

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**ANÁLISE DE INTERAÇÃO EM UM JOGO  
EDUCACIONAL DE SIMULAÇÃO COM  
ÓCULOS DE REALIDADE VIRTUAL DE BAIXO  
CUSTO**

**LAYON MARTINS FONSECA**

**ORIENTADORA: PROFA. DRA. JOICE LEE OTSUKA**

São Carlos – SP

18 de setembro de 2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**ANÁLISE DE INTERAÇÃO EM UM JOGO  
EDUCACIONAL DE SIMULAÇÃO COM  
ÓCULOS DE REALIDADE VIRTUAL DE BAIXO  
CUSTO**

**LAYON MARTINS FONSECA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, área de concentração: Interação Humano Computador

Orientadora: Profa. Dra. Joice Lee Otsuka

São Carlos – SP

18 de setembro de 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

---

Folha de Aprovação

---

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Layon Martins Fonseca, realizada em 20/02/2019:



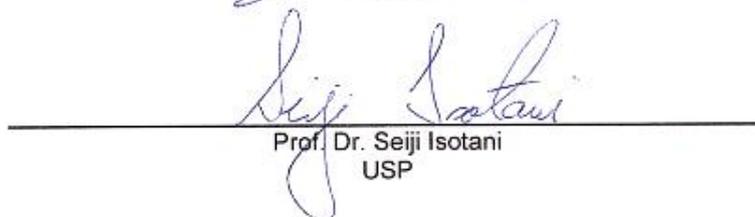
---

Profa. Dra. Joice Lee Otsuka  
UFSCar



---

Profa. Dra. Vânia Paula de Almeida Neris  
UFSCar



---

Prof. Dr. Seiji Isotani  
USP

Dedico este trabalho aos meus pais.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, a Virgem Maria e aos Santos Anjos.

Agradeço a toda minha família, em especial meu pai Clésio Pereira da Fonseca e minha mãe Denise Martins Cruz Fonseca pelo apoio na conclusão deste trabalho.

Agradeço a minha Orientadora, Profa. Dra. Joice Lee Otsuka por todo cuidado e paciência na orientação deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES - pelo apoio financeiro.

*Eu era feliz e não sabia*

## RESUMO

A Realidade Virtual (RV) está se popularizando cada vez mais, crescendo principalmente na área educacional sendo aplicada em diversos tipos de sistemas, como jogos, simuladores, dentre outros. Dispositivos de baixo custo estão ajudando nesse advento da RV, especialmente os óculos de RV. Diversos estudos apontam que alunos que utilizam sistemas educacionais com RV melhoram o seu desempenho, têm mais interesse e aprendem mais. A RV na computação é uma tecnologia que permite o usuário “estar” em outros lugares sem precisar sair do seu local físico. Duas características importantes desta tecnologia são a imersão e interação. Quanto mais imersivo, mais o usuário tem o sentimento de estar dentro do ambiente virtual, o que contribui com uma melhor atenção e concentração. Com o surgimento de novos dispositivos de RV de baixo custo, muitas técnicas de interação podem ser combinadas. Este trabalho tem por objetivo investigar se diferentes formas de interação com teclado e *mouse* convencionais, somente óculos de RV e óculos de RV com *joystick*, podem melhorar a imersão, usabilidade e conforto em um jogo educacional de simulação 3D com menus 2D adaptados. Para realizar este estudo os seguintes procedimentos e métodos científicos foram utilizados: (i) levantamento do estado da arte sobre RV a fim de identificar quais dispositivos de baixo custo estão disponíveis e quais as técnicas de interação podem ser exploradas nesses recursos; (ii) um mapeamento sistemático sobre o uso de RV aplicado à educação; (iii) o desenho do experimento realizado definindo as hipóteses, estrutura e teste piloto; (iv) a análise estatística dos dados coletados e resposta à questão de pesquisa. O jogo escolhido para o experimento foi inicialmente desenvolvido para a plataforma *desktop* e foram implementadas mais duas versões para óculos de RV: (i) uma utilizando somente os óculos com a técnica de interação *gaze input*; (ii) outra utilizando os óculos de RV combinados com *joystick* para realizar a interação. O experimento foi realizado com 57 estudantes do ensino médio divididos em três grupos. Para medir as variáveis propostas foram utilizados os instrumentos: (i) *eGameFlow* para imersão (FU; SU; YU, 2008); (ii) o *System Usability Scale - SUS* para usabilidade (BROOKE et al., 1996); (iii) *Simulator Sickness Questionnaire - SSQ* para o conforto (KENNEDY et al., 1993). Por fim, são apresentados a preparação, a limpeza, a codificação, a organização, o teste de normalidade e a análise estatística dos dados coletados. Os resultados mostram que as versões do jogo com óculos de RV melhoraram a imersão ao se comparar com a versão *desktop*, mas não melhoraram a usabilidade. A versão *desktop* foi a que obteve o melhor conforto.

**Palavras-chave:** IHC, Realidade Virtual, Óculos de RV.

## ABSTRACT

Virtual Reality (VR) is becoming more and more popular, growing mainly in the educational area being applied in many types of systems, such as games, simulators, etc. Low-cost devices are helping in this advent of VR, especially head-mounted displays - HMD. Several studies point out that students who use VR education systems improve their performance, are more interested and learn more. VR in computing is a technology that allows the user to “be” in other places without having to leave their current location. Two important features of this technology are immersion and interaction. The more immersive, the more the user has the feeling of being within the virtual environment, which contributes with better attention and concentration. With the new VR devices emergence, many interaction techniques can be combined. This work aims to investigate whether different forms of interaction with conventional keyboard and mouse, only HMD and HMD with joystick can improve immersion, usability and comfort in an educational 3D simulation game with adapted 2D menus. To carry out this study the following procedures and scientific methods were utilised: (i) state-of-the-art on VR in order to identify which inexpensive devices are available and which interaction techniques can be exploited in these resources; (ii) a systematic mapping on the use of VR applied to education; (iii) the design of the experiment, hypothesis definition, structure and pilot test; (iv) the statistical analysis of the data collected and the answer to the research question. The game chosen for the experiment was initially developed for the desktop platform and was implemented two more HMD’s versions: (i) one using only the HMD gaze input interaction technique; (ii) another using the HMD with joystick to perform the interaction. The experiment was conducted with 57 high school students divided into three groups. To measure the proposed variables was used: (i) *eGameFlow* for immersion (FU; SU; YU, 2008); (ii) the *System Usability Scale - SUS* for usability (BROOKE et al., 1996); (iii) *Simulator Sickness Questionnaire - SSQ* for comfort (KENNEDY et al., 1993). Finally, the preparation, the cleaning, the coding, the organization, the normality test and the statistical analysis of the collected data are presented. The results show that HMD game versions improved immersion when compared to the desktop version, but did not improve usability. The desktop version was the one that got the best comfort.

**Keywords:** HCI, Virtual Reality, HMD.

## LISTA DE FIGURAS

2.1	Uma pessoa interagindo com Sensorama . . . . .	24
2.2	Ultimate Display . . . . .	25
2.3	Representação de 2DOF com plano cartesiano . . . . .	28
2.4	Representação de 3DOF e 6DOF . . . . .	28
2.5	Experimento de Lipton (1997) . . . . .	29
2.6	Características de ambientes 3D . . . . .	30
2.7	Exemplo clássico de HMD e Luva de dados. . . . .	31
2.8	Google Glass . . . . .	32
2.9	Uma pessoa utilizando o Oculus Rift e Oculus Touch . . . . .	33
2.10	HTC Vive, Controles e Sensores . . . . .	34
2.11	Uma criança usando o Samsung Gear VR . . . . .	35
2.12	Google Cardboard . . . . .	36
2.13	Uma pessoa utilizando a luva de dados Manus VR junto com HTC Vive . . . . .	38
2.14	Uma pessoa utilizando um óculos de RV e o Leap Motion . . . . .	39
2.15	Myo . . . . .	40
2.16	Gestos de WIP . . . . .	43
2.17	VirtuixOmni . . . . .	44
2.18	Ray-casting . . . . .	47
2.19	Técnica de interação HOMER . . . . .	48
2.20	Mesh-Grab e Arcball-3D . . . . .	48

2.21	Menu principal do Oculus Rift e Gear VR com Menu 2D adaptado. . . . .	49
2.22	Botões de 1-DOF padrão do Leap Motion . . . . .	50
3.1	Condução do mapeamento . . . . .	54
3.2	Óculos de RV utilizados . . . . .	56
3.3	Dispositivos de Interação adicionais . . . . .	57
3.4	Áreas de educação e treinamento . . . . .	59
4.1	Laboratório virtual 3D de Química Analítica . . . . .	70
4.2	Equipamentos, vidrarias e reagentes . . . . .	70
4.3	LIA e Cris . . . . .	71
4.4	Perspectiva ortogonal (menu 2D adaptado) . . . . .	71
4.5	Bobo VR Z4 . . . . .	72
4.6	Bobo VR Z4 - Ajustes . . . . .	72
4.7	Moto G4 Plus . . . . .	73
4.8	Joystick Mocute . . . . .	73
4.9	Ambiente de desenvolvimento . . . . .	74
4.10	Gaze Input - Retículo fora do botão . . . . .	75
4.11	Gaze Input - Retículo sobre o botão . . . . .	75
4.12	Locomoção na versão 2 . . . . .	76
4.13	Ciclo do experimento . . . . .	77
4.14	Estrutura básica - <i>Within group</i> . . . . .	79
4.15	<i>Tablet</i> na versão <i>desktop</i> . . . . .	81
4.16	<i>Tablet</i> nas versões RV . . . . .	81
4.17	<i>Feedback</i> para locomoção . . . . .	82
4.18	Mapa do jogo . . . . .	82
4.19	Inventário . . . . .	83
4.20	Alunos durante o experimento . . . . .	84

