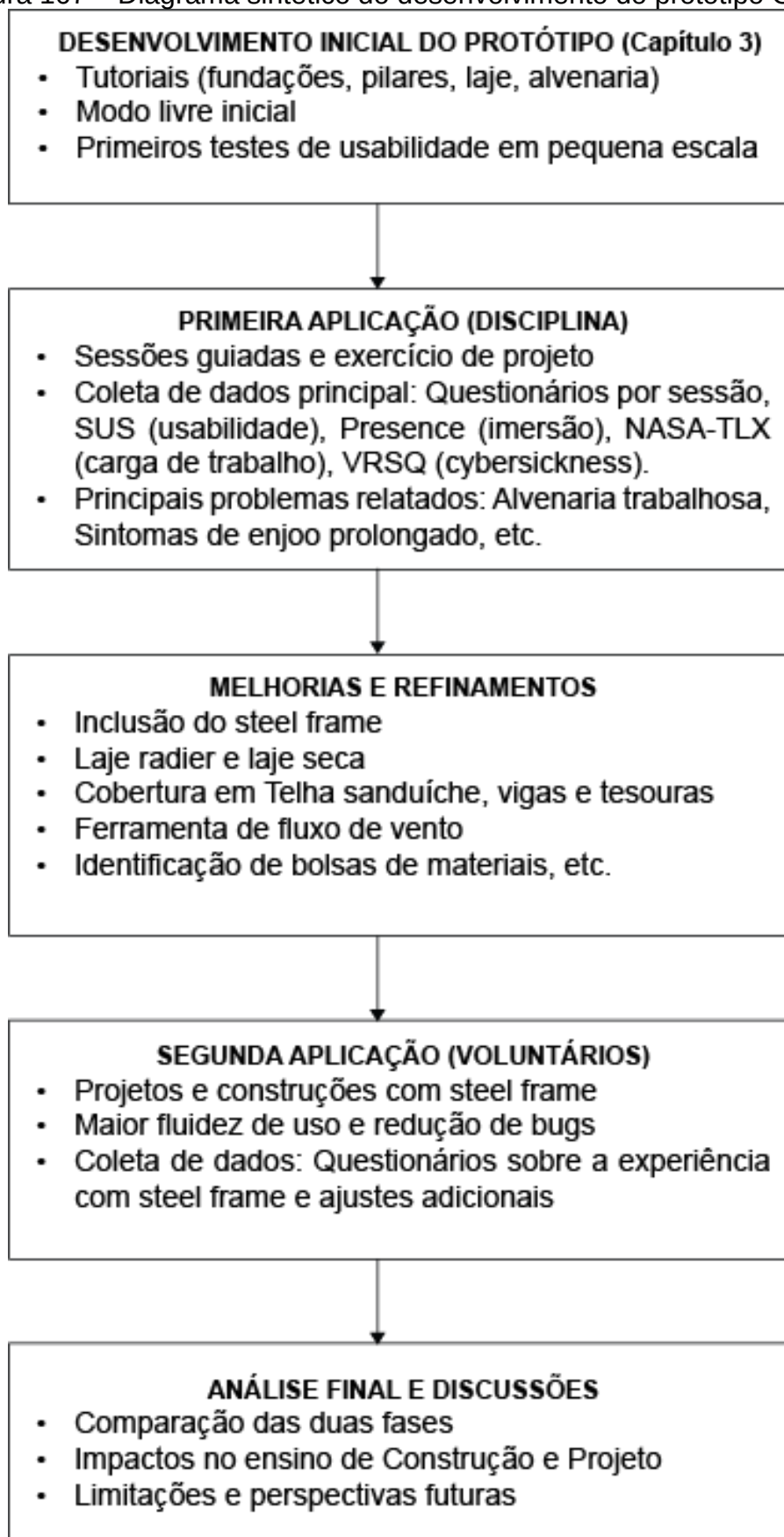
Por fim, melhorias na interface, como a possibilidade de desfazer ações (“ctrl+z”) e a integração de mecanismos de alinhamento automático, contribuiriam para um fluxo de trabalho mais ágil e intuitivo. A inclusão de feedbacks sonoros, por sua vez, reforçaria a percepção sensorial do ambiente virtual, intensificando a sensação de realismo. Dessa forma, a combinação dessas inovações técnicas e pedagógicas solidificaria o Canteiro Didático em RV como uma ferramenta poderosa, abrangente e formativa, contribuindo para uma aprendizagem mais rica e significativa no ensino de Construção.

Vale ressaltar que o protótipo não se propôs a ser uma réplica literal da realidade, mas sim um recurso didático que combina fidelidade técnica a uma experiência lúdica e interativa. O objetivo não é formar especialistas em canteiro de obras, mas ampliar o repertório prático dos estudantes de Arquitetura, propiciando-lhes um entendimento mais claro das lógicas construtivas e do raciocínio executório.

A segunda versão do protótipo, com a incorporação do *steel frame* e funcionalidades de validação ambiental, demonstrou o poder da abordagem iterativa do desenvolvimento, na qual o feedback dos alunos orienta sucessivos aprimoramentos. Os ganhos de produtividade, redução de problemas técnicos e maior clareza construtiva observados na segunda aplicação deixam claro que ainda há muito potencial a ser explorado. A Figura 167, a seguir, sintetiza em diagrama todo esse processo, desde o desenvolvimento inicial até a segunda rodada de melhorias e testes, evidenciando a lógica de aprimoramento sucessivo do protótipo.

Por fim, vislumbra-se que um “Canteiro Didático em Realidade Virtual” pleno deveria abarcar todas as sugestões mencionadas, ampliando o rol de sistemas construtivos, detalhando infraestruturas, introduzindo recursos de correção, analisadores estruturais, maiores variações climáticas, efeitos sonoros e mais realismo visual e físico. Dessa forma, poder-se-ia oferecer uma experiência cada vez mais completa, integrada e rica, consolidando a RV como uma ferramenta didática poderosa no ensino de Construção.

Figura 167 – Diagrama sintético do desenvolvimento do protótipo ObRV



Fonte: Autor (2025).

6 CONCLUSÃO

A trajetória descrita ao longo deste trabalho evidenciou que a defasagem no ensino de Construção em cursos de Arquitetura e Urbanismo representa um desafio significativo para a formação de futuros arquitetos. O ensino de Construção, frequentemente tratado como um conteúdo técnico isolado e predominantemente teórico, mostra-se desconectado tanto da prática do canteiro de obras quanto da lógica projetual, limitando sua integração ao processo formativo. Esse cenário reforça a necessidade de metodologias que articulem teoria e prática de maneira mais eficaz, contribuindo para uma formação mais completa e alinhada às demandas do contexto profissional.

Nessa conjuntura, a realidade virtual (RV) desponta como uma ferramenta pedagógica promissora para enfrentar essa defasagem. Por meio do desenvolvimento do protótipo ObRV, demonstrou-se que um “canteiro de obras didático em RV” pode aproximar teoria e prática, proporcionando aos alunos uma experiência imersiva, interativa e capaz de superar as limitações do ensino de Construção, que é predominantemente teórico e frequentemente desconectado de vivências concretas.

A disciplina experimental organizada para testar o protótipo mostrou que, mesmo com pouca familiaridade inicial em relação aos dispositivos de RV e aos sistemas construtivos, os alunos rapidamente se adaptaram à interface proposta. A interação guiada pelos tutoriais permitiu a compreensão gradativa e intuitiva de etapas fundamentais da construção (fundações, estrutura, vedações e cobertura). Ainda que tenham ocorrido relatos de *cybersickness* — sobretudo no início —, houve adaptação ao longo do tempo, sugerindo que, com ajustes ergonômicos e pausas frequentes, a RV pode ser utilizada de modo mais confortável. Essa adaptação reflete a flexibilidade dos alunos diante de um formato inovador de aprendizado, fortalecendo o caráter formativo do protótipo. A experiência prática no ambiente virtual ampliou a compreensão espacial e construtiva, aproximando o entendimento dos alunos da complexidade e das lógicas internas do processo de edificação.

A integração da ferramenta com um exercício de projeto representou um avanço significativo. Ao possibilitar a elaboração de um dispositivo arquitetônico e sua posterior construção virtual, o protótipo conduziu os estudantes a uma reflexão mais profunda sobre modulação, planejamento da obra, raciocínio técnico e

coerência entre a concepção arquitetônica e a viabilidade construtiva. O resultado foi um aprendizado mais holístico, indo além da simples visualização, para envolver “colocar a mão na massa”, tomar decisões e corrigir erros ao longo da obra virtual. Essa abordagem promoveu uma integração didática entre teoria e prática, conectando o ensino de Construção ao processo de projeto — uma relação frequentemente negligenciada no ensino tradicional, onde esses campos são tratados como esferas separadas. Ao criar essa conexão, o protótipo possibilitou aos estudantes experimentar e avaliar as implicações construtivas de suas decisões projetuais de forma prática e contextualizada.

A análise qualitativa e quantitativa dos resultados — incluindo questionários, depoimentos, observações e gravações de tela — confirmou o impacto positivo do protótipo sobre o engajamento, a motivação e a percepção dos alunos quanto ao ensino de Construção. A maioria considerou a ferramenta intuitiva, satisfatória e potencialmente transformadora, sobretudo em contextos limitados pelo difícil acesso a canteiros reais. A introdução de um segundo sistema construtivo (*steel frame*) demonstrou ainda maior agilidade, clareza e eficiência, evidenciando que o canteiro virtual pode adaptar-se a diferentes técnicas e abordagens, ampliando o repertório formativo dos estudantes.

A sensação de presença e imersão foi alta, apesar de haver espaço para aprimorar aspectos visuais, auditivos e comportamentais. Os questionários padronizados — como SUS, NASA-TLX e instrumentos de avaliação de *cybersickness* — indicaram caminhos para aperfeiçoar a usabilidade, reduzir a carga de trabalho percebida e minimizar desconfortos, sem comprometer o caráter desafiador e significativo da experiência. Esses resultados reforçam a necessidade de um desenvolvimento iterativo, capaz de incorporar feedbacks constantes para otimizar a experiência dos usuários.

No futuro, um “Canteiro Didático em Realidade Virtual” pleno poderia incorporar uma gama maior de sistemas construtivos, detalhar infraestruturas, introduzir ferramentas de validação estrutural, feedbacks sonoros, acabamentos variados, condições climáticas distintas e mecanismos de correção otimizados. Esses avanços tornariam a experiência ainda mais completa e robusta para consolidar o conhecimento técnico, fortalecer o raciocínio projetual e sensibilizar os estudantes quanto às implicações construtivas de suas escolhas arquitetônicas, aproximando-os da prática profissional de maneira controlada, segura e didática.

Em suma, a experiência com o protótipo ObRV confirmou que a RV pode transcender o mero encantamento inicial e tornar-se, de fato, uma aliada estratégica para enfrentar a defasagem no ensino de Construção em Arquitetura. Ao articular teoria, prática e reflexão, o Canteiro de Obras Didático em Realidade Virtual propõe uma abordagem que proporciona a aproximação com o canteiro de obras, simula práticas construtivas e integra o ensino de Construção ao processo de projeto, superando a fragmentação tradicional e promovendo uma formação mais dinâmica, participativa e alinhada às demandas práticas do contexto profissional.

REFERÊNCIAS

ABDELHAMEED, W. A. Virtual reality use in architectural design studios: a case of studying structure and construction. **Procedia Computer Science**, [s. l.], v. 25, p. 220-230, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.11.027>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050913012325>. Acesso em: 17 dez. 2024.

ABNT. **ABNT NBR 14931**: execução de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT. **ABNT NBR 15253**: perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações: requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ABNT. **ABNT NBR 15575-1**: edificações habitacionais: desempenho. Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ADHIKARI, A.; ZIELASKO, D.; AGUILAR, I.; BRETIN, A.; KRUIJFF, E.; HEYDE, M. Integrating continuous and teleporting VR locomotion into a seamless 'HyperJump' paradigm. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, [s. l.], v. 29, n. 12, p. 5265-5281, Dec. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2022.3207157>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9894041>. Acesso em: 17 dez. 2024.