5.1	Quantidade de alunos por gênero . . . . .	88
5.2	Quantidade de alunos nos grupos 1, 2 e 3 . . . . .	88
5.3	Quantidade de alunos em escola pública e particular . . . . .	88
5.4	Perfil de experiência em jogos dos alunos . . . . .	90
5.5	Relação de tempo do experimento com a experiência dos alunos . . . . .	90

## LISTA DE TABELAS

2.1	Relação de custos . . . . .	41
3.1	Itens de Interesse no mapeamento . . . . .	52
3.2	Termos utilizados na <i>string</i> de busca . . . . .	53
3.3	CrITÉrios de Inclusão e Exclusão . . . . .	53
3.4	EstratÉgia de busca . . . . .	53
3.5	Relação de quantidade de trabalhos aceitos por paÍses . . . . .	55
3.6	Relação de quantidade de trabalhos aceitos por fontes de publicação . . . . .	55
3.7	TÉcnicas de interação . . . . .	58
3.8	Trabalhos Relacionados . . . . .	60
4.1	Termos utilizados na segunda <i>string</i> de busca . . . . .	69
4.2	Hipóteses nulas “ $H_0$ ” e alternativas “ $H_1$ ” para QP . . . . .	78
4.3	Latin Square Design . . . . .	79
5.1	Respostas das questões de perfil . . . . .	89
5.2	Organização dos dados obtidos após a codificação . . . . .	92
5.3	Interpretação do teste <i>Shapiro-Wilk</i> . . . . .	94
5.4	Teste de normalidade <i>Shapiro-Wilk</i> para <i>E-gameFlow</i> V1 . . . . .	95
5.5	Teste de normalidade <i>Shapiro-Wilk</i> para <i>E-gameFlow</i> V2 . . . . .	95
5.6	Teste de normalidade <i>Shapiro-Wilk</i> para <i>E-gameFlow</i> V3 . . . . .	95
5.7	Teste de normalidade <i>Shapiro-Wilk</i> para <i>SUS</i> V1 . . . . .	95
5.8	Teste de normalidade <i>Shapiro-Wilk</i> para <i>SUS</i> V2 . . . . .	95

5.9	Teste de normalidade <i>Shapiro-Wilk</i> para SUS V3 . . . . .	96
5.10	Teste de normalidade <i>Shapiro-Wilk</i> para SSQ V1 . . . . .	96
5.11	Teste de normalidade <i>Shapiro-Wilk</i> para SSQ V2 . . . . .	96
5.12	Teste de normalidade <i>Shapiro-Wilk</i> para SSQ V3 . . . . .	96
5.13	Saída do teste de <i>Friedman</i> e <i>Wilcoxon</i> para $1H_0$ . . . . .	97
5.14	Saída do teste de <i>Friedman</i> e <i>Wilcoxon</i> para $2H_0$ . . . . .	98
5.15	Saída do teste de <i>Friedman</i> e <i>Wilcoxon</i> para $3H_0$ . . . . .	99
5.16	Resumo das respostas das hipóteses . . . . .	99
5.17	Resumo do pós-teste de $1H_0$ . . . . .	100
5.18	Resumo do pós-teste de $3H_0$ . . . . .	100
5.19	Respostas da entrevista final . . . . .	101

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1 Contextualização e motivação . . . . .	17
1.2 Objetivos . . . . .	19
1.3 Procedimentos e métodos . . . . .	20
1.4 Estrutura do trabalho . . . . .	20
<b>CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO</b>	<b>22</b>
2.1 Realidade Virtual . . . . .	22
2.2 Histórico da RV . . . . .	24
2.3 Características de RV . . . . .	25
2.3.1 Imersão . . . . .	25
2.3.2 Interação . . . . .	26
2.3.3 Usabilidade . . . . .	26
2.3.4 Conforto . . . . .	27
2.4 Conceitos importantes de RV . . . . .	27
2.4.1 Graus de liberdade . . . . .	27
2.4.2 Estereoscopia . . . . .	28
2.4.3 Efeito 3D . . . . .	29
2.5 Ambientes de RV . . . . .	29
2.5.1 Óculos de RV . . . . .	30

2.6	Modelos de Óculos de RV . . . . .	32
2.6.1	Oculus Rift . . . . .	33
2.6.2	HTC Vive . . . . .	34
2.6.3	Samsung Gear VR . . . . .	35
2.6.4	Google Cardboard . . . . .	36
2.7	Dispositivos de Interação com RV . . . . .	37
2.7.1	Luva de Dados . . . . .	37
2.7.2	Leap Motion . . . . .	38
2.7.3	Myo . . . . .	39
2.8	Relação de custo dos dispositivos . . . . .	40
2.9	Técnicas de Interação com RV . . . . .	41
2.9.1	Navegação . . . . .	41
2.9.2	Seleção e Manipulação . . . . .	45
2.10	Considerações Finais . . . . .	50
<b>CAPÍTULO 3 – TRABALHOS RELACIONADOS</b>		<b>51</b>
3.1	Mapeamento Sistemático . . . . .	51
3.2	Condução do mapeamento . . . . .	53
3.3	Análise dos dados e resultados . . . . .	55
3.3.1	I1. Qual óculos de RV foi utilizado? . . . . .	56
3.3.2	I2. Qual <i>software</i> foi utilizado para desenvolver a aplicação de RV? . . . . .	56
3.3.3	I3. Foram utilizados dispositivos além dos óculos de RV para melhorar a interação? . . . . .	56
3.3.4	I4. Quais técnicas de interação foram utilizadas? . . . . .	57
3.3.5	I5. Qual área de aplicação? . . . . .	57
3.3.6	I6. Foram utilizados métodos de avaliação? . . . . .	58
3.4	Discussão dos resultados . . . . .	64

3.5	Considerações finais . . . . .	66
<b>CAPÍTULO 4 – EXPERIMENTO</b>		<b>67</b>
4.1	Considerações iniciais . . . . .	67
4.2	Busca na literatura de trabalhos relacionados com método de interação . . . . .	68
4.3	Experimento no LabTecA . . . . .	69
4.4	RV no LabTecA . . . . .	71
4.4.1	Implementação do jogo . . . . .	73
4.5	Design do Experimento . . . . .	77
4.5.1	Definição das hipóteses . . . . .	77
4.5.2	Design do experimento . . . . .	78
4.5.3	Teste piloto . . . . .	80
4.5.4	Recrutamento de participantes para o experimento . . . . .	84
4.5.5	Coleta dos dados . . . . .	84
4.5.6	Considerações finais . . . . .	86
<b>CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DOS DADOS</b>		<b>87</b>
5.1	Relação quantitativa dos dados . . . . .	87
5.1.1	Quantidade de alunos . . . . .	87
5.1.2	Questões da entrevista inicial . . . . .	88
5.2	Preparação dos dados . . . . .	91
5.2.1	Limpeza dos dados . . . . .	91
5.2.2	Codificação dos dados . . . . .	91
5.2.3	Organização dos dados . . . . .	91
5.3	Teste de normalidade . . . . .	94
5.3.1	Teste de normalidade <i>E-gameFlow</i> . . . . .	95
5.3.2	Teste de normalidade SUS . . . . .	95

5.3.3	Teste de normalidade SSQ . . . . .	95
5.4	Teste estatístico . . . . .	96
5.4.1	Respostas das hipóteses . . . . .	97
5.4.1.1	Hipótese 1 . . . . .	97
5.4.1.2	Hipótese 2 . . . . .	97
5.4.1.3	Hipótese 3 . . . . .	98
5.5	Discussão dos resultados . . . . .	99
<b>CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>		<b>103</b>
6.1	Contribuições geradas . . . . .	104
6.2	Limitações e Trabalhos Futuros . . . . .	105
<b>REFERÊNCIAS</b>		<b>107</b>
<b>GLOSSÁRIO</b>		<b>118</b>
<b>ANEXO A – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA DA UFSCAR</b>		<b>119</b>
<b>APÊNDICE A – ENTREVISTA INICIAL</b>		<b>122</b>
<b>APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - TCLE</b>		<b>124</b>
<b>APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO</b>		<b>126</b>
<b>APÊNDICE D – ENTREVISTA FINAL</b>		<b>128</b>
<b>APÊNDICE E – ROTEIRO DO EXPERIMENTO</b>		<b>130</b>

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

---

---

### 1.1 Contextualização e motivação

Realidade Virtual (RV) tem sido um tema muito abordado nos últimos anos, em eventos, feiras, exposições, tanto na parte acadêmica, quanto no mercado de consumidores principalmente na indústria de jogos. Com o lançamento de dispositivos como os óculos de realidade virtual, sensores de rastreamento e controles para interação, a RV vem ganhando cada vez mais campo, sendo aplicada em diversas áreas como educação e saúde, por meio de jogos, simulações, aplicações de treinamento, dentre outras.