ALIZADEHSALEHI, S.; HADAVI, A.; HUANG, J. C. Assessment of AEC students' performance using BIM-into-VR. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 11, n. 7, art. 3225, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11073225>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/7/3225>. Acesso em: 17 dez. 2024.

ANIFOWOSE, H.; YAN, W.; DIXIT, M. BIM LOD + virtual reality – using game engine for visualization in architectural & construction education. *In*: ANNUAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION OF COMPUTER AIDED DESIGN IN ARCHITECTURE, 41., 2021, *online*. [**Proceedings**]. [S. l.]: ACADIA, 2021. p. 238-245. DOI: <https://doi.org/10.52842/conf.acadia.2021.238>. Disponível em: https://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/acadia21_238. Acesso em: 17 dez. 2024.

AZARBY, S.; RICE, A. Scale estimation for design decisions in virtual environments: understanding the impact of user characteristics on spatial perception in immersive virtual reality systems. **Buildings**, [s. l.], v. 12, n. 9, art. 1461, p. 1-27, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12091461>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/9/1461>. Acesso em: 17 dez. 2024.

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

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016819300511>. Acesso em: 17 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Superior. **Resolução CNE/CES nº 2, de 18 de junho de 2007**. Dispõe sobre carga horária mínima e procedimentos relativos à integralização e duração dos cursos de graduação, bacharelados, na modalidade presencial. Brasília, DF: MEC, 2007. Disponível em: https://abmes.org.br/arquivos/legislacoes/Res_CES_002_2007_06_18.PDF. Acesso em: 17 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. **Relatório consulta pública simples curso: 09/10/2024, 18:21:38**. [S. l., 2024]. Disponível em: <https://emec.mec.gov.br/emec/nova>. Acesso em: 19 dez. 2024.

BUSSCHER, B.; VLIEGHER, D.; LING, Y.; BRINKMAN, W. P. Physiological measures and self-report to evaluate neutral virtual reality worlds. **Journal of CyberTherapy and Rehabilitation**, [s. l.], v. 4, n. 1, 15-25, 2011. Disponível em: <https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/3786308/1238696537958032.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2024.

CALDERON-HERNANDEZ, C.; PAES, D.; IRIZARRY, J.; BRIOSO, X. Comparing virtual reality and 2-dimensional drawings for the visualization of a construction project. *In*: ASCE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING, 2019, Atlanta, Georgia, USA. **Proceedings** [...]. Reston, VA: ASCE, 2019. p. 17-24. DOI: <https://doi/10.1061/9780784482421.003>. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784482421.003>. Acesso em: 17 dez. 2024.

CASTRONOVO, F.; RAZAVIALAVI, S.; RODRIGUEZ, P. M. Improving learners' self-efficacy in performing design reviews with virtual reality. **Journal of Information Technology in Construction**, [s. l.], v. 29, p. 1-15, Feb. 2024. DOI: <https://doi/10.36680/j.itcon.2024.001>. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.36680/j.itcon.2024.001>. Acesso em: 26 out. 2024.

CBCA. **Cenário dos fabricantes de perfis galvanizados para light steel frame e drywall 2024**. São Paulo: CBCA, 2024. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br>. Acesso em: 14 maio 2024.

CEYLAN, S. Using virtual reality to improve visual recognition skills of first year architecture students: a comparative study. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SUPPORTED EDUCATION, 12., 2020, *online*. **Proceedings** [...]. [S. l.]: CSEDU, 2020. v. 2, p. 54-63. DOI: <https://doi/10.5220/0009346800540063>. Disponível em: <https://www.scitepress.org/Link.aspx?doi=10.5220/0009346800540063>. Acesso em: 26 out. 2024.

CONSTRUINDO uma rua ao vivo! | The Sims 4 construção. [S. l., s. n.], 2023. 1 vídeo (156 minutos). Publicado pelo canal MTsims. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=xINjnLcv7K8>. Acesso em: 19 dez. 2024.

CORRÊA, I. C. S. **História da estereoscopia no Brasil e no mundo**. Porto Alegre: Museu de Topografia/UFRGS, 2009. 1 figura. Disponível em: http://museudetopografia.ufrgs.br/museudetopografia/images/acervo/artigos/Histria_da_Estereoscopia_no_Brasil_.pdf. Acesso em: 19 dez. 2024.

DEWEY, J. **Democracia e educação**: uma introdução à filosofia da educação. Tradução: Anísio Teixeira. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1959.

DEWEY, J. **Experiência e educação**. Tradução: Anísio Teixeira. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1976. (Atualidades Pedagógicas, v. 131).

DOMA, O. O.; ŞENER, S. M. Dreamscape bricks VR: an experimental virtual reality tool for architectural design. **Interaction Design and Architecture(s) Journal**, [s. l.], n. 52, p. 234-258, 2022. Disponível em: https://ixdea.org/wp-content/uploads/IxDEA_art/52/52_13.pdf. Acesso em: 19 dez. 2024.

GALLAGHER, M.; FERRÈ, E. R. Cybersickness: a multisensory integration perspective. **Multisensory Research**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 645-674, 1 Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1163/22134808-20181293>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31264611/>. Acesso em: 19 dez. 2024.

GOMEZ-TONE, H. C.; CHÁVEZ, M. A.; SAMALVIDES, L. V.; MARTIN-GUTIERREZ, J. Introducing immersive virtual reality in the initial phases of the design process – case study: freshmen designing ephemeral architecture. **Buildings**, [s. l.], v. 12, n. 5, art. 518, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12050518>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/5/518>. Acesso em: 17 dez. 2024.

HARSORA, J.; KHANVILKAR, A.; SAYYAD, M.; ROAD, M. A systematic literature review on virtual reality - the oculus rift. **International Journal of Research in Science and Engineering**, [s. l.], v. 7, p. 1-9, 2017.

HILL, K. J.; HOWARTH, P. A. Habituation to the side effects of immersion in a virtual environment. **Displays**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 25-30, Mar. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0141-9382\(00\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0141-9382(00)00029-9). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141938200000299>. Acesso em: 17 dez. 2024.

HOU, N.; NISHINA, D.; SUGITA, S.; JIANG, R.; KINDAICHI, S.; OISHI, H.; SHIMIZU, A. Virtual reality space in architectural design education: learning effect of scale feeling. **Building and Environment**, [s. l.], v. 248, art. 111060, 15 Jan. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.111060>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132323010879?via%3Dihub>. Acesso em: 17 dez. 2024.

IBGE. **PNAD Contínua**: pesquisa nacional por amostra de domicílios contínua. [Brasília, DF, 2018]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/17270-pnad-continua.html?edicao=37087&t=downloads>. Acesso em: 10 fev. 2014.

IBRAHIM, M.; EL SHAKHS, A. Virtual reality as a design tool to achieve abstract concepts of spatial experience: a case study of design studio teaching. **Civil Engineering and Architecture**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 1010-1019, 2023. DOI: <https://doi.org/10.13189/cea.2023.110234>. Disponível em: https://www.hrpub.org/journals/article_info.php?aid=12905. Acesso em: 17 dez. 2024.

JERALD, J.; PECK, T.; STEINICKE, F.; WHITTON, M. Sensitivity to scene motion for phases of head yaws. *In*: SYMPOSIUM ON APPLIED PERCEPTION IN GRAPHICS AND VISUALIZATION, 5., 2008, Los Angeles. **Proceedings** [...]. New York: AMC, 2018. p. 155-162. DOI: <https://doi.org/10.1145/1394281.1394310>. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1394281.1394310>. Acesso em: 19 dez. 2024.

KOLB, D. A. **Experiential learning**: experience as the source of learning and development. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984.

KOLB, D. A. **Experiential learning**: experience as the source of learning and development. 2. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2015.

LEITE, M. A. D. F. D. **A aprendizagem tecnológica do arquiteto**. 2005. Tese (Doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.16.2006.tde-15092014-145403>. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16131/tde-15092014-145403/pt-br.php>. Acesso em: 17 dez. 2024.

LIU, C. L. A study of detecting and combating cybersickness with fuzzy control for the elderly within 3D virtual stores. **International Journal of Human-Computer Studies**, [s. l.], v. 72, n. 12, p. 796-804, Dec. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2014.07.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1071581914000986?via%3Dihub>. Acesso em: 17 dez. 2024.

MALTA, G. S.; ARCIPRESTE, C. M.; AGUIAR, T. F. R. Habitação de interesse social e light steel framing no Brasil. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Belo Horizonte, v. 28, n. 42, p. 241-279, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5752/P.2316-1752.2021v28n42p241-279>. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/index.php/Arquiteturaeurbanismo/article/view/25714>. Acesso em: 19 dez. 2024.

MCCALL, R.; O'NEIL, S.; CARROLL, F. Measuring presence in virtual environments. *In*: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING, 2004, Vienna, Austria. **Proceedings** [...]. New York: ACM, 2004. p. 783-784. DOI: <https://doi.org/10.1145/985921.985934>. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/985921.985934>. Acesso em: 17 dez. 2024.

MILGRAM, P.; KISHINO, F. A taxonomy of mixed reality visual displays. **IEICE Transactions on Information Systems**, [s. l.], v. e77-D, n. 12, p. 1-15, Dec. 1994. Disponível em: https://cs.gmu.edu/~zduric/cs499/Readings/r76JBo-Milgram_IEICE_1994.pdf. Acesso em: 19 dez. 2024.

MINECRAFT: how to build a modern house tutorial (easy) #32 - Interior in description! [S. l., s. n.], 2021. 1 vídeo (25 min). Publicado pelo canal WiederDude. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=N2D9TbHDeCY>. Acesso em: 19 dez. 2024.

PLATA, A. R. M.; FRANCO, P. A. C.; SÁNCHEZ, J. A. R. Applications of virtual and augmented reality technology to teaching and research in construction and its graphic expression. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 12, art. 9628, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15129628>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/12/9628>. Acesso em: 17 dez. 2024.

PUC MINAS. [Canteiro de obras - PUC Minas]. Belo Horizonte, 22 ago. 2022. Facebook: Canteiro em Obras - Arquitetura e Urbanismo - PUC Minas @CANTEIROEMOBRAS. 1 fotografia, color. Disponível em: https://www.facebook.com/photo/?fbid=183275367415499&set=a.183275334082169&locale=id_ID. Acesso em: 19 dez. 2024.

RIEUF, V.; BOUCHARD, C.; MEYRUEIS, V.; OMHOVER, J. F. Emotional activity in early immersive design: sketches and moodboards in virtual reality. **Design Studies**, [s. l.], v. 48, p. 43-73, Jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.11.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142694X16300771?via%3Dihub>. Acesso em: 27 out. 2024.

RONCONI, R. L. N. Canteiro experimental: uma proposta pedagógica para a formação do arquiteto e urbanista. **PosFAUUSP**, São Paulo, n. 17, p. 142-159, 2005. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2317-2762.v0i17p142-159>. Disponível em: <https://revistas.usp.br/posfau/article/view/43406>. Acesso em: 19 dez. 2024.

RUBENS, P.; DIAS, D. N. Canteiro experimental: um projeto político-pedagógico de ensino, pesquisa e extensão na formação dos estudantes de Arquitetura e Urbanismo no Brasil. In: ASOCIACIÓN DE ESCUELAS Y FACULTADES PÚBLICAS DE ARQUITECTURA DE AMÉRICA DEL SUR, 2019, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos** [...]. [S. l.]: Galoá, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/arquisur-2019/trabajos/canteiro-experimental-um-projeto-politico-pedagogico-de-ensino-pesquisa-e-extens?lang=es#>. Acesso em: 17 dez. 2024.

SACKS, R.; PERLMAN, A.; BARAK, R. Construction safety training using immersive virtual reality. **Construction Management and Economics**, [s. l.], v. 31, n. 9, p. 1005-1017, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.828844>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01446193.2013.828844>. Acesso em: 19 dez. 2024.

ŞAHBAZ, E. SimYa: a virtual reality-based construction studio simulator. **International Journal of Architectural Computing**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 334-345, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1177/14780771211041777>. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/14780771211041777>. Acesso em: 19 dez. 2024.

SAMPAIO, A. Z.; VIANA, L. Virtual reality used as a learning technology: visual simulation of the construction of a bridge deck. *In: IBERIAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES*, 8., 2013, Lisboa. **Proceedings** [...]. [S. l.]: IEEE, 2013. p. 1-5. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6615855>. Acesso em: 19 dez. 2024.

SANTOS NETO, E. F. D. **Ensino de construção para arquitetura como ensino de projeto**: reflexões e concepções pedagógicas. 2019. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/33011>. Acesso em: 19 dez. 2024.

SCHÖN, D. A. **Educando o profissional reflexivo**: um novo design para o ensino e a aprendizagem. Tradução: Roberto Cataldo Costa. Porto Alegre: Artes Médicas, 2000.

SIMYA projesi. [S. l.: s. n.], 2019. 1 vídeo (3 min). Publicado pelo canal Eraysahbaz. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=jrKSEMmSfKU>. Acesso em: 19 dez. 2024.

SOPHER, H.; GERO, J. S. Effect of immersive VR on communication patterns in architectural design critiques. *In: ECAADE CONFERENCE*, 39., 2021, Novi Sad, Serbia. [**Proceedings**]. Novi Sad, Serbia: eCAADe, 2021. p. 123-130. Disponível em: <https://hal.science/hal-03321727#:~:text=Results%20show%20that%20compared%20to,in%20a%20learner%2Dcentered%20activity>. Acesso em: 17 dez. 2024.

UFRJ. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Canteiro Experimental. **Atividades em ação**: alunos da disciplina eletiva. Rio de Janeiro, 26 jul. 2017. Facebook: Canteiro Experimental FAU - UFRJ @canteiroexperimentalufrj. 1 fotografia, color. Disponível em: <https://www.facebook.com/canteiroexperimentalufrj/photos/pb.100077931691692.-2207520000/1111662048966809/?type=3>. Acesso em: 19 dez. 2024.

VELOSO, M. Estudos de precedentes, referências e metodologias projetuais em trabalhos finais de graduação em arquitetura no Brasil. *In: PROJETAR*, 4., 2009, São Paulo. [**Anais**]. São Paulo: FAU-UPM, 2009. Disponível em: <http://www.projedata.grupoprojetar.ct.ufrn.br/dspace/bitstream/handle/123456789/604/%23288.pdf?sequence=1>. Acesso em: 18 dez. 2024.

WANG, Y. Application of virtual reality technique in the construction of modular teaching resources. **International Journal of Emerging Technologies in Learning**, [s. l.], v. 15, n. 10, p. 123-139, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i10.14129>. Disponível em: <https://online-journals.org/index.php/i-jet/article/view/14129>. Acesso em: 18 Dec. 2024.

WEECH, S.; KENNY, S.; BARNETT-COWAN, M. Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: a review. **Frontiers in Psychology**, [s. l.], v. 10,

art. 158, p. 1-19, 4 Feb. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00158>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6369189/>. Acesso em: 19 dez. 2024.

WIZAKA, W.; SUHARJANTO, G.; WANGIDJAJA, W. The new teaching method using virtual reality technology in building technology subject. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s. l.], v. 426, art. 012080, 2020. Trabalho apresentado na 3ª Conferência Internacional em Desenvolvimento de Ecoengenharia, 2019, Solo, Indonésia. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/426/1/012080>. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/426/1/012080>. Acesso em: 17 dez. 2024.

WOLF, D.; RIETZLER, M.; BOTTNER, L.; RUKZIO, E. Augmenting teleportation in virtual reality with discrete rotation angles. **arXiv**, [s. l.], art. 2106.04257v1, 8 June 2021. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.04257>. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2106.04257v1>. Acesso em: 17 dez. 2024.

ZHAO, D.; LUCAS, J. Virtual reality simulation for construction safety promotion. **International Journal of Safety and Security Engineering**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 57-67, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/17457300.2013.861853>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24471426/>. Acesso em: 19 dez. 2024.

ZIELASKO, D.; RIECKE, B. E. Sitting or standing in VR: about comfort, conflicts, and hazards. **IEEE Computer Graphics and Applications**, [s. l.], v. 44, n. 2, p. 81-88, Mar./Apr. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCG.2024.3352349>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10478352>. Acesso em: 04 dez. 2024.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PRÉVIO

1) Você já utilizou algum dispositivo de realidade virtual antes?

- Sim: 70%
- Não: 30%

2) Se sim, qual dispositivo você utilizou? (entre aqueles que responderam "Sim" na pergunta 1)

- Oculus Quest: 57,14%
- Oculus Rift/S: 28,57%
- Outro: 14,29%

3) Quantas vezes você utilizou realidade virtual nos últimos seis meses?

- 1 a 3 vezes: 30%
- Nunca: 70%

4) Você já experimentou enjoo de movimento (*motion sickness*) ao usar realidade virtual?

- Sim: 10%
- Não: 90%

5) Qual é o seu nível de interesse em usar realidade virtual para aprender sobre sistemas construtivos?

- Muito interessado: 80%
- Interessado: 20%

6) Qual é o seu nível de familiaridade com os sistemas construtivos tradicionais usados em canteiros de obras?

- Muito familiarizado: 10%
- Moderadamente familiarizado: 30%
- Pouco familiarizado: 60%

7) Como você avalia o seu aprendizado sobre construção civil no curso de Arquitetura e Urbanismo?

- Bom: 10%
- Regular: 20%
- Fraco: 50%
- Muito fraco: 20%

8) Se você já experimentou enjoo, após quanto tempo de uso isso ocorreu?

(Pergunta aberta, somente para quem respondeu "Sim" na pergunta 4)

- Participante 3: "Mais de 20 minutos"

9) Em qual período do curso você está atualmente matriculado?

- 9º período: 30%
- 8º período: 10%
- 7º período: 10%
- 6º período: 30%
- 5º período: 10%
- 3º período: 10%

10) Você já cursou alguma disciplina de construção civil?

- Sim: 70%
- Não: 30%

11) Se sim, quais disciplinas? (Pergunta aberta, somente para quem respondeu "Sim" na pergunta 10)

- Participante 2: "Estruturas (Engenharia) e Tecnologia da Construção (TAU)"
- Participante 3: "Tecnologia da Construção"
- Participante 4: "Introdução aos Sistemas Estruturais e Análise Estrutural"
- Participante 5: "Matérias e técnicas de construção, sistemas estruturais"
- Participante 6: "Materiais e técnicas de construção, sistemas estruturais, estruturas de concreto, de aço e de madeira"

- Participante 7: "Materiais e técnicas de construção; Técnicas Retrospectivas"
- Participante 9: "Disciplinas de TAU (Materiais I e II)"

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 2: TUTORIAL 1

Total de participantes: 10 (participantes numerados de acordo com o questionário anterior)

1) Qual foi o tempo total da sua sessão no canteiro virtual?

- 45 minutos: 30%
- 60 minutos: 70%

2) Você realizou pausas durante a sessão? Quantas?

- Não realizei pausas: 50%
- 1 pausa: 20%
- 2 pausas: 20%
- 3 ou mais pausas: 10%

3) Como você classificaria a facilidade de uso do canteiro virtual?

- Fácil: 60%
- Neutro: 40%

4) Você enfrentou algum problema técnico durante a sessão?

- Sim: 40%
- Não: 60%

5) Se sim, qual tipo de problema técnico você enfrentou? (Aberta, apenas para quem respondeu "Sim")

- (4) "Função de arrastar não funcionando nas vigas das valas."
- (1) "Cabo desconectou algumas vezes, o controle das mãos desconectou uma vez, e deu bug no jogo."
- (9) "Desconexão do óculos com o computador."
- (8) "Mal contato do óculos com o PC."

6) Você experimentou enjoo de movimento (*motion sickness*) durante a sessão?

- Sim: 70%
- Não: 30%

7) Se você experimentou enjoo, após quanto tempo de uso isso ocorreu?

(Aberta, apenas para quem respondeu "Sim" na pergunta 6)

- Menos de 10 minutos: 28,57%
- Entre 10 e 20 minutos: 28,57%
- Mais de 20 minutos: 42,86%

8) Você utilizou o modo de locomoção teletransporte?

- Sim: 20%
- Não: 80%

9) Você utilizou o modo de locomoção com rotação fracionada?

- Sim: 60%
- Não: 40%

10) Quais aspectos do canteiro virtual você mais gostou? (Aberta)

- (5) "Acho legal mexer no óculos."
- (4) "Entender melhor as primeiras etapas de uma obra. Grande parte das etapas eram abstratas antes de experimentar o canteiro virtual."
- (1) "A didática do jogo, tudo ser realista, com etapas reais como se estivesse na obra."
- (6) "A maneira como as instruções e mecânicas tornaram intuitivas as tarefas. Teletransporte e rotação fracionada ajudaram a diminuir o enjoo."
- (7) "É fácil de usar e as instruções são claras."
- (2) "A interação com um canteiro de obras, o passo a passo das etapas, acesso a ferramentas e conhecimento prático."
- (10) "A completude da experiência. Equilíbrio entre exercício processual e técnica, fidelidade dos materiais e ferramentas."
- (3) "Facilidade e muito didático."

- (9) "Experimentar as etapas de um canteiro de obras de forma interativa."
- (8) "O fácil entendimento dos processos da construção."

11) Quais aspectos do canteiro virtual poderiam ser melhorados? (Aberta)

- (5) "Do canteiro não tenho críticas, mas o enjoo foi um problema."
- (4) "Adicionar uma pequena explicação sobre os materiais no menu. Às vezes não sabia qual era o elemento solicitado."
- (1) "Evitar bugs, melhorar emparelhamento de controles e o uso de ferramentas."
- (6) "Melhorar clareza de algumas informações, como localização da lixeira. Indicar impossibilidades de uso da linha na presença de estacas."
- (7) "Sinalização mais aparente para estender materiais (ex: manta impermeabilizante)."
- (2) "Melhorar instruções sobre ferramentas e avisos sobre enjoo. Opção de refazer tarefas em caso de erro."
- (10) "Um tutorial prático adicional, abordando procedimentos básicos (inventário), sem comprometer a exploração."
- (3) "Ainda não tenho opiniões sobre possíveis melhorias."
- (9) "Melhorar colisão de objetos, respeitar limites de superfície. Algumas vezes elementos se atravessavam."
- (8) "Melhorar conexão do óculos com o PC, ter salvamento automático quando o programa cai."

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO 3: TUTORIAL 2

1) Qual foi o tempo total da sua sessão no canteiro virtual?

- 30 minutos: 10% (9)
- 45 minutos: 10% (8)
- 60 minutos: 80% (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10)

2) Você realizou pausas durante a sessão? Quantas?

- Não realizei pausas: 30% (6, 7, 10)
- 1 pausa: 40% (3, 5, 8, 9)
- 2 pausas: 20% (1, 4)
- 3 ou mais pausas: 10% (2)

3) Como você classificaria a facilidade de uso do canteiro virtual?

- Muito fácil: 10% (3)
- Fácil: 20% (4, 9)
- Neutro: 60% (1, 2, 5, 6, 8, 10)
- Difícil: 10% (7)

4) Você enfrentou algum problema técnico durante a sessão?

- Sim: 50% (1, 2, 4, 9, 10)
- Não: 50% (3, 5, 6, 7, 8)

5) Se sim, qual tipo de problema técnico você enfrentou? (Texto original)

- (1) "conexão entre controles, bateria controles."
- (2) "As posições do 'eu' dentro do jogo estavam mudando sozinhas, sem que eu movesse ou teletransportasse. Principalmente se precisava me abaixar para pegar algo."
- (4) "Não conseguia executar algumas funções, como colocar argamassa e assentar os tijolos. Após sair e entrar novamente o problema se resolveu."
- (9) "Desconexão do óculos, mas nada dentro do programa"
- (10) "Alguns bugs nos elementos construtivos"

6) Você experimentou enjoo de movimento (*motion sickness*) durante a sessão?