Muitos trabalhos, que realizaram experimentos comparando a RV com outros métodos de ensino sem RV, relatam que o uso da RV contribui positivamente com a melhora no processo de aprendizagem dos alunos. Ray e Deb (2016) e Rasheed, Onkar e Narula (2015) realizaram experimentos dividindo alunos em 2 grupos, em um foi passado o conteúdo com RV e no outro de forma tradicional em sala de aula sem RV. Ambos concluíram que a RV melhora significativamente o interesse do aluno pelo conteúdo ensinado. Alhalabi (2016) realizou um experimento com 4 grupos de alunos (3 com RV e 1 sem RV) e concluiu que ao utilizar qualquer tipo de sistema RV, em relação a um sem RV, melhora dramaticamente o desempenho do aluno. Tsaramirsis et al. (2016) realizaram um experimento com 2 grupos de alunos, em um foi passado o conteúdo com RV e no outro sem RV por videoaula. Eles comentam que os alunos preferem aprender o conteúdo das matérias com auxílio da RV. Ebert, Gupta e Makedon (2016) realizaram um experimento com 2 grupos de alunos, um com RV e outro sem RV e concluíram que utilizando a RV os alunos “gravam” o conteúdo ensinado por mais tempo.

A RV é um conceito na computação que fornece um novo paradigma de imersão, proporcionando ao usuário a possibilidade de “estar” em outros lugares sem precisar sair do seu local

atual. Basicamente ela “engana” os sentidos humanos, principalmente a visão, dando um nível de imersão e interação que tornam possível esta experiência. Dois tipos de sistemas mais conhecidos que fornecem este tipo de interação imersiva são as Cavernas Digitais (imagens projetadas nas paredes de uma sala preparada) e os Óculos de RV.

O foco deste trabalho são os óculos de RV. Nestes dispositivos a imagem do ambiente virtual é projetada individualmente uma para cada olho do usuário e depois o cérebro faz uma junção destas imagens fornecendo uma sensação de imersão 3D. Esse tipo de dispositivo também é conhecido como “Head Mounted-Display – HMD”. Ao se comparar às Cavernas, os óculos de RV possuem custo muito mais baixo, podendo ser assim mais acessíveis ao público. Além disso, nos últimos anos, eles tiveram uma boa repercussão com lançamentos de modelos, como Oculus Rift, e Google Cardboard.

Hoje, ao se falar em óculos de RV, algumas pessoas já podem associar com dispositivos conhecidos no mercado há poucos anos, como Oculus Rift, HTC Vive, PlayStation VR, Samsung Gear VR, Google Cardboard, Daydream etc.

Segundo Kress e Starner (2013), os óculos de RV têm sido investigados durante décadas em aplicações militares e há poucos anos no mercado civil, sendo financiados por grandes empresas. McGill et al. (2015) citam a aquisição da Oculus<sup>1</sup> pelo Facebook e o esforço próprio de outras grandes empresas como Sony<sup>2</sup> e Samsung<sup>3</sup> neste segmento de RV. Além destas, destaca-se também a HTC com o Vive<sup>4</sup>.

O Oculus Rift é um dos primeiros modelos capazes de fornecer alta qualidade de imagens e imersão com um custo muito mais baixo do que outros que já existiam, como o NVISOR MH60<sup>5</sup>. Por meio de um mapeamento sistemático realizado neste trabalho, foi possível identificar que o número de pesquisas no contexto de aplicações educacionais com óculos RV aumentou de 10 trabalhos retornados no ano de 2013 para 87 em 2015 (período em que surgiram as primeiras versões do Oculus Rift e do Google Cardboard), ou seja, um crescimento de 770%. Os dois óculos de RV mais utilizados neste mesmo período foram justamente o Oculus Rift e o Google Cardboard. Rasheed, Onkar e Narula (2015) apresentam um estudo sobre a utilização de óculos de RV (Google Cardboard) em uma escola rural na Índia e comentam sobre o valor do óculos e concluem que seria viável as escolas comprarem até 10 óculos para auxiliar em atividades de ensino. Esses dados mostram a relevância de pesquisas que analisem as possibilidades

---

<sup>1</sup>Empresa criadora do Oculus Rift

<sup>2</sup>PlayStation VR

<sup>3</sup>Samsung Gear VR

<sup>4</sup>Óculos de RV da HTC

<sup>5</sup><http://www.nvisinc.com/product/products.html?layout=product&fid=a0QG000009NGz7MAG>

e limitações de dispositivos de baixo custo, com o intuito de contribuir com a evolução da área e, em especial, promover um maior uso destes recursos em contextos educacionais.

Um outro fator muito importante que contribui diretamente no impacto dessas aplicações são as técnicas e dispositivos de interação utilizados. Na revisão da literatura feita para este trabalho (apresentada no capítulo 2), várias técnicas e dispositivos de interação foram encontrados, porém percebeu-se uma falta de estudos abordando especificamente a interação (utilizando dispositivos de baixo custo) com óculos de RV. Por exemplo, no Google Cardboard que possui somente um botão para interagir, que dispositivo pode ser combinado para melhorar a imersão? O uso desses recursos de RV torna a experiência mais imersiva? Podem aumentar a facilidade de uso? É possível desenvolver um sistema com óculos de RV que seja imersivo e confortável sem utilizar nenhum controle adicional? Estes benefícios são válidos para o caso específico de um jogo educacional de simulação em laboratório virtual 3D que utiliza de técnicas de interação com menus 2D adaptados (apresentado no capítulo 2)?

Dado o contexto apresentado, a questão de pesquisa é: **QP - “Quais as evidências de que o uso de óculos de RV de baixo custo com diferentes técnicas de interação em um jogo educacional de simulação (com menus 2D adaptados) pode melhorar a imersão, usabilidade e conforto se comparado com o jogo tradicional para *desktop* com teclado e *mouse*?”**

## 1.2 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo investigar o potencial e limitações do uso de soluções de RV de baixo custo em um jogo educacional de simulação 3D com interação por menus 2D adaptados. Para isso, foram estudadas alternativas de interação utilizando dispositivos de RV de baixo custo. Por meio de um experimento com estudantes, buscou-se encontrar evidências de que o uso de óculos de RV pode melhorar a imersão, a usabilidade e o conforto.

Os objetivos específicos são:

1. Identificar quais dispositivos de baixo custo estão disponíveis e quais as técnicas de interação que podem ser exploradas nesses recursos;
2. Identificar os resultados já obtidos com pesquisas nessa área, limitações, desafios e possíveis lacunas de investigação;
3. Implementar diferentes formas de interação com dispositivos de RV em um jogo educacional de simulação em 3D com interação por menus 2D adaptados;

4. Aplicar instrumentos confiáveis para aferir imersão, usabilidade e conforto por meio de um experimento;
5. Realizar um experimento para responder a QP e apresentar os resultados obtidos.

## 1.3 Procedimentos e métodos

Em uma primeira etapa foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o tema através de leitura de artigos, livros e simpósio (*Symposium on Virtual and Augmented Reality - SVR*), buscando entender histórico, tipos de dispositivos e técnicas de interação existentes em Realidade Virtual. Parte do conhecimento obtido nesta etapa é apresentado no capítulo 2.

Após esta primeira etapa de levantamento bibliográfico, com o conhecimento obtido, uma segunda pesquisa foi realizada, por meio de um mapeamento sistemático sobre quais tipos de aplicações educacionais estão sendo desenvolvidas e quais técnicas e dispositivos de interação estão sendo aplicados neste contexto (apresentado no capítulo 3). Esse mapeamento possibilitou uma visão do estado da arte de pesquisas envolvendo interação com RV na educação, o que foi fundamental para definição desta proposta de pesquisa.

A terceira etapa deste trabalho foi um desenho experimental para conduzir uma pesquisa empírica. O *design* do experimento foi elaborado baseando-se em Lazar, Feng e Hochheiser (2017) definindo as hipóteses, especificando a estrutura do experimento, apresentando considerações sobre teste piloto, público-alvo e coleta dos dados. Os detalhes do experimento planejado é apresentado no capítulo 4.

A quarta etapa deste trabalho foi a análise dos dados obtidos na coleta. Todo processo de preparação, limpeza, codificação, organização, análises estatísticas, teste de normalidade e teste de hipóteses são apresentados no capítulo 5.

## 1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em 6 capítulos, incluindo este introdutório, no qual foi apresentada a contextualização, a motivação, a questão de pesquisa, os objetivos do estudo e os procedimentos metodológicos. O capítulo 2 apresenta uma fundamentação importante para o entendimento do trabalho, abordando conceitos importantes sobre RV e suas formas de interação. O capítulo 3 apresenta os trabalhos relacionados a este projeto de pesquisa por meio de um mapeamento sistemático sobre experiências de uso da RV na educação usando óculos de RV

de baixo custo. O capítulo 4 apresenta a descrição do design do experimento, o jogo e as implementações feitas, teste pilo e coleta dos dados. No capítulo 5 é apresentado todo processo de preparação, limpeza, codificação e organização além das análises estatísticas realizadas. Por fim, a conclusão final do trabalho.

# Capítulo 2

## FUNDAMENTAÇÃO

---

---

Para um bom entendimento deste trabalho foi realizado um estudo sobre os assuntos abordados como conceito, histórico, características, modelos de óculos, dispositivos e técnicas de interação com RV que são apresentados nas seções a seguir.