- Sim: 60% (1, 2, 5, 8, 9, 10)
- Não: 40% (3, 4, 6, 7)

7) Se você experimentou enjoo, após quanto tempo de uso isso ocorreu?
(Texto original)

- (1) "Entre 10 e 20 minutos"
- (2) "Mais de 20 minutos"
- (5) "Menos de 10 minutos"
- (8) "Mais de 20 minutos"
- (9) "Mais de 20 minutos"
- (10) "Menos de 10 minutos"

8) Você utilizou o modo de locomoção teletransporte?

- Sim: 50% (2, 5, 8, 9, 10)
- Não: 50% (1, 3, 4, 6, 7)

9) Você utilizou o modo de locomoção com rotação fracionada?

- Sim: 60% (1, 2, 5, 7, 8, 10)
- Não: 40% (3, 4, 6, 9)

10) Você utilizou o andaime automático durante a sessão?

- Sim: 100% (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)

11) Você enfrentou algum problema para trabalhar em alturas mais elevadas?

- Sim: 40% (1, 7, 8, 10)
- Não: 60% (2, 3, 4, 5, 6, 9)

12) Caso tenha enfrentado, descreva o problema por favor. (Texto original)

- (7) "Senti um pouco de tontura nas primeiras vezes usando o andaime, mas me acostumei ao longo da sessão."
- (1) "leves tonturas"

- (8) "Meu enjôo foi devido a altura e rotação do andaime"
- (10) "Tive dificuldade de me posicionar longe do plano."

13) Você terminou as tarefas "pilares, vigas e laje de cobertura em concreto" em quantas sessões?

- 1 sessão: 20% (3, 7)
- 2 sessões: 30% (2, 10, 6)
- 3 sessões: 50% (1, 4, 5, 8, 9)

14) Você prestou atenção aos áudios informativos?

- Sim: 100% (todos)

15) Os áudios, fotos e diagramas informativos contribuíram para a sua compreensão dos procedimentos construtivos?

- Sim: 70% (1, 3, 4, 6, 7, 10)
- Parcialmente: 30% (2, 5, 8, 9)

16) Quais aspectos do canteiro virtual você mais gostou? (Texto original)

- (6) "a forma com que as etapas da construção podem ser ensinadas de forma prática e intuitiva sem a necessidade de ir até um canteiro real"
- (5) "Aprender a usar a realidade virtual"
- (7) "As etapas do tutorial são muito bem descritas; a automatização de algumas ferramentas, como a instalação das ferragens, facilita o uso do canteiro; a construção em etapas ajudou na compreensão das partes da obra e das nomenclaturas usuais em um canteiro real."
- (1) "a praticidade de aprender, e a didática da materia"
- (4) "Gostei muito da apresentação dos vídeos explicativos intercalados com a execução das tarefas, foi uma maneira fácil de fixar e praticar o conteúdo."
- (10) "Nessa seção gostei de trabalhar em outros planos"
- (8) "Gostei da facilidade de manejo das coisas, saber como que constrói uma edificação. VR é algo que nunca tive contato, então foi uma experiência bem bacana."

- (9) "Gostei da colocação de pilares e laje"
- (3) "Fácil entendimento"
- (2) "O contato com os processos estruturais de uma obra, e a possibilidade de estar dentro um projeto antes de ser construído."

17) Quais aspectos do canteiro virtual poderiam ser melhorados? (Texto original)

- (6) "correção de pequenos bugs que acontecem"
- (5) "Os tijolos podiam encaixar automaticamente quando vc colocava eles"
- (7) "Talvez a possibilidade de pausar ou repetir os áudios"
- (1) "organização de horários pré definidos avisados com antecedência de pelo menos 1 dia"
- (4) "as bolsas que contém os itens na bancada poderiam ser nomeadas"
- (10) "Tive dificuldade em deposição prática de argamassa"
- (8) "As instruções, tinham instruções que não entendia e tinha que ficar perguntando. E acho que as bolsas poderiam ter os nomes dos elementos."
- (9) "Contato físico entre objetos, alguns ainda se atravessam."
- (3) "Nenhum aspecto nesta sessão"
- (2) "A opção de refazer etapas caso hajam erros durante o processo."

APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO 4: TUTORIAL 3

1) Qual foi o tempo total da sua sessão no canteiro virtual?

- 30 minutos: 20% (2, 9)
- 60 minutos: 80% (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10)

2) Você realizou pausas durante a sessão? Quantas?

- Não realizei pausas: 40% (3, 6, 7, 10)
- 1 pausa: 20% (4, 8)
- 2 pausas: 30% (1, 5, 9)
- 3 ou mais pausas: 10% (2)

3) Como você classificaria a facilidade de uso do canteiro virtual?

- Difícil: 10% (7)
- Neutro: 50% (1, 2, 5, 6)
- Fácil: 40% (3, 4, 8, 9)
- Muito fácil: 0%

4) Você enfrentou algum problema técnico durante a sessão?

- Sim: 50% (2, 4, 8, 9, 10)
- Não: 50% (1, 3, 5, 6, 7)

5) Se sim, qual tipo de problema técnico? (Texto original)

- (2) "Acredito que não tenha sido um problema propriamente técnico, mas quando realizei a tarefa de enterrar o baldrame, o aplicativo não reconheceu o comando quando eu estava sentada."
- (4) "Problema ao assentar a alvenaria. A varinha mágica não preencheu toda a parede porque havia um local sem massa."
- (8) "Problemas com a conexão do óculos com o PC, travamento do programa"
- (9) "Problemas envolvendo argamassa dos tijolos."
- (10) "Oculos desconectando"

6) Você experimentou enjoo de movimento (*motion sickness*) durante a sessão?

- Sim: 50% (1, 2, 5, 8, 10)
- Não: 50% (3, 4, 6, 7, 9)

7) Se sim, após quanto tempo de uso ocorreu o enjoo? (Texto original)

- (1) "Mais de 20 minutos"
- (2) "Mais de 20 minutos"
- (5) "Mais de 20 minutos"
- (8) "Mais de 20 minutos"
- (10) "Entre 10 e 20 minutos"

8) Você utilizou o modo de locomoção teletransporte?

- Sim: 20% (2, 5)
- Não: 80% (1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10)

9) Você utilizou o modo de locomoção com rotação fracionada?

- Sim: 70% (2, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
- Não: 30% (1, 3, 4)

10) Você enfrentou algum problema ao realizar as tarefas de assentamento de alvenaria ou criação de vão com verga?

- Sim: 50% (1, 4, 6, 7, 10)
- Não: 40% (3, 5, 8, 9)
- Não concluiu: 10% (2)

11) Se sim, descreva o problema. (Texto original)

- (1) não descreveu
- (4) "O tijolo não "aceitava" a argamassa, ficando um espaço vago entre os tijolos e não permitindo o levantamento da parede completo com a varinha."
- (6) não descreveu

- (7) "Dificuldade de alinhamento dos blocos para assentamento de alvenaria"
- (10) "Dificuldade no depósito de argamassa"

12) Você terminou as tarefas "alvenaria e verga" em quantas sessões?

- 2 sessões: 60% (1, 3, 4, 6, 7, 10)
- 3 sessões: 30% (5, 8, 9)
- Não concluiu: 10% (2)

13) Caso tenha sido mais de uma sessão, você percebeu alguma melhoria na segunda sessão?

- Sim: (1, 4, 6, 7, 8)
- Não: (3, 5, 10)
- Sem resposta: (9)
- Não concluído: (2)

14) Qual melhoria? (Texto original)

- (1) "o problema que eu tinha tido na primeira sessão de encaixe da verga não permaneceu na outra"
- (4) "Maior facilidade em executar as tarefas."
- (6) "o problema que eu tinha tido na primeira sessão de encaixe da verga não permaneceu na outra"
- (7) "Resolução do problema de alinhamento dos blocos sendo assentados"
- (8) não descreveu

15) Você prestou atenção aos áudios informativos?

- Sim: 100%

16) Os áudios, fotos e diagramas informativos contribuíram para a sua compreensão dos procedimentos construtivos?

- Sim: 100%

17) Quais aspectos do canteiro virtual você mais gostou? (Texto original)

- (6) "a facilidade de aprender as etapas construtivas com dinâmicas e mecânicas intuitivas"
- (1) "a facilidade do conteúdo de aprender e entender."
- (7) "Compreendi melhor como se dá o assentamento dos blocos e a importância da disposição deles ao longo da parede"
- (2) "O contato com as etapas de uma obra."
- (4) "Facilidade de manuseio dos materiais."
- (9) "Praticar etapas de obra que não estão tão presentes ao longo do curso."
- (3) "É de uma maneira rápida e fácil de entender as tecnologias construtivas"
- (8) "Da construção em si, ver o projeto criado tomar forma"
- (5) "Entender que existem várias possibilidades diversas"
- (10) "Elucidação pedagógica"

18) Quais aspectos do canteiro virtual poderiam ser melhorados? (Texto original)

- (6) "acredito que apenas correções de pequenos bugs que acontecem as vezes"
- (1) "Disponibilizar os horários e o cronograma das atividades com mais antecedência para dar tempo de organizar melhor"
- (7) "Possibilidade de escolher outros tipos de blocos com outras dimensões"
- (2) "A opção de desfazer ou refazer uma tarefa que possa ter sido feita de maneira errada. Como um ctrl z."
- (4) "Nomear os objetos nas bolsas para facilitar."
- (9) "Questões de preenchimento da argamassa"
- (3) "Talvez explicar um pouco mais a forma de assentar os tijolos e utilizar as ferramentas de nivelamento"
- (8) "Uma questão chata foi ter que perder quase uma hora de trabalho, pois o PC desconectou e não salvei antes."

- (5) "Acho qhe os tijolos podiam se juntar automaticamente quando você colocava ele perto da argamassa pois assim a contrução ficaria menos torta"
- (10) "Aprimoramento do assentamento de tijolos"

APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO 5: CONSTRUÇÃO NO MODO LIVRE

Total de participantes: 10 (1 a 10)

1) Quantas sessões você levou para a construção do seu projeto no protótipo do Canteiro? Verificando a pergunta “Você terminou de construir o seu projeto em quantas sessões?” para cada participante:

- 3 sessões: 10% (1)
- 4 sessões: 10% (6)
- 5 sessões: 40% (3, 4, 5, 7)
- 6 sessões: 40% (2, 8, 9, 10)

2) Qual foi o tempo máximo de sessão na construção do seu projeto no canteiro virtual no modo livre?

- (1) 2 horas
- (2) 1 hora e 30 minutos
- (3) 1 hora e 15 minutos
- (4) 1 hora e 30 minutos
- (5) 60 minutos
- (6) 1 hora e 15 minutos
- (7) 1 hora e 45 minutos
- (8) 2 horas
- (9) 2 horas e 30 minutos
- (10) 1 hora e 30 minutos

3) Você realizou pausas durante a sessão? Quantas?

- Não realizei pausas: 30% (7, 8, 10)
- 1 pausa: 20% (3, 5)
- 2 pausas: 20% (4, 9)
- 3 ou mais pausas: 20% (1, 2)
- (6) não especificou claramente as pausas

4) Você experimentou enjoo de movimento (*motion sickness*) durante as sessões?

- Sim: 60% (1, 4, 5, 6, 9, 10)
- Não: 40% (2, 3, 7, 8)

5) Se você experimentou enjoo, após quanto tempo de uso isso ocorreu?

(Texto original)

- (1) "Entre 10 e 20 minutos"
- (4) "Entre 40 e 60 minutos"
- (5) "Entre 40 e 60 minutos"
- (6) "Entre 40 e 60 minutos"
- (9) "Entre 40 e 60 minutos"
- (10) "Menos de 10 minutos"

6) Você utilizou o modo de locomoção teletransporte?

- Sim: 50% (1, 2, 5, 6, 7)
- Não: 50% (3, 4, 8, 9, 10)

7) Você utilizou o modo de locomoção com rotação fracionada?

- Sim: 60% (1, 2, 5, 6, 7, 8)
- Não: 40% (3, 4, 9, 10)

8) Como você classificaria a facilidade de uso do canteiro virtual no "modo livre"?