### 2.1 Realidade Virtual

Com o intuito de possibilitar uma análise mais aprofundada do termo “Realidade Virtual” são apresentadas algumas definições de autores diferentes. Kubo, Tori e Kirner (2002, p. 400, tradução nossa) definem RV como “RV compreende interfaces de tecnologias avançadas que permitem ao usuário experimentar imersão, navegação e interação em um ambiente tridimensional sintético gerado por computador, usando canais multissensoriais.”<sup>1</sup> Cruz-Neira, Sandin e DeFanti (1993, p. 135, tradução nossa) definem RV como “um sistema de RV é aquele que fornece uma visão em primeira pessoa através de rastreamento de cabeça em tempo real com um grande ângulo de visão, controle interativo e visão binocular.”<sup>2</sup> E Para Desai et al. (2014, p. 175, tradução nossa) RV é “um ambiente simulado por computador que dá ao usuário a experiência de estar presente nesse ambiente.”<sup>3</sup>

O termo “Realidade Virtual” foi definido por Jaron Lanier<sup>4</sup> entre os anos de 1985 e 1986 (BRYSON, 2013). Juntando as duas palavras, Realidade e Virtual podemos combinar vários

---

<sup>1</sup>Texto original: “VR comprises advanced interface technologies that allow the user to experience immersion, navigation, and interaction in a synthetic three-dimensional environment generated by computer, using multisensorial channels.”

<sup>2</sup>Texto original: “a VR system is one which provides real-time viewercentered head-tracking perspective with a large angle of view, interactive control, and binocular display.”

<sup>3</sup>Texto original: “is a computer simulated environment that gives the user the experience of being present in that environment.”

<sup>4</sup>Cientista de computação e músico, pesquisador na área de RV, também trabalhou no ‘NASA Ames’.

significados, por exemplo, “Aquilo que existe de fato mas não é real”, “É real, só que não é real”, “Ter o efeito de ser real, mas não é verdade”, entre outros. Ou seja, levando algumas pessoas pensarem ser um paradoxo, mas que realmente tenta passar o que na realidade é a Realidade Virtual (BRYSON, 2013).

Steve Bryson<sup>5</sup>, um cientista na área de computação propôs uma definição que será adotada em nosso trabalho: “Realidade Virtual é o uso de tecnologias computacionais para criar o efeito de uma interação com um mundo tridimensional em que os objetos têm um sentido de presença espacial.” (BRYSON, 2013, p. 1, tradução nossa)<sup>6</sup>.

Bryson (2013) também fala que assistiu e participou por mais de uma década em que ele chama de “*Guerra da definição de Realidade Virtual*”. Ele relata sobre a dificuldade para definir este termo, levando em consideração vários fatores, como outros pesquisadores preferem definir o mesmo assunto com termos diferentes.

As definições acima expressam a importância do sentimento de fazer parte do ambiente e da capacidade de um controle dos usuários nestes ambientes, ou seja, ressalta a importância da imersão e interação.

A RV era chamada por alguns autores de “Ambiente Virtual” ou “Realidade Artificial”. Em meados anos de 1992 e 1993, o termo RV começou a se tornar mais aceito, embasado pela criação em 1992 da “Academia Nacional de Ciências – Comitê do conselho nacional de pesquisa em Realidade Virtual” e em 1993 a criação do “Simpósio Internacional Anual de Realidade Virtual” hoje conhecido como *IEEE Virtual Reality* (BRYSON, 2013; NEWBY, 1996). Hoje ainda é possível encontrar autores utilizando o termo Ambiente Virtual ou até mesmo derivados como o caso de Bombari et al. (2015) que usam “Ambiente Virtual Imersivo”.

No contexto deste trabalho, os termos “Ambiente Virtual - AV” e “Mundo Virtual - MV” de acordo com algumas citações, serão utilizados para se referenciar um ambiente que simula o mundo real tridimensional com o qual a RV interage diretamente. Um AV não precisa da RV para existir, mas a RV precisa do AV. Ou seja, pode-se entender que existe um AV e a RV é uma forma de estar “dentro” desse AV.

Ao se falar de RV, um outro tema que pode gerar confusão é a Realidade Aumentada (RA), por serem temas que envolvem alguns conceitos parecidos. Sobre Realidade Aumentada, Kirner e Tori (2006, p. 22) explicam que:

---

<sup>5</sup>Trabalhou no VIEW (Virtual Interactive Environment Workstation), foi um projeto pelo laboratório de pesquisa ‘NASA Ames’, sendo um dos primeiros em pesquisas sobre Realidade Virtual, mais informações no site [https://www.nasa.gov/ames/spinoff/new\\_continent\\_of\\_ideas/](https://www.nasa.gov/ames/spinoff/new_continent_of_ideas/) (Acessado em 20/01/17).

<sup>6</sup>Texto original: “Virtual Reality is the use of computer technology to create the effect of an interactive three-dimensional world in which the objects have a sense of spatial presence.”

Diferentemente da realidade virtual, que transporta o usuário para o ambiente virtual, a realidade aumentada mantém o usuário no seu ambiente físico e transporta o ambiente virtual para o espaço do usuário, permitindo a interação com o mundo virtual, de maneira mais natural e sem necessidade de treinamento ou adaptação.

Como isso pode-se entender que a RV tem o foco no AV e a RA tem o foco no ambiente real acrescentando nele objetos virtuais.

## 2.2 Histórico da RV

Apesar do ano 2016 ser considerado o ano da RV pela mídia<sup>7 8 9</sup>, por volta da década de 50 já encontramos um projeto com o objetivo de simular uma realidade. No ano de 1957, um cineasta futurista chamado Morton L. Heilig<sup>10</sup> inventou uma máquina chamada de “Sensorama”. O Sensorama foi patenteado em 1962 e tinha proposta de criar uma ilusão da realidade abordando alguns sentidos humanos através de filme em 3D, cheiro, som estéreo, vibrações do assento e vento no cabelo (FIGURA 2.1) (PACKER; JORDAN, 2002 apud TORI; KIRNER, 2006, p. 5)<sup>11</sup>.

**FIGURA 2.1 – Uma pessoa interagindo com Sensorama**



**Fonte:**

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sensorama-morton-heilig-virtual-reality-headset.jpg>

Um cientista chamado Ivan E. Sutherland na década de 60 desenvolveu o primeiro óculos de RV (FIGURA 2.2). Ele comentava sobre a capacidade da visão humana, que somente consegue

<sup>7</sup><http://olhardigital.uol.com.br/video/realidade-virtual-domina-a-ces-em-2016/54252>

<sup>8</sup><http://www.gamazon.com.br/2016-o-ano-da-realidade-virtual/>

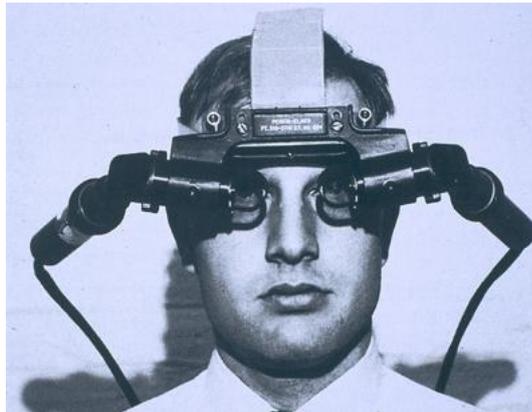
<sup>9</sup><http://aldeia.biz/2016-o-ano-da-realidade-virtual/>

<sup>10</sup>Mais informações podem ser encontrada sobre ele neste site: <http://www.mortonheilig.com/>

<sup>11</sup>Packer, R; Jordan, K. (ed.) (2001) **Multimedia: From Wagner to Virtual Reality**. W. W. Norton & Company. 396p.

ver imagens em 2D, e que se combinarmos as imagens das retinas conseguimos ter a sensação de uma imagem 3D (SUTHERLAND, 1968a). Este projeto foi denominado de “Ultimate Display”. Sutherland propôs seu desenvolvimento em 1965 para trazer uma sensação completa de imersão (CRUZ-NEIRA et al., 1992).

**FIGURA 2.2 – Ultimate Display**



**Fonte:** [http://resumbrae.com/ub/dms423\\_f08/06/](http://resumbrae.com/ub/dms423_f08/06/)

O *Ultimate Display* funcionava com dois pequenos monitores de “Cathodic Ray Tube - CRT”<sup>12</sup> posicionados frente aos olhos e eram conectados por cabos, ficava suspenso preso ao teto e possuía sensores para rastrear os movimentos da cabeça e transmitir para os computadores que processavam as imagens e apresentavam ao usuário (SUTHERLAND, 1968a).

## 2.3 Características de RV

Morie (1994) apresenta duas ideias básicas e essenciais da RV: *Imersão* e *Interação* que são apresentadas a seguir. Além disso também é apresentado as definições de usabilidade e conforto que são usadas na QP.

### 2.3.1 Imersão

A palavra imersão tem o sinônimo de entrar, mergulhar, estar dentro, estar envolvido. Na RV imersão tem o sentido de adentrar no MV, ou seja, “estar lá dentro”. Botega e Cruvinel (2009, p. 13) dizem que “a ideia de imersão está intimamente ligada ao sentimento de fazer parte do ambiente.”

Tori e Kirner (2006) dividem a RV em duas categorias, *imersiva* e *não-imersiva*, sendo a imersiva:

<sup>12</sup>Em português “Tubo de Raios Catódicos”

Quando o usuário é transportado predominantemente para o domínio da aplicação, através de dispositivos multissensoriais, que capturam seus movimentos e comportamento e reagem a eles (capacete, caverna e seus dispositivos, por exemplo), provocando uma sensação de presença dentro do mundo virtual (TORI; KIRNER, 2006, p. 8).