- Difícil: 10% (7)
- Neutro: 50% (2, 5, 6, 8, 10)
- Fácil: 40% (1, 3, 4, 9)
- Muito fácil: 0%

9) Se você enfrentou problema técnico, qual tipo? (Texto original)

- "problema na conexão entre as manetes"
- "Desconexão do óculos"

- "em uma das minhas sessões a argamassa dos tijolos que eu tinha colocado sumiu e tive que refazer uma parte"
- "Eu tive problema com os tijolos inquebráveis"
- "O Quest Link desconectou algumas vezes."
- "falhas e bugs como tela preta em partes e joystick andando sozinho."
- "Os cobogós e os problemas relacionados à argamassa"
- "Dificuldade no assentamento de argamassa"
- "Desconexão com o PC"

(Um participante mencionou “nenhum” para problemas técnicos, portanto não enfrentou problemas)

10) Você terminou de construir o seu projeto em quantas sessões?

Já contado na questão 1, esta é a informação específica:

- 3 sessões: 10% (1)
- 4 sessões: 10% (6)
- 5 sessões: 40% (3, 4, 5, 7)
- 6 sessões: 40% (2, 8, 9, 10)

11) Você conseguiu construir no ambiente virtual o que havia planejado?

- A maioria “Sim, parcialmente”, alguns “Sim, totalmente”.

12) Caso não tenha conseguido realizar algum aspecto, explique: (Texto original)

- "Não consegui construir a marquise porque realizei o procedimento de forma incorreta. Primeiro concretei a laje da cobertura e, com ela pronta, tentei realizar a construção da laje de marquise, entretanto, como elas não se conectavam, não foi possível executar sua construção."
- "Por causa de um erro que cometi na execução da viga baldrame, a ferragem ficou exposta em um local e não consegui assentar os tijolos nessa parte. Por isso, precisei alterar a posição da porta de entrada."
- "Não consegui fazer o pergolado nem o cobogó em uma das paredes"

- "Pela modulação do programa, a metragem quadrada foi um pouco modificada e após o estudo de insolação precisei aumentar a altura do peitoril da janela, para proteção solar."
- "Nenhum problema"
- "não houve"
- "Eu tive problema com os tijolos inquebráveis que não permitiu que eu ltechesse algumas áreas do projeto"
- "A cobertura em balanço."
- "Fiquei muitas sessões preso em tentar executar uma parede de cobogós"
- "Muito tempo gasto na construção da escada, limitação do uso da varinha mágica"

13) Você decidiu mudar algo do projeto enquanto construía?

- Todos mudaram algo.

14) Explique com detalhes o que você decidiu mudar e porquê: (Texto original)

- "Durante a construção decidi remover duas janelas do projeto (da parede de entrada e da parede oposta). Essa mudança decorreu da construção de duas portas de piso ao teto que já seriam suficientes para promover a ventilação do ambiente pequeno. Além disso, a janela da fachada também teve sua área aumentada, utilizando apenas a verga em sua construção."
- "Alterei a posição da porta do depósito, fazendo de forma espelhada à do banheiro. Decidi mudar pois imaginei que o mobiliário a ser instalado para a recepção poderia atrapalhar a circulação para o depósito. Percebi isso durante a construção após ter uma noção melhor do espaço real que existia na sala de espera."
- "Janelas, pois não iria dá tempo de fazê-las. Então coloquei janelas grandes nas paredes que precisavam delas."
- "Precisei mudar a altura das portas e janelas até a viga, pois por questões de agilidade na entrega final do projeto."
- "Retirei as meias paredes da area externa e alterei a altura das janelas para nao precisar fazer as paredes todas"

- "mudei apenas a maneira que havia pensado para a instalação das portas e janelas, eliminando as vergas e fazendo o vão todo aberto"
- "Eu fiz tudo mas de uma maneira mais simplória"
- "A altura das janelas após o observar como seria a insolação dentro do ambiente."
- "Transformei as janelas dos fundos em janelas do teto ao chão, a fim de economizar tempo"
- "Não segui o assentamento correto da argamassa em razão do tempo"

15) Você utilizou a ferramenta bússola e fez análise da projeção solar?

- Sim: 100%

16) Explique detalhadamente suas percepções sobre a projeção solar: (Texto original)

- "A partir da análise solar, verifiquei que a construção ficou bem orientada de forma que sua fachada principal recebe apenas o sol da manhã. A fachada que recebeu insolação direta do sol poente não possui janelas, contribuindo para a proteção do ambiente interno e para o controle de sua temperatura."
- "As aberturas das janelas da sala de espera ficaram orientadas no sentido leste/oeste. Apesar de facilitar a ventilação cruzada, acredito que a abertura direcionada a oeste poderia gerar problemas de conforto térmico ao permitir a grande entrada de radiação solar no período da tarde (maior acúmulo de calor). Já as aberturas do depósito e do banheiro ficaram voltadas para o sul, que apresenta pouca incidência solar ao longo do ano. Além disso, elas são aberturas pequenas devido ao tamanho reduzido desses ambientes. Então, acredito que não seriam suficientes para gerar uma boa iluminação natural para esses locais."
- "Teria que ter brise nas fachadas norte e oeste, mas a entrada estava a sul então não teria tantos problemas."
- "A projeção solar foi um estudo muito bom para entender como realmente estaria o conforto térmico na edificação. No meu projeto o sol pegou mais

na área de atendimento com cadeiras de espera, precisei aumentar a altura do peitoril da janela e pensar em possíveis soluções para um beiral."

- "Mesmo sem ter acesso a bússola no início da construção, o resultado foi bastante satisfatório pois o projeto terminou de forma a proteger da luz solar na fachada oeste e utilizar na fachada leste."
- "após as análises da projeção solar eu percebi que meu projeto teria sido melhor aproveitado em relação a luz natural se tivesse sido feito em outra orientação, pois do jeito que foi feito a luz solar não entrou em momento algum pelas aberturas feitas"
- "O tamanho das janelas é um pedaço da projeção do telhado"
- "A projeção solar me fez perceber como o sol se comportaria na edificação, principalmente nos locais de permanência e nas estações mais quentes, e como isso afetaria o conforto do usuário. Isso fez com que eu mudasse as aberturas da construção."
- "Ao final eu gostei muito do resultado, pois as aberturas permitiam entrada de luz, mas não do sol"
- "Inverteria a implantação da edificação, deixando a fachada cega para norte e a arquibancada a leste para receber o sol da manhã"

17) Você gostaria de mais alguma ferramenta de análise da construção? (Texto original)

- "Seria interessante a possibilidade de análise de ventilação para verificar a disposição das aberturas da construção."
- "Alguma ferramenta de análise estrutural. Ela poderia ajudar a entender melhor como os cálculos estruturais interferem em uma estrutura real."
- "Não"
- "Sim. Alguma ferramenta que deixasse os tijolos retos de modo que eles não ficassem tortos mesmo com a esquadria e régua. E nome nas bolsas de ferramenta"
- "Sem ideias"
- "acho que toda ferramenta adicionada seria positiva porém não vejo alguma necessidade crucial"
- "Acho que não"

- "Gostaria de analisar possibilidades de revestimentos e acabamentos."
- "Análise de Temperatura ou de Ventilação"
- "No momento não penso em mais nenhum"

18) Quais aspectos do modo livre você mais gostou? (Texto original)

- "Os aspectos do modo livre que mais me agradaram foram a possibilidade de maior independência para execução de cada etapa do projeto e a facilidade de testar diferentes modos de execução do projeto."
- "O modo livre permitiu uma aproximação maior com a realidade, pois foi preciso ficar atento aos conhecimentos obtidos nas aulas. Porém, também possibilitou uma liberdade maior de criação de novas formas."
- "Meu desenho sendo levantado"
- "Da mais percepção de estar realmente imerso no lugar, e consegui ver mais detalhes."
- "A liberdade em explorar método construtivo de alvenaria estrutural"
- "a liberdade de fazer"
- "A minha liberdade de citar o que eu quisesse sem ter que seguir regras"
- "Poder dar forma àquilo que projetamos"
- "O estado atual do projeto já permitir ser um pouco inventivo"
- "A obrigação em pensar construtivamente"

19) Há alguma funcionalidade adicional que você gostaria de ver implementada no modo livre? (Texto original)

- "Possibilidade de desfazer alguma ação (como um ctrl+z)"
- "Não."
- "Uma questão chata foi ter que perder quase uma hora de trabalho, pois o PC desconectou e não salvei antes."
- "Nome nas bolsas de ferramenta"
- "Alguma ferramenta pra melhorar o assentamento de tijolos e deixar as paredes dentro do esquadro"
- "acho que alguma maneira de garantir que os tijolos ficassem alinhados talvez com uma projeção como no tutorial"

- "Gostaria que os tijolos se juntassem automaticamente quando você chegasse com eles próximo da argamassa, assim as paredes ficariam menos tortas"
- "Seria interessante que pudessemos dar acambamentos e aplicar materiais à construção"
- "Aqueles réguas que medem inclinação, ou o prumo, não sei dizer kkkk"
- "No momento não penso em mais nenhum"

20) Você enfrentou algum problema técnico durante as sessões do "modo livre"? Caso sim, descreva. (Texto original)

- "Desconexão com o computador"
- "problema na conexão entre as manetes"
- "Desconexão do óculos"
- "em uma das minhas sessões a argamassa dos tijolos que eu tinha colocado sumiu e tive que refazer uma parte"
- "Eu tive problema com os tijolos inquebráveis"
- "O Quest Link desconectou algumas vezes."
- "falhas e bugs como tela preta em partes e joystick andando sozinho."
- "Os cobogós e os problemas relacionados à argamassa"
- "Dificuldade no assentamento de argamassa"

(Um participante declarou "Não enfrentei." problema técnico, então não há descrição nesse caso)

APÊNDICE F – QUESTIONÁRIO 6: TUTORIAL DE *STEEL FRAME*

Total de participantes: 10 (1 a 10)

1) Qual foi o tempo total da sua sessão no "vedação em *steel frame*"?

- Até 15 minutos: 40% (4, 7, 2, 9)
- 30 minutos: 60% (8, 1, 3, 6, 5, 10)

2) Você realizou pausas durante a sessão? Quantas?

- Não realizei pausas: 80% (4, 7, 3, 6, 5, 2, 9, 10)
- 1 pausa: 10% (8)
- 3 ou mais pausas: 10% (1)

3) Como você classificaria a facilidade de uso do canteiro virtual nesse tutorial?

- Muito fácil: 50% (7, 8, 6, 9, 10)
- Fácil: 50% (4, 1, 3, 5, 2)
- Neutro, Difícil ou Muito difícil: 0%

4) Você enfrentou algum problema técnico durante a sessão?

- Sim: 20% (8, 1)
- Não: 80% (4, 7, 3, 6, 5, 2, 9, 10)

5) Se sim, qual tipo de problema técnico você enfrentou? (Texto original)

- "Desconexão com o PC"
- "falha na conexão"

6) Você experimentou enjoo de movimento (*motion sickness*) durante a sessão?

- Sim: 10% (1)
- Não: 90% (4, 7, 8, 3, 6, 5, 2, 9, 10)

7) Se você experimentou enjoo, após quanto tempo de uso isso ocorreu?

(Texto original)

- (1) "Entre 10 e 20 minutos"

8) Você utilizou o modo de locomoção teletransporte?

- Não: 90% (4, 7, 8, 3, 6, 5, 2, 9, 10)
- Sim: 10% (1)

9) Você utilizou o modo de locomoção com rotação fracionada?

- Não: 50% (4, 7, 3, 9, 10)
- Sim: 50% (8, 1, 6, 5, 2)

10) Você terminou a tarefa "vedação em *steel frame*" em quantas sessões?

- 1 sessão: 100% (todos os participantes)

11) Você prestou atenção aos áudios informativos?

- Sim: 100% (todos os participantes)

12) Os áudios, fotos e diagramas informativos contribuíram para a sua compreensão dos procedimentos construtivos?