E a não-imersiva como: “Quando o usuário é transportado parcialmente ao mundo virtual, através de uma janela (monitor ou projeção, por exemplo), mas continua a sentir-se predominantemente no mundo real.” (TORI; KIRNER, 2006, p. 8)

### 2.3.2 Interação

Tori e Kirner (2006) comentam que um dos aspectos mais importantes da RV é a sua interação com o MV em tempo-real. Em outras palavras, o computador deve interpretar a ação do usuário e realizá-la dentro do MV em um espaço de tempo que pareça natural. Por exemplo, o usuário pode querer pegar um copo de água que está dentro do MV com um movimento natural igual se faz para pegar um copo de verdade. Para isso utilizando uma *luva de dados*<sup>13</sup> ele movimentava o braço e fecha a mão para poder pegar o copo. Rapidamente dentro do MV um avatar<sup>14</sup> pega o copo dando a impressão de que está acontecendo em tempo-real, ou seja, traz o efeito de que o próprio usuário está pegando o copo.

O processo para que o computador identifique a ação do usuário, altere o MV e atualize a saída leva algum tempo. Segundo Tori e Kirner (2006) este tempo precisa ser em torno de 100 milissegundos, tanto para visão, quanto para tato, força e audição a fim de que um ser humano tenha a sensação de interação em tempo real. Mais sobre interação é apresentado na seção 2.9.

### 2.3.3 Usabilidade

O conceito de usabilidade é definido por Nielsen (2003) como um atributo de qualidade para avaliação da facilidade de uso de interfaces para usuários divididos em 5 partes:

- **Aprendizagem:** Quão fácil é para os usuários completarem as tarefas básicas no primeiro contato com *design*<sup>15</sup>?
- **Eficiência:** Depois que os usuários já aprenderam o *design*, qual é a rapidez que podem terminar as tarefas?

<sup>13</sup>É um dispositivo que resumidamente captura os movimentos da mão e envia para o sistema. Na seção 2.7.1 é apresentado com mais detalhes.

<sup>14</sup>É um representante do usuário dentro do MV.

<sup>15</sup>Neste trabalho podemos entender o design como sendo o jogo que foi avaliado

- **Memorabilidade:** Quando os usuários voltam ao *design* depois de um tempo sem usar, qual a facilidade que eles retomam a proficiência?
- **Erros:** Quantos erros os usuários cometem, quão severos são esses erros e com qual facilidade eles se recuperam desses erros?
- **Satisfação:** Quão agradável é utilizar o *design*?

### 2.3.4 Conforto

Como medição da variável conforto esta pesquisa entende-se como sendo avaliação de *cybersickness*. Segundo Carvalho, Costa e Nardi (2011) *cybersickness* são os sintomas desconfortáveis (como vista cansada, fadiga, tontura, ataxia) causados pela utilização de ambientes virtuais que atrapalham a experiência do usuário, no caso deste trabalho os ambientes virtuais refere-se a ambientes virtuais de RV.

## 2.4 Conceitos importantes de RV

Nesta seção são discutidos alguns conceitos importantes para um bom entendimento sobre RV, como os graus de liberdade, estereoscopia e outras características que proporcionam um ambiente ser *tridimensional*, *imersivo* e *interativo*.

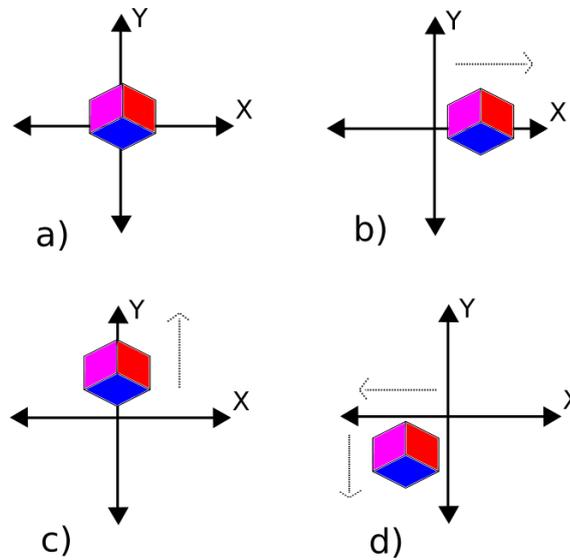
### 2.4.1 Graus de liberdade

Segundo Tori e Kirner (2006, p. 40) “É importante observar que objetos dos ambientes virtuais geralmente podem mover-se com seis graus de liberdade (6DOF – degrees of freedom), o que implica na possibilidade de três rotações e três translações.” Para se referir aos Graus de liberdade utilizaremos a sigla DOF.

Uma forma melhor de entender os DOF é pensar no plano cartesiano onde temos dois eixos perpendiculares, um vertical e outro horizontal, chamados de X e Y respectivamente. Imagine agora que um dado objeto físico (que pode ser um cubo) possa se mover para direita e esquerda, alterando o valor de X e para cima e para baixo, alterando o valor de Y, obtendo neste caso 2DOF (FIGURA 2.3).

Acrescentando um novo eixo Z, que representa a profundidade, temos 3DOF. Neste caso além das translações dos eixos X e Y, pode-se movimentar o cubo para frente e para trás, alterando o valor de Z (FIGURA 2.4 a). Adicionando o movimento de rotação nestes três eixos (X,

FIGURA 2.3 – Representação de 2DOF com plano cartesiano

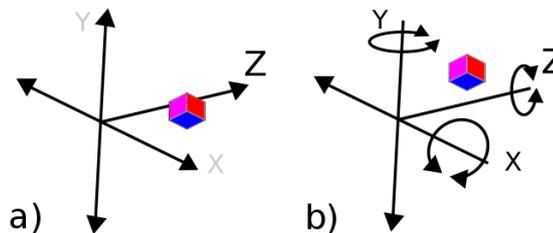


**Legenda:** a) Mostra um cubo na posição original; b) Translação para direita alterando o valor de X; c) Translação para cima alterando o valor de Y; d) Translação para baixo e para esquerda ao mesmo tempo alterando os valores de X e Y.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Y e Z) ao todo, temos 3 movimentos de translação mais 3 de rotação, ou seja, 6DOF (FIGURA 2.4 b).

FIGURA 2.4 – Representação de 3DOF e 6DOF

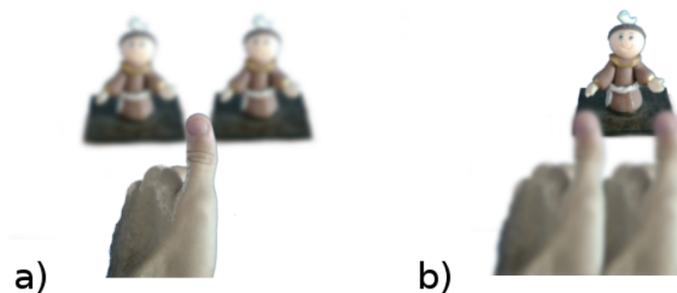


**Legenda:** a) Adição do eixo Z; b) Adição do movimento de rotação nos três eixos.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

## 2.4.2 Estereoscopia

Estereoscopia é um conceito importante de se entender, pois é a base para alguns sistemas de RV. A visão humana é capturada através de dois olhos e transmitida para o cérebro. Os olhos estão posicionados no rosto, separados por uma distância horizontal. Sendo assim, cada olho capta uma imagem diferente. Fazendo o experimento de Lipton (1997), ao olhar o polegar alinhado com o nariz e olhar para um objeto, pode-se ver dois polegares ou dois objetos, dependendo do foco (FIGURA 2.5).

**FIGURA 2.5 – Experimento de Lipton (1997)**

**Legenda:** a) Com foco no polegar; b) Com foco no objeto.

**Fonte:** Elaborado pelo autor baseado em Lipton (1997).

Cada olho capta uma imagem 2D e o cérebro se encarrega de fazer a junção dessas imagens 2D e criar um efeito de profundidade, gerando uma única imagem tridimensional (RAPOSO et al., 2004). Os óculos de RV utilizam este conceito, pois projetam duas imagens diferentes, uma para cada olho. Mais sobre os óculos de RV é discutido na seção 2.5.1.

### 2.4.3 Efeito 3D

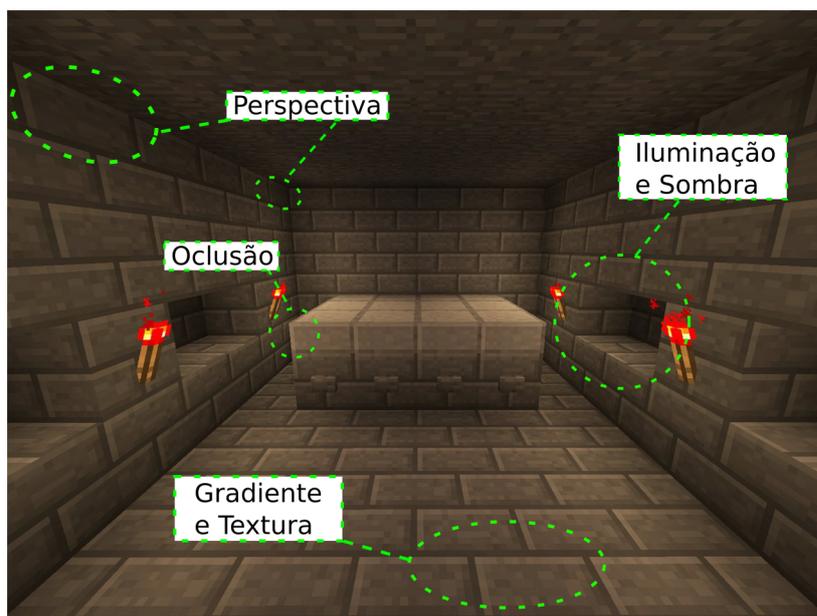
De acordo com a estereoscopia, a junção de duas imagens 2D é capaz de gerar uma imagem 3D no cérebro, contudo existem características para complementar este efeito de 3D. Segundo Raposo et al. (2004), existem algumas características para se perceber um ambiente tridimensional 3D, através de uma imagem bidimensional 2D, são eles: *Perspectiva, Iluminação, Sombra, Oclusão, Gradiente e Textura*.