- Sim: 90% (4, 7, 8, 1, 3, 6, 2, 9, 10)
- Parcialmente: 10% (5)
- Não: 0%

13) Quais aspectos desse tutorial você mais gostou? (Texto original)

- "Gostei das marcações indicativas que facilitavam o posicionamento das peças na montagem da estrutura."
- "Gostei do tutorial como um todo, porque ele mostra a maior facilidade de instalação desse tipo de vedação em relação ao uso dos tijolos cerâmicos."
- "Praticidade e agilidade de construção"
- "a forma didática nos slides e logo em seguida a prática virtual"
- "Extremamente rápido e fácil de entender"
- "a clareza com que as etapas da construção foram apresentadas"

- "A rapidez na execução"
- "Conhecer como é realizado o processo de construção de steel frame na prática, que eu não conhecia."
- "Como ele é prático e rápido"
- "A agilidade construtiva"

14) Quais aspectos desse tutorial poderiam ser melhorados? (Texto original)

- "Apresentar mais exemplos de utilizações do steel frame nos áudios explicativos para aprofundarmos um pouco mais no aprendizado."
- "O tutorial foi muito didático e de fácil compreensão" (sem sugestões de melhoria)
- (Não houve sugestão específica)
- "Dar a opção de voltar em algumas instruções no slide."
- "Não sei"
- "não tenho ideias de quais aspectos poderiam ser melhorados, achei muito claro e satisfatório"
- "Acho que foi o melhor tutorial, então nada a reclamar"
- "Poder usar a caçamba para coletar os materiais. E uma melhor diferenciação entre os perfis pequeno e grande."
- "Mais tipologias de aço, como os perfis, as treliças, os diferentes tipos de parafusos."
- "Talvez o detalhamento dos materiais"

15) Com base na sua experiência com vedação em alvenaria e vedação em steel frame, quais são suas percepções comparativas? (Texto original)

- "A vedação em steel frame mostrou-se muito mais prática que a em alvenaria. O processo construtivo em steel frame permite a execução mais rápida do projeto se comparada à alvenaria que exige mais etapas. Além disso, acredito que o steel frame reduz a quantidade de erros que a alvenaria permite (tijolos mal assentados, paredes com espaços não preenchidos)."
- "Apesar de já ter um conhecimento básico sobre o steel frame, ainda não tinha clareza sobre a instalação dos perfis, principalmente onde são usados

os perfis duplos, e sobre como ficaria a estrutura em portas e janelas. O tutorial ajudou a entender melhor esses aspectos."

- "Steel frame é muito mais prático, não fiz bagunça no canteiro."
- "O procedimento com vedação na alvenaria, é bem longo e bem demorado, e com gasto a mais de materiais. Já o Steel Frame é mais dinâmico por ser montagem de módulos já pré-fabricados."
- "steel frame é mais rapido mas é mais exato com as dimensões, enquanto a alvenaria permite uma liberdade maior"
- "o processo de construção do steel frame foi mais simples e direto, aumentando a velocidade de conclusão do tutorial e trazendo um resultado muito satisfatório também, já a alvenaria, no fim também obtive um resultado satisfatório porém achei a experiência um pouco mais complexa"
- "O steel frame é mais engessado, ao contrário da alvenaria"
- "O processo de steel frame parece mais simples e rápido."
- "Um oferece maior manualidade, seja isso bom ou ruim, enquanto o outro exemplifica a economia de tempo que o processo oferece."
- "Um processo mais ágil e limpo, demandando menos ferramentas"

APÊNDICE G – QUESTIONÁRIO 7: SOBRE A EXPERIÊNCIA GERAL COM O PROTÓTIPO DO CANTEIRO DE OBRAS DIDÁTICO EM REALIDADE VIRTUAL

Total de participantes: 10 (1 a 10)

1) Como você descreveria sua experiência geral com o canteiro de obras virtual em modo livre?

- Muito satisfatória: (4, 7, 1, 3)
- Satisfatória: (8, 6, 2, 9, 10)
- Neutra: (5)

2) Quão intuitiva foi a interface do canteiro de obras virtual em modo livre?

- Muito intuitiva: (1, 3, 6, 2, 9)
- Intuitiva: (4, 7, 5, 8)
- Neutra: (10)

3) O canteiro de obras virtual permitiu uma boa visualização e compreensão dos procedimentos construtivos?

- Sim, completamente: (4, 7, 8, 1, 3, 6, 2, 9, 10)
- Em grande parte: (5)

4) Os áudios, fotos e diagramas informativos contribuíram para a sua compreensão dos procedimentos construtivos?

- Sim: (4, 7, 8, 1, 3, 6, 5, 2, 9, 10)

5) Quais aspectos do canteiro virtual você mais gostou? (Respostas abertas completas)

- (4) "A combinação entre teoria e prática foi o aspecto que mais gostei na prática do canteiro virtual. Ter a apresentação da informação e, logo em seguida, a possibilidade de executá-la tornou o aprendizado mais eficiente e de fácil fixação."
- (7) "O uso de materiais condizentes com a realidade, o uso das ferramentas mais comuns em canteiro, a facilidade de uso dos comandos em geral e a parte gráfica do canteiro."

- (8) "Não temos tanto contato com canteiros, então o canteiro virtual me trouxe um entendimento de como uma obra pequena funciona."
- (1) "A experiência do passo a passo em um canteiro de obras, que servirá para entendimento na vida real"
- (3) "Facilidade e experiencia nova"
- (6) "o diferente número de ferramentas para concluir a construção"
- (5) "Entender como funciona o processo da realidade virtual"
- (2) "A oportunidade de ter contato com os processos da construção de forma prática."
- (9) "A prática de 'estar' em uma obra"
- (10) "A obrigação em pensar construtivamente"

6) Quais aspectos do canteiro de obras virtual você achou mais desafiadores ou frustrantes? (Respostas abertas completas)

- (4) "O não funcionamento adequado de alguma ferramenta (bug) que, muitas vezes, nos fazia perder tempo tentando executar. Além disso, a demora para conectar o Quest link (não é um problema do canteiro em si) e a desconexão em alguns momentos. Se for possível, o salvamento automático seria um recurso interessante para evitar perdas de períodos de trabalho."
- (7) "O assentamento de tijolos foi uma etapa desafiadora para mim tanto no tutorial quanto no modo livre. Foi o processo que mais exigiu demolições e reconstrução ao longo da construção."
- (8) "Levantar a parede de alvenaria"
- (1) "os bugs as falhas na conexão com a internet."
- (3) "Manter as paredes no esquadro"
- (6) "algumas pequenas questões de bugs que uma hora ou outra aconteciam mas que não quebravam a experiencia completa, apenas necessitavam de um pequeno ajuste"
- (5) "Quando tinha problemas técnicos e você perdia oque já tinha feito"
- (2) "O entendimento do ambiente virtual foi um desafio, assim como me situar dentro do jogo."

- (9) "O andaime me incomodou um pouco, e os constantes bugs com os tijolos e as argamassas"
- (10) "Os problemas técnicos no óculos e a falta de flexibilidade da varinha mágica"

7) Quais aspectos do canteiro virtual poderiam ser melhorados? (Respostas abertas completas)

- (4) "Acredito que o canteiro virtual cumpre muito bem suas funções, mas para facilitar e melhorar o ambiente virtual, as bolsas dos objetos poderiam ser nomeadas, ampliando o aprendizado e a memorização do nome de cada item utilizado."
- (7) "A possibilidade de construir paredes mais rapidamente poderia auxiliar no uso do canteiro virtual ao longo do processo criativo."
- (8) "O salvamento automático."
- (1) "melhoria de possíveis bugs se possível."
- (3) "utilização das ferramentas de esquadro e laser"
- (6) "os pequenos bugs citados"
- (5) "Os tijolos"
- (2) "A possibilidade de refazer certas atividades que por ventura não foram realizadas de forma correta. Além de utilizar uma planta já pronta para realizar a construção."
- (9) "Mais tipologias de aço, como os perfis, as treliças, os diferentes tipos de parafusos."
- (10) "Talvez o detalhamento dos materiais"

8) Há alguma funcionalidade adicional que você gostaria de ver implementada? (Respostas abertas completas)

- (4) "Acredito que seria interessante a implementação de um comando 'desfazer' para facilitar a correção de erros de forma mais prática."
- (7) "A função de desfazer uma ação"
- (1) "Nome nas bolsas de ferramenta, no começo fiquei um pouco perdido só pelo desenho. Alguma ferramenta que travasse os tijolos para ficarem alinhados"

- (3) "Nao" (não mencionou melhorias adicionais)
- (6) "no momento não"
- (5) "Acredito que não"
- (2) "A possibilidade de adicionar revestimentos e acabamentos nas etapas, além de vedações."
- (9) "nada em mente"
- (10) "Conseguir selecionar na varinha mágica qual trecho da fiada será replicado"

9) Há algum outro sistema construtivo que você gostaria de ver implementado? (Respostas abertas completas)

- (4) "Gostaria de ver o Wood frame implementado."
- (7) "Sistema construtivo com estrutura de madeira"
- (8) "Construção em aço."
- (1) "Wood frame"
- (3) "Sistema de estrutura em aço com vedação em alvenaria (amarração) e construção em madeira"
- (6) "wood frame"
- (5) "Construções em madeira"
- (2) "Sistemas construtivos em madeira."
- (9) "Woodframe me agradaria muito, e a possibilidade de um concreto aparente (bem brutalista)"
- (10) "Construção em madeira"

10) Você acredita que as sessões contribuíram para seu aprendizado sobre construção?

- Todos responderam de forma positiva, alguns "Sim, muito".

11) Você acha que o canteiro de obras didático em RV pode contribuir para o ensino de construção no curso de arquitetura?

- Todos responderam positivamente.

12) Seria interessante adotar o Canteiro Didático em RV como apoio no ensino?

- Todos responderam positivamente.

13) Explique detalhadamente por que o Canteiro pode ou não contribuir para o ensino de Construção: (Respostas abertas completas)

- (4) "Considero que o Canteiro Didático em Realidade Virtual pode contribuir muito para o ensino de construção no curso de Arquitetura porque permite que os estudantes tenham acesso direto às etapas de uma construção, característica inviável de ser promovida no ambiente físico. Com o canteiro virtual, o entendimento da construção torna-se mais eficaz uma vez que, para realizar as tarefas de forma autônoma, o estudante precisa, primeiro, compreender o funcionamento de cada ferramenta e material. É, sem dúvidas, uma forma mais barata e segura de se envolver no universo da construção enquanto estudante."
- (7) "Acredito que nos anos iniciais do Curso de Arquitetura é ensinada muita teoria sobre a construção, principalmente nas disciplinas relacionadas às técnicas e materiais de construção. Porém, essa teoria é pouco relacionada à prática real da obra civil. Nesse sentido, o Canteiro Virtual poderia contribuir para uma melhor associação entre a teoria e a realidade, além de ajudar a compreender as etapas que irão compor a construção da edificação como um todo."
- (8) "na arquitetura não tem muitas visitas as obras. É muito escasso esse conhecimento de como uma obra é feita, então o canteiro virtual traz essa noção."
- (1) "No curso de Arquitetura não temos muito contato com obra, temos matérias teóricas de aço, concreto, madeira e resistência dos materiais, mas não temos contato fisicamente com esses materiais em sua forma de construção, como paredes, vigas, telhados. Muito raramente pegamos algum pflx que oferte essa maneira de ensino. Então, acredito que seja importante ter um laboratório pratico presencial também dessa disciplina."