A perspectiva é o que possibilita distinguir a profundidade de um objeto, por exemplo, dados dois objetos iguais porém em profundidades diferentes, o que estiver mais próximo aparentará ser maior. A iluminação e a sombra simulam o ambiente com a ação natural da luz, assim pode-se distinguir melhor a forma geométrica do objeto e a localização espacial, podendo saber se o mesmo está encostando ou não no chão. A oclusão é o efeito de mostrar ou ocultar parte do corpo de um objeto sobrepondo outro, assim pode-se distinguir qual está a frente ou atrás. Por fim, gradiente e textura são efeitos que também ajudam a identificar melhor um MV. Pode-se notar algumas formas apenas com este efeito (FIGURA 2.6) (RAPOSO et al., 2004).

## 2.5 Ambientes de RV

Conforme já explicado na seção 2.3.1 Tori e Kirner (2006), dividem a RV em “Imersiva” e “Não-Imersiva”. A diferença das duas se dá pela sensação de estar dentro do ambiente virtual.

FIGURA 2.6 – Características de ambientes 3D



**Legenda:** Efeitos de perspectiva, iluminação, sombra, oclusão, gradiente e textura.

**Fonte:** Adaptado de <https://www.flickr.com/photos/colmmcsky/6677109463>

Quando o usuário tem a sensação de estar totalmente dentro do MV ele está em uma RV Imer-siva. Já quando tem a sensação de estar dentro do MV, entretanto ao mesmo tempo perceber o ambiente real predominantemente, está em uma RV Não-Imersiva. Este trabalho tem o foco nos sistemas de RV Imersivos com o foco nos “Óculos de RV”, também chamados de “HMD”.

### 2.5.1 Óculos de RV

Conforme discutido na seção 2.2, o primeiro óculos de RV criado foi o “Ultimate Display”, desenvolvido na década de 60 (FIGURA 2.2) (SUTHERLAND, 1968b). Sutherland o apresentou no seu artigo denominado “A head-mounted three dimensional display”. Esse dispositivo se encaixa na categoria do “Head-mounted display - HMD”<sup>16</sup>.

Shibata (2002) explica que os HMDs são dispositivos montados na cabeça para exibir imagens. Consiste de telas que podem ser de “Cathode-ray Tube - CRT”<sup>17</sup>, ou “Liquid Crystal Display - LCD”<sup>18</sup> (FIGURA 2.7). Esta definição pode não ser mais aceita pelas variações dos tipos de telas que existem hoje em dia, por exemplo, “OLED, AMOLED etc.”<sup>19</sup> Mas o princípio da definição permanece o mesmo.

<sup>16</sup>Também conhecido como *Helmet-mounted display* ou Capacete de RV.

<sup>17</sup>Em português, Tubo de raios catódicos.

<sup>18</sup>Em português, Tela de cristal líquido.

<sup>19</sup>São outros tipos de telas com tecnologias diferentes do CRT ou LCD.

**FIGURA 2.7 – Exemplo clássico de HMD e Luva de dados.**

**Fonte:** [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AC89-0437-20\\_a.jpeg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AC89-0437-20_a.jpeg)

Para se referir ao termo óculos de RV, na literatura encontramos várias nomenclaturas diferentes que tendem ao mesmo significado, por exemplo, Juanes, Ruisoto e Briz-Ponce (2016, p. 473) chamam de “stereotypic glasses”. Hoje em dia, graças ao desenvolvimento de *smartphones*, chips, sensores e apps, um novo segmento de HMD está surgindo (KRESS; SAEEDI; PERRIERE, 2014). Por exemplo, Lee et al. (2016, p. 1) utilizam “VR Headsets” e “mobile VR headsets”. *Mobile VR headsets* são os modelos que usam os recursos de um *smartphone* para funcionar (Cardboard, Gear, Daydream, entre outros). Ling e Rui (2016, p. 917) utilizam simplesmente “VR glasses”. Bolte et al. (2010, p. 11) chamam de “Immersive head-mounted displays”. Ou apenas “immersive displays” (KRESS; SAEEDI; PERRIERE, 2014, p. 1).

Bolte et al. (2010, p. 11, tradução nossa) falam que “Os óculos de RV são uns dos dispositivos de exibição virtual mais populares que têm o potencial de suportar uma experiência de visualização natural em um mundo virtual.”<sup>20</sup>

Segundo Bruder, Steinicke e Hinrichs (2010, p. 168, tradução nossa) “Os óculos de RV permitem aos usuários observarem ambientes virtuais (AV) por uma perspectiva egocêntrica.”<sup>21</sup> Como perspectiva egocêntrica baseado em Klatzky (1998)<sup>22</sup>, pode-se entender que é a perspectiva particular do usuário, do seu ponto de visão. Em outras palavras, o HMD permite ao usuário enxergar o MV como um ser humano enxerga o mundo real. Por exemplo, dependendo do campo de visão que se olha é possível visualizar partes do seu corpo, navegar (movimentar-se

<sup>20</sup>Texto original: “Immersive head-mounted displays (HMDs) are one of the most popular virtual display devices which have the potential to support a natural viewing experience in a virtual world.”

<sup>21</sup>Texto original: “Head-mounted displays allow users to observe virtual environments (VEs) from an egocentric perspective.”

<sup>22</sup>Explica e define as representações alocêntricas e egocêntricas.

dentro do MV) tendo os 6DOF alterando constantemente o campo de visão.<sup>23</sup>

Existem HMDs voltados para RV quanto para RA. Os modelos de HMD para RV são aqueles que empregam os conceitos e características de RV, levando o usuário para dentro do MV, retirando o contato com o mundo real (apresentados na seção 2.6). HMDs de RA são os que empregam os conceitos de RA, onde o mundo real que deve predominar no campo de visão. Existem vários tipos e modelos de HMD-RA, alguns deles são os *smartglasses* - óculos inteligentes (KRESS; SAEEDI; PERRIERE, 2014). Como exemplo de *smartglass*, citamos o Google Glass (FIGURA 2.8) e o Vuzix M100<sup>24</sup>.

FIGURA 2.8 – Google Glass



Fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Google\\_Glass\\_with\\_frame.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Google_Glass_with_frame.jpg)

Pode-se concluir que os óculos de RV se encaixam na categoria de HMD, mas não se pode afirmar que um HMD sempre será um óculos de RV, pois existem HMDs para RA. Neste trabalho são utilizados apenas os HMDs de RV, retirando do escopo os de RA. Com relação aos óculos de RV, existem os modelos para *desktop* (os que utilizam de telas e sensores próprios, mas o processamento é feito em um computador) e os modelos *Mobile* que precisam de um *smartphone*<sup>25</sup>, sendo estes últimos os de mais baixo custo.

## 2.6 Modelos de Óculos de RV

Nesta seção são apresentados alguns novos modelos de óculos de RV e também são analisadas algumas características, funcionalidades, interação e imersão presentes nesses modelos.

<sup>23</sup>Como outro tipo de perspectiva de visão temos a “alocêntrica” sendo um ponto de visão exterior ao do usuário (KLATZKY, 1998). Muitos jogos computacionais utilizam desse tipo de visão, como GTA, Dota 2, The Sims, etc. Durante o jogo é possível visualizar seu avatar por inteiro como se estivesse o vendo através de uma câmera que fica sobrevoando.

<sup>24</sup><https://www.vuzix.com/Products/m100-smart-glasses>

<sup>25</sup>O *smartphone* é inserido dentro óculos de RV, que utiliza de seus recursos como, tela, sensores, apps.

### 2.6.1 Oculus Rift

Oculus Rift é um óculos de RV que foi introduzido no final de 2012 pela empresa Oculus VR (XU et al., 2015). Possui duas versões de desenvolvimento DK1 e DK2 (Developer Kit - DK), sendo a DK2 mais avançada que a DK1 (DESAI et al., 2014). Há também uma versão mais recente para o consumidor lançada em 2016. Ele trabalha conectado via cabos a um computador (de alta performance) ligado a sensores e controles para promover uma melhor imersão e interação (FIGURA 2.9).

**FIGURA 2.9 – Uma pessoa utilizando o Oculus Rift e Oculus Touch**



**Fonte:**

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prime\\_Minister\\_Lee\\_Hsien\\_Loong\\_VR\\_headset.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prime_Minister_Lee_Hsien_Loong_VR_headset.jpg)

Oculus Rift possui uma tela com resolução de 2160 x 12000 pixels um campo de visão<sup>26</sup> de 110 graus e taxa de atualização<sup>27</sup> de 90Hz (CROCHE et al., 2016). Através de sensores como giroscópio, acelerômetro e magnetômetro, constantemente analisa o movimento da cabeça (*head tracking*) do usuário, controlando a imagem com 6DOF. Assim proporcionando uma forma natural de observar o MV (DESAI et al., 2014). Esta é uma característica não somente do Oculus Rift, mas também dos outros óculos de RV apresentados nesta seção.

O Oculus Rift possui também um par de controles, um para mão esquerda e outro para direita, chamados de *Oculus Touch*<sup>28</sup>, estes controles permitem uma interação mais natural com 6DOF capturando os movimentos dos braços, mãos e dedos.

<sup>26</sup>Do inglês *Field Of Fiew*, é o tamanho do ângulo de visão que o óculos proporciona ao usuário, vale ressaltar que o ser humano possui um campo de visão de 180 graus.

<sup>27</sup>Do inglês *refresh rate* é o número de vezes que a imagem é atualizada no display.

<sup>28</sup><http://www.ign.com/articles/2016/12/05/oculus-touch-controllers-review>

### 2.6.2 HTC Vive

HTC Vive é um óculos de RV e também de RA anunciado em 2015, desenvolvido pela empresa HTC<sup>29</sup> em parceria com a Valve<sup>30</sup>. Concorrente direto do Oculus Rift, o HTC Vive funciona conectado a um computador de alta performance, sensores e controles (FIGURA 2.10).

**FIGURA 2.10 – HTC Vive, Controles e Sensores**



**Fonte:** <https://www.flickr.com/photos/bagogames/25845851080>

O HTC Vive possui uma tela com resolução de 2160 x 1200 pixels e um campo de visão de 110 graus. Conectado a sensores, é capaz de rastrear a orientação do usuário em um espaço de 4 metros quadrados (SOFFEL; ZANK; KUNZ, 2016). Segundo (SAMUR et al., 2016, p. 257) o HTC Vive:

incorpora uma câmera voltada para a frente à unidade de capacete de realidade virtual, permitindo que os programadores digitalizem o ambiente externo do usuário, de modo que consigam identificar com precisão objetos reais ao seu redor, como mesas e cadeiras, dentro da paisagem virtual. Tal modelo apresenta um potencial cruzamento entre RV e RA.

Isso demonstra que o HTC Vive é capaz de sinalizar ao usuário sobre a aproximação de possíveis obstáculos fora do ambiente virtual, através de sinais gráficos na tela, evitando possíveis acidentes (GOBIRA; MOZELLI, 2016). Esta tecnologia é chamada de *Room-Scale* e atualmente somente o HTC Vive fornece por padrão.

O HTC Vive possui um dos controles mais avançados com 6DOF para óculos RV. São dois controles, um para cada mão, cada um tem um trackpad<sup>31</sup> redondo, um gatilho de duplo estágio

<sup>29</sup>High Tech Computer Corporation - HTC é uma empresa multinacional taiwanesa, possui vários dispositivos eletrônicos e *smartphones*.

<sup>30</sup>É uma empresa de games e criadora da *Steam* (uma plataforma de distribuição de games).

<sup>31</sup>Um dispositivo sensível ao toque, similar o que se encontra em *touchpads* de notebooks.

com retorno háptico<sup>32</sup> e três botões. Os movimentos dentro do MV podem ser controlados com trackpad esquerdo e as direções com trackpad direito (LIANG et al., 2016).

O HTC Vive proporciona uma boa imersão sem necessidade de adquirir outros acessórios, além dos que já vêm incluídos, e conta com vários jogos no Steam e muitas aplicações em desenvolvimento (CROCHE et al., 2016).

### 2.6.3 Samsung Gear VR

Samsung Gear é um óculos de RV desenvolvido pela Oculus VR juntamente com a Samsung e já se encontra na segunda versão. A primeira versão pode ser visualizada na Figura 2.11.

**FIGURA 2.11 – Uma criança usando o Samsung Gear VR**



**Legenda:** Os controles podem ser vistos na lateral direita.

**Fonte:** <https://www.flickr.com/photos/andrikoolme/25892085212>

Segundo Lee et al. (2016) o Samsung Gear VR se encaixa na categoria de “mobile VR headset” sendo um dos modelos acessíveis ao público, de baixo custo e portabilidade. Ou seja sem necessidade de cabos, sendo simples e fácil de começar a usar, basta inserir o *smartphone* e começar a experiência.

O próprio dispositivo contém alguns sensores como, acelerômetro, giroscópio e sensor de proximidade além de um campo de visão de 96 graus. Funciona apenas com alguns *smartphones* da Samsung.

É possível navegar na experiência de RV com o Samsung Gear VR apenas utilizando seus botões e *touchpad* na lateral direita do dispositivo, porém para uma melhor interação Croche et al. (2016) cita que “O Samsung Gear VR deve ser usado em conjunto com um controle

<sup>32</sup>Relativo ao tato; Um retorno de força, exerce pressão.

*bluetooth*. A Samsung recomenda o uso de seu controle proprietário, mas outras marcas também são compatíveis.”

### 2.6.4 Google Cardboard

Google Cardboard é uma plataforma de RV desenvolvida pelo Google, criado especificamente pelos engenheiros, David Coz e Damien Henry, introduzindo no Google I/O<sup>33</sup> 2014 (GARGANTINI et al., 2015).

Esta solução de óculos de RV nada mais é do que um papelão dobrável com duas lentes, onde se insere um *smartphone* compatível<sup>34</sup>. O usuário olha através das lentes para ver a imagem gerada pelo *smartphone* que gera uma para cada olho separadamente (GARGANTINI et al., 2015) (FIGURA 2.12). Assim, no final, gerando uma única imagem utilizando o conceito da estereoscopia apresentada na seção 2.5. Vale ressaltar que todos os óculos de RV apresentados nesta seção utilizam este conceito.

**FIGURA 2.12 – Google Cardboard**



**Fonte:**

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Assembled\\_Google\\_Cardboard\\_VR\\_mount.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Assembled_Google_Cardboard_VR_mount.jpg)

O projeto original é de papelão, porém existem hoje vários modelos semelhantes feitos de outros materiais como, plástico, tecido, vidro e entre outros. Todos seguem o mesmo princípio e até mesmo com algumas possibilidades a mais, como ajuste de foco, largura entre as lentes etc.

A interação com Cardboard é simples, porém com o *smartphone* dentro da caixa de papelão não é possível tocar na tela para interagir com os aplicativos. Para corrigir isso o Cardboard original vem com um par de ímãs na parte lateral, que ao ser pressionados desencadeia um

<sup>33</sup>É uma conferência anual para desenvolvedores, apresentação de novos produtos etc.

<sup>34</sup>Deve possuir ao mínimo os sensores como acelerômetro e giroscópio

efeito magnético que pode ser entendido como um clique por alguns aplicativos. Porém poucos *smartphones* tem a possibilidade de reconhecer esse “clique”. Além disso, outros tipos de óculos baseados no Cardboard vêm com botões capacitivos que encostam na tela simulando um clique com dedo quando pressionados (PARISI, 2015).

Existe também um novo modelo de óculos do Google chamado “Daydream”, que é uma espécie de versão “melhorada” do Google Cardboard. Possui um controle especial com 6DOF, mas funciona com poucos *smartphones* até o momento.

## 2.7 Dispositivos de Interação com RV

Lantz (1996) diz que o campo de RV girava em torno do HMD e que, no início, o clássico HMD junto com as luvas de dados eram considerados a verdadeira interação que uma pessoa poderia ter com RV (FIGURA 2.7).

Na seção 2.6 foram apresentados diferentes modelos de óculos de RV, cada um com sua forma de interação padrão. Entretanto, eles não se limitam apenas às formas de interação apresentadas, mas podem ser combinados com vários outros tipos de dispositivos para fornecer uma melhor interação. Nesta seção são apresentados alguns destes.

### 2.7.1 Luva de Dados

Uma forma clássica de interação com RV é utilizar-se da própria mão para interagir com o MV de uma forma mais natural possível. Para isso, é necessário que o computador reconheça a mão do usuário. Segundo Eliseo e Delmondes (2014, p. 141) “O reconhecimento das mãos pode ser feito de várias maneiras. Uma delas é através de sensores óticos ou eletromagnéticos, como as *datagloves* (luvas de dados)”.

Segundo Tori e Kirner (2006, p. 3) a luva de dados “pode gerar uma mão virtual capaz de tocar nos objetos virtuais e movimentá-los dentro do cenário.” Ou seja, ela pode ser considerada um dispositivo de entrada, pois capta o movimento das mãos reais do usuário e envia para o MV. Para um reconhecimento mais natural possível, a luva deve capturar todos os movimentos da mão com os 6DOF, além da identificação e movimentos dos cinco dedos individualmente.

Outra característica importante na interação com RV é o retorno do que está acontecendo no MV. No exemplo da luva de dados, ao pegar um objeto virtual, um *feedback*<sup>35</sup> muito interessante é a sensação de segurar o objeto na mão, tal como a pressão, temperatura e tato. A Luva

<sup>35</sup>“Reação a um estímulo; efeito retroativo”

de dados pode ser considerada também um dispositivo de saída, caso tenha algum *feedback* (MACHADO; CARDOSO, 2006).