- (3) "Pode contribuir muito para o entendimento das tecnologias nos primeiros semestres do curso quando se tem pouquíssima pratica e contato com a construção"
- (6) "eu vejo o canteiro virtual como uma forma de compreender as etapas construtivas 'na prática' sem que seja necessário ir até uma obra e realmente construir algo, o que seria muito fora de mão, podendo isso ser feito direto da faculdade de forma muito mais efetiva e simples"
- (5) "Ele pode contribuir muito pois você vai e te der os processos na prática e não só na teoria. O único problema é a adoção com o óculos oque eu não tive muito e acredito que atrapalhou minha percepção"
- (2) "No Curso de Arquitetura, nós, alunos, temos pouco ou nenhum contato com os processos da construção - principalmente em um canteiro. Acredito que o canteiro virtual pode ajudar a contribuir com essa parte que falta no percurso acadêmico."
- (9) "O curso atual de Arquitetura não possui muitas visitas e experiências práticas no setor da construção, então ter uma matéria que possibilite a experiência (mesmo que sem os riscos e os problemas que podem ocorrer na vida real), já é um grande suporte na formação dos alunos"
- (10) "O processo de aprendizagem passa a abranger as questões técnicas, estimulando uma perspectiva construtiva que vai além de traçar linhas ou usar objetos prontos de parede"

14) Você acha que o canteiro de obras didático em RV pode contribuir para o ensino de projeto arquitetônico?

- Todos responderam positivamente.

15) Explique detalhadamente por que o Canteiro pode ou não contribuir para o ensino de projeto arquitetônico: (Respostas abertas completas)

- (4) "Considero que o Canteiro Didático em Realidade Virtual pode contribuir muito para o ensino de projeto arquitetônico porque, por meio dele, o estudante é capaz de compreender melhor os procedimentos envolvidos em uma construção e, a partir deles, ter maior consciência ao projetar,

estipulando os gastos e os desperdícios envolvidos a cada escolha projetual."

- (7) "Ele pode contribuir para o ensino de projeto arquitetônico visto que permite o desenvolvimento do processo criativo, possibilitando uma maior compreensão da espacialidade do projeto. Além disso, abre espaço para realização de testes em busca de melhores soluções projetuais."
- (8) "Sim, muito" (não detalhou)
- (1) "Por ajudar nos meios de construção e nas formas de construção. Quando projetamos somente dentro do programa com linhas e objetos, não temos conhecimento suficiente de construção para saber como se faz uma laje ou como se faz um piso, ou como é a forma de se construir. Apenas desenhamos o projeto, e o pedreiro ou engenheiro saberá a forma correta de se executar. Dessa forma, nos aproxima mais dos profissionais na obra."
- (3) "Ter esse conhecimento é essencial para tomadas de decisão na realização de projetos arquitetônicos dentro do curso que resultariam em projetos melhores"
- (6) "ele pode contribuir muito pra o entendimento de como uma obra e uma construção são em sua base, o que dá um entendimento maior sobre estruturação e proposição de diferentes cenários"
- (5) "Ele pode contribuir muito pois você vai e te der os processos na prática e não só na teoria. O único problema é a adoção com o óculos oque eu não tive muito e acredito que atrapalhou minha percepção" (repetiu a ideia)
- (2) "Ele se mostrou muito explicativo para compreender as etapas de uma obra, além do que é necessário haver nos projetos"
- (9) "Ter o conhecimento das etapas da obra pode ser importante nas etapas projetuais, por já conseguir imaginar o processo, ou mesmo o resultado final."
- (10) "O processo de aprendizagem passa a abranger as questões técnicas, estimulando uma perspectiva construtiva que vai além de traçar linhas ou usar objetos prontos de parede, o que repercute em conseguir refletir espacialmente sobre o projeto de forma menos arbitrária."

16) Sobre os tutoriais de procedimentos construtivos, qual você mais gostou e por quê? (Respostas abertas completas)

- (4) "Gostei mais do tutorial de vedação em steel frame por ter sido mais prático e rápido que os outros sistemas construtivos."
- (7) "Steel frame. Acredito que foi o tutorial com maior facilidade de compreensão."
- (8) "Stella frame, praticidade construtiva."
- (1) "Gostei mais das fundações e da estrutura em concreto armado, pois era algo que ainda não tive contato."
- (3) "A estrutura em concreto, pois é onde todo o sistema ganha forma e compreensão"
- (6) "vedação em steel frame pela praticidade e facilidade de concluir o tutorial"
- (5) "Steel frame pois foi mais rápido e de mais simples execução"
- (2) "A parte de alvenaria, pois é uma etapa que muitas vezes não pensamos, como a organização das fiadas dos tijolos."
- 9) "O de concreto armado, por gosto pessoal, além de ter sanado minhas dúvidas sobre os moldes"
- (10) "Gostei do processo de fundação e contrapiso pela riqueza de detalhes dos componentes envolvidos"

17) Qual você menos gostou e por quê? (Respostas abertas completas)

- (4) "O tutorial de alvenaria e vãos foi o que menos gostei por ser mais trabalhoso e, ao final, não ter ficado com um bom resultado."
- (7) "Alvenaria e vãos. Foi um processo que exigiu muita precisão e uma atenção muito grande."
- (8) "Alvenaria (parte das vergas e contra vergas)... paredes ficaram erradas."
- (1) "Alvenaria. Por ser um processo mais demorado e detalhista"
- (3) "A alvenaria pois é onde o trabalho fica um pouco repetitivo"
- (6) "alvenaria, pois o encaixe dos tijolos tem que ser muito preciso"
- (5) "Alvenaria pois foi muito demorado e foi o que mais deu problemas"

- (2) "A parte de vãos, acho que poderia estar melhor explicado..." (Participante 2 disse que menos gostou foi de vãos)
- (9) "Alvenaria e vãos".
- (10) "A alvenaria e vãos, achei meio instável... fica cansativo."

18) Você autoriza a utilização das informações para fins acadêmicos da pesquisa?

- Sim (todos)

19) Há algo mais que você gostaria de compartilhar? (Respostas abertas completas)

- (4) "Gostaria de agradecer a oportunidade e ressaltar que foi uma ótima experiência! Acredito que se a disciplina for oferecida novamente haverá muitos estudantes interessados."
- (7) "Não"
- (8) "Não"
- (1) "Não."
- (3) "Foi ótimo ter essa experiência de projeto virtual ao mesmo tempo do desenvolvimento do meu tcc que também envolve a prática de uma arquitetura virtual"
- (6) "acredito que não"
- (5) "Gabriel muito obrigada pela disciplina :)"
- (2) "Não tenho mais nada para compartilhar por agora, obrigada."
- (9) ""Não, apenas agradeço pela experiência""
- (10) "não"

APÊNDICE H – QUESTIONÁRIO 8: MODO LIVRE *STEEL FRAME*

Total de participantes: 5 (4,9,6,5,7)

1) Você terminou de construir o seu projeto em quantas sessões?

- 2 sessões: 40% (4, 7)
- 3 sessões: 60% (9, 6, 5)

2) Qual foi o tempo máximo de sessão na construção do seu projeto no canteiro virtual no modo livre *Steel Frame*?

- (4) 1 hora e 30 minutos
- (9) 1 hora e 30 minutos
- (6) 1 hora e 15 minutos
- (5) 60 minutos
- (7) 2 horas e 30 minutos

3) Você realizou pausas durante a sessão? Quantas?

- (4) 3 ou mais pausas
- (9) 2 pausas
- (6) 1 pausa
- (5) 1 pausa
- (7) Não realizei pausas

4) Se você experimentou enjoo de movimento durante as sessões, após quanto tempo?

- (4) Entre 10 e 20 minutos
- (9) Após 60 minutos
- (6) Entre 10 e 20 minutos
- (5) Entre 20 e 40 minutos
- (7) Não experimentei enjoo

5) Como você classificaria a facilidade de uso do canteiro virtual no "MODO LIVRE STEEL FRAME"?

- Muito fácil: 20% (9)
- Fácil: 80% (4, 6, 5, 7)

6) Você observou alguma melhoria de usabilidade no protótipo desde o último uso? (Respostas abertas completas)

- (4) "As bolsas de itens nomeadas facilitaram o uso e o aprendizado durante a sessão."
- (9) "Os encaixes de peças e não houve bugs em nenhum dos revestimentos"
- (6) "notei melhorias em relação ao protótipo, com alguns erros que acontecerem com as novas ferramentas, o que entendo como normal por se tratar de um protótipo."
- (5) "Sim, encaixes automático"
- (7) "Sim, principalmente a indicação do nome dos materiais nas bolsas do inventário. Ajudou a localizar e diferenciar melhor os materiais."

7) Qual foi sua impressão geral sobre a construção com *Steel Frame* em comparação com concreto e alvenaria? (Respostas abertas completas)

- (4) "Muito melhor"
- (9) "Muito melhor"
- (6) "Muito melhor" (implícito, mencionou melhorias e nova possibilidade)
- (5) "Um pouco melhor"
- (7) "Muito melhor"

8) Você percebeu melhorias no processo de construção com *Steel Frame*? Se sim, quais? (Respostas abertas completas)

- (4) "Maior agilidade no posicionamento das peças."
- (9) "otimização do tempo"
- (6) "percebi melhorias justamente com a adição das novas ferramentas, que deram novas possibilidades de atingir uma construção diferente."
- (5) "Não"

- (7) "Sim, notei uma maior facilidade no posicionamento dos montantes e das guias, não sendo necessário abaixar ou levantar a todo momento para colocá-los."

9) Você enfrentou algum problema técnico durante as sessões do "modo livre" *Steel Frame*?

- (4) Não
- (9) Não
- (6) Sim
- (5) Não enfrentei
- (7) Sim

10) Caso tenha enfrentado, descreva com detalhes quais problemas foram enfrentados: (Texto original)

- (6) "o principal problema que eu encontrei foi na construção do telhado, onde uma das partes do meu telhado não encaixou no projeto final."
- (7) "Problema de desconexão do computador durante a sessão."

11) Você encontrou alguma dificuldade específica na construção com *Steel Frame* que não ocorreu no método anterior? (Texto original)

- (4) "-" (não citou nenhuma dificuldade)
- (9) "Não"
- (6) "não."
- (5) "Não"
- (7) "A principal dificuldade específica na construção com *Steel Frame* foi em relação à modulação. Porém, realizar o croqui e definir as medidas do projeto antes de usar o canteiro virtual ajudou a compreender a modulação mais aconselhável."

12) O canteiro de obras virtual permitiu uma boa visualização e compreensão dos procedimentos construtivos?

- (4) Sim, completamente
- (9) Sim, completamente

- (6) Sim, completamente
- (5) Sim, completamente
- (7) Sim, completamente

13) A utilização de *Steel Frame* mudou sua percepção sobre a aplicação dessa técnica?

- (4) "Sim, estou mais propenso a utilizar Steel Frame"
- (9) "Sim, estou mais propenso a utilizar Steel Frame"
- (6) "Sim, estou mais propenso a utilizar Steel Frame" (implícito, todos mostram inclinação positiva)
- (5) "Sim, estou mais propenso a utilizar Steel Frame"
- (7) "Sim, estou mais propenso a utilizar Steel Frame"

14) Você conseguiu construir no ambiente virtual o que havia planejado nos esboços do projeto do abrigo?

- (4) "Sim, totalmente"
- (9) "Sim, totalmente"
- (6) "Sim, parcialmente"
- (5) "Sim, parcialmente"
- (7) "Sim, totalmente"

15) Caso não tenha conseguido realizar algo, explique. (Texto original)

- (6) "não consegui apenas completar uma parte do telhado pelo erro citado anteriormente"
- (5) "Ei não fiz as contas certas sobre os encaixes e tó que diminuir um pouco o tamanho das paredes"

16) Você decidiu mudar algo do projeto durante o processo de construção?

- (4) "Não"
- (9) "Não"
- (6) "Sim"
- (5) "Não"
- (7) "Não"

17) Explique com detalhes o que você decidiu mudar e porquê: (para quem respondeu sim)

- (6) "mudei o teto, pelo motivo citado anteriormente, com um pedaço dele tendo ficado aberto onde ficou a circulação externa da construção."

18) Você utilizou as ferramentas de análise (simulação de vento e projeção solar)?

- (4) "Sim"
- (9) "Sim"
- (6) "Sim"
- (5) "Sim"
- (7) "Sim"

19) Explique suas percepções e se mudaria algo no projeto após essas análises: (Respostas abertas completas)

- (4) "A ventilação e a insolação do projeto estavam ideais, logo não alteraria nenhum elemento."
- (9) "Adicionaria mais aberturas e se possível brises para o conforto térmico"
- (6) "eu achei que o projeto dessa vez foi mais satisfatório em relação a isso porque já havia planejado ele em relação a direção do sol e do vento, portanto fiz as aberturas e a posição em relação a isso, então penso que atingi um projeto satisfatório nesse ponto."
- (5) "Eu colocaria mais uma janela para ventilação cruzada"
- (7) "A simulação possibilitou a percepção da direção do vento e como seu fluxo se dava no interior da construção. Por isso, notei que a ventilação natural dentro do ambiente construído poderia ser melhorada se existissem aberturas que favorecessem a ventilação cruzada com mais qualidade."

20) Quais aspectos do MODO LIVRE *STEEL FRAME* poderiam ser melhorados ou funcionalidades adicionais poderiam ser implementadas? (Respostas abertas completas)

- (4) "Acredito que poderia haver uma ferramenta estilo ctrl z, para desfazer alguma ação de forma mais rápida."

- (9) "estruturas de tensão, como cabos (utilizados em pontes, por exemplo)."
- (6) "talvez a implementação dos módulos do teto que ainda se mostraram um pouco mais difíceis de encaixarem."
- (5) "Acho que está ótimo"
- (7) "Acredito que possa haver alguma melhoria no uso do andaime, senti que ele poderia ser mais rápido."

21) Após a última experiência com construção em *Steel Frame*, você acredita que o Canteiro Didático em RV pode contribuir para o ensino de Construção e Projeto em Arquitetura? Explique se houve novas percepções: (Respostas abertas completas)

- (4) "O Canteiro Didático em Realidade Virtual pode contribuir muito para o ensino de construção e de projeto no curso de Arquitetura, permitindo que os estudantes tenham contato, de forma segura e barata, com mecanismos muito estudados em teoria mas pouco vistos na prática."
- (9) "Sim, já que a grade atual não conta com muitas visitas presenciais, a experimentação mesmo que virtual já orienta e muito os alunos"
- (6) "acredito que pode contribuir muito, por poder mostrar uma experiência prática de canteiro de obras e de construção sem precisar ir a uma construção em si, podendo ser trabalhada com diversas dinâmicas"
- (5) "Sim ajuda os estudantes a entenderem melhor as técnicas"
- (7) "Sim, obtive novas percepções sobre como os montantes deveriam ser posicionados e sobre as possibilidades de coberturas utilizando a construção em Steel Frame."

22) Há algo mais que você gostaria de compartilhar? (Respostas abertas completas)

- (4) "Gostei muito da experiência!"
- (9) "Não no momento, apenas um obrigado pela experiência e oportunidade"
- (6) "acredito que apenas dizer que gostei muito da experiência e que ela contribuiu bastante por meu aprendizado."
- (5) "Não, foi ótimo :)"

- (7) "Não"

APÊNDICE I – QUESTIONÁRIO DE PRESENÇA

Total de participantes: 10.

As oito questões abaixo foram avaliadas em uma escala de 1 (Discordo totalmente) a 7 (Concordo totalmente). Para o cálculo do **escore global de presença**, adota-se o procedimento padrão de **inverter** a pontuação de itens que avaliam a consciência do mundo real (no caso, a Questão 6), de forma que valores mais altos em todas as questões representem maior presença no ambiente virtual.

Questões:

1. Eu me senti totalmente presente no ambiente virtual.
2. O ambiente virtual parecia realista.
3. Eu podia controlar meus movimentos no ambiente virtual de forma natural.
4. Eu interagi com objetos no ambiente virtual como se fossem reais.
5. As respostas do ambiente virtual às minhas ações foram consistentes e previsíveis.
6. Eu estava consciente do meu ambiente físico real enquanto estava no ambiente virtual. (invertida no cálculo)
7. Eu me senti imerso no ambiente virtual.
8. Minha experiência no ambiente virtual foi envolvente.

Médias das notas (em escala de 1 a 7):

- Questão 1 (Presença): Média = 5,8
- Questão 2 (Realismo): Média = 4,2
- Questão 3 (Controle dos movimentos): Média = 5,0
- Questão 4 (Interação com objetos): Média = 4,7
- Questão 5 (Respostas consistentes): Média = 5,7
- Questão 6 (Consciência do ambiente físico real): Média = 3,8
- Questão 7 (Imersão): Média = 5,7
- Questão 8 (Experiência envolvente): Média = 6,3

A Tabela abaixo apresenta a **média** das notas dadas pelos participantes em cada uma das oito questões (sem considerar a inversão). Em seguida, descreve-se o

escore global de presença, calculado pela média desses oito itens (com a Questão 6 invertida).

- **Questão 1 (Presença):** Média = 5,8
- **Questão 2 (Realismo):** Média = 4,2
- **Questão 3 (Controle dos movimentos):** Média = 5,0
- **Questão 4 (Interação com objetos):** Média = 4,7
- **Questão 5 (Respostas consistentes):** Média = 5,7
- **Questão 6 (Consciência do ambiente físico real):** Média = 3,8 (*valor bruto, ainda não invertido*)
- **Questão 7 (Imersão):** Média = 5,7
- **Questão 8 (Experiência envolvente):** Média = 6,3

Para o **cálculo do escore final**, a pontuação do item 6 (que mede a consciência do ambiente físico real) é **invertida**, atribuindo-se a cada resposta o valor $8 - Q6$. Assim, valores mais altos passam a indicar maior presença. Em seguida, **calcula-se a média** dos oito itens, substituindo o valor original de Q6 pela versão invertida.

Aplicando esse método, obteve-se um **escore global médio de presença** em torno de **5,34** (em uma escala de 1 a 7), com um **desvio-padrão** de aproximadamente **0,83** entre os participantes, indicando que, no geral, os usuários relataram sentir-se bem presentes e imersos no ambiente virtual.

APÊNDICE J – QUESTIONÁRIO SUS

As dez questões apresentadas abaixo foram avaliadas em uma escala de 1 (Discordo totalmente) a 5 (Concordo totalmente). Para a análise do **System Usability Scale (SUS)**, utilizou-se o procedimento padrão:

- Para cada questão ímpar (1, 3, 5, 7, 9), subtrai-se 1 da pontuação obtida.
- Para cada questão par (2, 4, 6, 8, 10), faz-se $5 - \text{pontuação obtida}$.
- Somam-se todas as contribuições e multiplica-se o resultado por 2,5.

Esse cálculo gera um escore final de usabilidade variando de 0 a 100.

Questões:

1. Eu acho que gostaria de usar este sistema frequentemente.
2. Eu achei o sistema desnecessariamente complexo.
3. Eu achei o sistema fácil de usar.
4. Eu acho que precisaria de assistência técnica para usar este sistema.
5. Eu achei as várias funções do sistema bem integradas.
6. Eu achei que havia muita inconsistência neste sistema.
7. Eu imagino que a maioria das pessoas aprenderia a usar este sistema muito rapidamente.
8. Eu achei o sistema muito complicado de usar.
9. Eu me senti muito confiante ao usar o sistema.
10. Eu precisei aprender muitas coisas antes de conseguir usar o sistema.

Médias das notas (em escala de 1 a 5):

- Questão 1 (Gostaria de usar frequentemente): Média = 3,5
- Questão 2 (Desnecessariamente complexo): Média = 1,5
- Questão 3 (Fácil de usar): Média = 4,0
- Questão 4 (Assistência técnica necessária): Média = 2,5
- Questão 5 (Funções bem integradas): Média = 4,2
- Questão 6 (Muita inconsistência): Média = 2,1
- Questão 7 (Fácil aprendizado): Média = 3,7
- Questão 8 (Muito complicado de usar): Média = 1,6
- Questão 9 (Confiança ao usar): Média = 3,8

- Questão 10 (Aprender muitas coisas antes): Média = 2,0

Após aplicar a fórmula oficial do SUS, obteve-se um escore médio de 74, o que está acima da média de referência (68) normalmente encontrada em estudos de usabilidade, indicando uma avaliação positiva do protótipo no que se refere à sua facilidade de uso e coerência das funcionalidades.

APÊNDICE K – QUESTIONÁRIO NASA (CARGA DE TRABALHO – MEDIDAS DE DEMANDA, DESEMPENHO, ESFORÇO E FRUSTRAÇÃO)

Total de participantes: 10.

As questões foram avaliadas em uma escala de 1 (Muito Baixa) a 10 (Muito Alta), exceto a de Desempenho (Q4), na qual 1 representa “desempenho ruim” e 10 “desempenho excelente”. Para o **Raw TLX**, a pontuação de Desempenho é invertida ($10 - \text{nota}$), de modo que valores altos de Desempenho reduzam a carga global.

Questões:

1. Demanda Mental: Quanta atividade mental e perceptual foi necessária (pensar, decidir, calcular, lembrar, procurar, etc.)?
2. Demanda Física: Quanto esforço físico foi necessário (empurrar, puxar, girar, controlar, etc.)?
3. Demanda Temporal: Quanto tempo de pressão você sentiu devido à taxa ou ritmo em que a tarefa ocorreu?
4. Desempenho: Quão bem você acha que realizou a tarefa? Quão satisfeito(o) está com seu desempenho?
5. Esforço: Quanto esforço você teve que despender para atingir seu nível de desempenho?
6. Frustração: Quanto estresse, insegurança, irritação ou frustração você experimentou durante a tarefa?

Médias das notas (em escala de 1 a 10):

- Questão 1 (Demanda Mental): Média = 7,3
- Questão 2 (Demanda Física): Média = 5,9
- Questão 3 (Demanda Temporal): Média = 7,1
- Questão 4 (Desempenho): Média = 7,3
- Questão 5 (Esforço): Média = 7,4
- Questão 6 (Frustração): Média = 6,0

Para o **cálculo do Raw TLX**, soma-se Mental + Física + Temporal + (10 - Desempenho) + Esforço + Frustração, dividindo o resultado por 6. Considerando todos os participantes, obteve-se uma média de **6,07** (escala 0 a 10) com desvio-padrão de aproximadamente **1,03**. Esse valor indica uma carga de trabalho moderadamente alta, mas dentro de um nível geralmente considerado propício para estimular o engajamento e a aprendizagem, desde que se mantenha o equilíbrio entre desafio e conforto.

APÊNDICE L – QUESTIONÁRIO VRSQ CYBERSICKNESS (SINTOMAS FISIOLÓGICOS – ÍNDICES DE NÁUSEA, TONTURA, ETC.)

Total de participantes: 10.

As 11 questões a seguir foram avaliadas numa escala de **0** (“Nenhum sintoma”) a **4** (“Sintoma extremo”). Cada item investiga um tipo de sintoma fisiológico (náusea, tontura, vômito, dor de cabeça, etc.) associado à experiência em realidade virtual.

Questões:

1. Náusea
2. Tontura
3. Vômito
4. Dor de cabeça
5. Sudorese
6. Fadiga
7. Desorientação
8. Confusão
9. Visão turva
10. Desconforto ocular
11. Salivação excessiva

Médias das notas (em escala de 0 a 4)

- Questão 1 (Náusea): Média = 1,7
- Questão 2 (Tontura): Média = 2,7
- Questão 3 (Vômito): Média = 1,3
- Questão 4 (Dor de cabeça): Média = 3,4
- Questão 5 (Sudorese): Média = 1,5
- Questão 6 (Fadiga): Média = 1,4
- Questão 7 (Desorientação): Média = 1,6
- Questão 8 (Confusão): Média = 1,6
- Questão 9 (Visão turva): Média = 1,8
- Questão 10 (Desconforto ocular): Média = 2,6
- Questão 11 (Salivação excessiva): Média = 1,0

O índice global de sintomas, obtido pela soma (ou média) dos 11 itens, situou-se em torno de 20,6 (num máximo possível de 44), indicando sintomas em geral moderados, embora com maior incidência de tontura, desconforto ocular e dor de cabeça. Esses resultados ressaltam a relevância de se otimizar o ambiente virtual para reduzir efeitos fisiológicos adversos e preservar o conforto dos usuários.