**FIGURA 2.13 – Uma pessoa utilizando a luva de dados Manus VR junto com HTC Vive**



**Fonte:** [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ManusVR\\_Glove\\_2016.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ManusVR_Glove_2016.png)

Como exemplo recente de luva de dados temos a “Manus VR”<sup>36</sup>, com rastreamento completo de todos os dedos, rastreamento dos braços, tempo de resposta de 5ms e *feedback* háptico com vibração. Conta com giroscópio, acelerômetro e magnetômetro para rastrear os 6DOF da mão. Necessita de um baixo processamento computacional e possui bateria com duração de até 6 horas, além de tudo é sem fio e lavável (FIGURA 2.13). Também existem outros modelos interessantes, como, Gloveone<sup>37</sup>, avatar VR<sup>38</sup> e Dexmo<sup>39</sup>, entre outros.

## 2.7.2 Leap Motion

Leap Motion é um dispositivo capaz de capturar os movimentos da mão do usuário, semelhante ao que uma luva de dados faz, porém não é capaz de dar um *feedback*. Ele também pode detectar outros objetos, pois possui um modo de detecção de ferramentas. Por exemplo, Tori et al. (2016) utilizam para rastrear um objeto cilíndrico representado por uma seringa em um sistema de treinamento odontológico. Além de várias outras aplicações, como linguagens de sinais (MAPARI; KHARAT, 2016) e autenticação biométrica (KAMAISHI; UDA, 2016).

Tem o tamanho e formas parecidos com um pendrive, sendo comumente utilizado abaixo do teclado, criando uma área de rastreo em frente a tela do computador, para uso em *desktops*, ou acoplado na frente do óculos de RV, criando um campo de rastreo ajustável, com o movi-

<sup>36</sup><https://manus-vr.com/>

<sup>37</sup><https://www.neurodigital.es/gloveone/>

<sup>38</sup><https://www.neurodigital.es/avatarvr/>

<sup>39</sup><http://www.dextarobotics.com/>

mento da cabeça do usuário (FIGURA 2.14) (LING; RUI, 2016). Franz, Menin e Nedel (2016) utilizam o Leap Motion acoplado a um *mouse*, para acrescentar reconhecimento de gestos.

**FIGURA 2.14 – Uma pessoa utilizando um óculos de RV e o Leap Motion**



**Fonte:** <https://www.flickr.com/photos/30364433@N05/16863422875>

O Leap Motion possui três LEDs e duas câmeras infravermelho, semelhante ao *Microsoft Kinect*<sup>40</sup>, com tecnologia de profundidade por reconstrução 3D para fazer o rastreamento da mão do usuário (GNECCO et al., 2013).

### 2.7.3 Myo

Segundo Labs (2016) e Batista, Machado e Valença (2016) o Myo é um dispositivo de interação natural desenvolvido por “Thalmic Labs” lançado em 2014, em forma de braçadeira (wearable<sup>41</sup>), para detectar gestos. Através de movimentos é possível controlar *smartphones*, computadores, entre outros, sem precisar tocar. (FIGURA 2.15).

A braçadeira Myo possui oito sensores capazes de capturar dados de eletromiograma<sup>42</sup> dos músculos do braço e também conta com acelerômetro, giroscópio e magnetômetro. Por padrão, o Myo vem com reconhecimento de cinco gestos (ABREU et al., 2016).

Segundo Batista, Machado e Valença (2016), o Myo pesa cerca de 90 gramas, tem 19 cm de circunferência e comunica-se através de *bluetooth*. Também possui *feedback* háptico com pequenas vibrações.

<sup>40</sup>É um dispositivo desenvolvido pela Microsoft para rastrear movimentos do corpo do usuário, projetado especialmente para jogos, Xbox ou PC, mas também pode ser utilizado com a RV. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Kinect>

<sup>41</sup>Tecnologia vestível.

<sup>42</sup>É o estudo de fenômenos bioelétricos que acontecem nas membranas celulares de fibras musculares do esqueleto, <http://www.saudemedicina.com/eletromiografia-emg/>

FIGURA 2.15 – Myo



Fonte: <https://www.flickr.com/photos/30364433@N05/16863422875>

## 2.8 Relação de custo dos dispositivos

Conforme já discutido, os óculos de RV estão divididos em duas categorias: *mobile* e *desktop*. *Mobile* são os modelos que se utilizam de um *smartphone* para funcionar. Para que um *smartphone* consiga executar uma aplicação com o google cardboard<sup>43</sup> é necessário que possua, no mínimo, acelerômetro e giroscópio com sistema operacional Android (5 ou superior) ou iOS (9.1 ou superior)<sup>44</sup>. Hoje em dia modelos de *smartphone* com estas características podem ser encontrados com preço a partir de \$ 149,99 como o utilizado neste trabalho apresentado na seção 4.4<sup>45</sup>.

Outro modelo de óculos de RV *Mobile* é o Samsung Gear VR<sup>46</sup>, que tem a particularidade de funcionar somente com *smartphones* Galaxy família S (a partir do S6, que tem valor médio de \$ 599,00<sup>47</sup>).

Os modelos *desktop* requerem um computador com alto desempenho para funcionarem. Por exemplo, o Oculus Rift<sup>48</sup> requer uma configuração mínima de processador *core i3*, placa de vídeo *NVIDIA GTX 1050Ti*, memória *Ram* de 8 GB e sistema operacional *Windows 8.1*. Um *desktop* com essa configuração pode ser encontrado com preço aproximado de \$ 799,99<sup>49</sup>.

<sup>43</sup><https://www.imcardboard.com/cardboard-vr-v2-box-132.html>

<sup>44</sup><https://support.matterport.com/hc/en-us/articles/224728887-What-do-I-need-for-Virtual-Reality->

<sup>45</sup><https://www.motorola.com/us/products/moto-g>

<sup>46</sup><https://www.samsung.com/br/wearables/gear-vr/>

<sup>47</sup><https://www.samsung.com/us/mobile/phones/galaxy-s/galaxy-s8-64gb-unlocked-sm-g950uzkaxaa/>

<sup>48</sup><https://www.oculus.com/rift/#oui-csl-rift-games=robo-recall>

<sup>49</sup><https://www.bestbuy.com/site/cyberpowerpc-gamer-ultra-desktop-amd-ryzen-5-1400-8gb-memory-amd-radeon-rx-580-1tb-hard-drive-black/5833100.p?skuId=5833100>

Já HTC Vive<sup>50</sup> necessita de uma configuração mínima de processador *core i5*, placa de vídeo *NVIDIA GTX 1060*, memória *Ram* de 4 GB e sistema operacional *Windows 7*. Um computador que entrega essa configuração pode ser encontrado com preço aproximado de \$ 749,99<sup>51</sup>.

A tabela 2.1 apresenta uma relação aproximada de custo dos óculos apresentados e o valor total adicionando o preço de um computador para os modelos *desktop* ou *smartphone* para os *mobile*. Uma observação é que os preços estão em dólares e foram obtidos de sites americanos, para converter em reais ainda deveriam ser incluídos os tributos do Brasil.

**Tabela 2.1: Relação de custos**

Óculos	Plataforma	Preço	Adicional	Total
Oculus Rift	<i>Desktop</i>	\$ 349,00	\$ 799,99	\$ 1148,99
HTC Vive	<i>Desktop</i>	\$ 499,00	\$ 749,99	\$ 1248,99
Gear VR	<i>Mobile</i>	\$ 129,00	\$ 599,00	\$ 728,00
Google Cardboard	<i>Mobile</i>	\$ 7,90	\$ 149,99	\$ 157,89

Sobre os dispositivos de interação, foram encontrados os preços de \$ 89,90<sup>52</sup> para o Leap Motion, \$ 199,00<sup>53</sup> para o Myo e \$12,96<sup>54</sup> para joystick. Já as luvas digitais como a Manus VR está com preço de €4990,00 euros no site oficial<sup>55</sup>.

## 2.9 Técnicas de Interação com RV

Segundo Pinho e Rebelo (2006), a interação com RV se divide basicamente em “navegação”, “seleção” e “manipulação”. Estas ações permitem ao usuário se locomover e alterar as propriedades dos objetos dentro do MV. Nesta seção, serão abordados técnicas e métodos para realizar essas interações.

### 2.9.1 Navegação

Como navegação (também chamada de locomoção), entende-se que é o deslocamento espacial do usuário dentro do MV, sendo a alteração da posição atual ou somente sua rotação

<sup>50</sup><https://www.vive.com/us/product/vive-virtual-reality-system/>

<sup>51</sup><https://www.bestbuy.com/site/ibuy-power-desktop-intel-core-i5-8gb-memory-nvidia-geforce-gtx-1060-1tb-hard-drive-gray-black/6289104.p?skuId=6289104>

<sup>52</sup><https://store-us.leapmotion.com/products/universal-vr-developer-bundle>

<sup>53</sup><https://store.myo.com/>

<sup>54</sup>[https://pt.aliexpress.com/wholesale?catId=0&initiative\\_id=SB\\_20180504152509&SearchText=Mocute](https://pt.aliexpress.com/wholesale?catId=0&initiative_id=SB_20180504152509&SearchText=Mocute)

<sup>55</sup><https://manus-vr.com/order.php>

(PINHO; REBELO, 2006). Ou seja, mesmo que o usuário não altere sua posição, mas mude a direção do seu avatar, já é considerado uma navegação.

De uma forma simples, a navegação pode ser feita utilizando controles, como já é feito em muitos vídeo games por *joysticks*<sup>56</sup> comuns. Com botões é possível controlar a direção (para direita ou esquerda) e o sentido da locomoção (para frente ou para trás). Bozgeyikli et al. (2016) utilizam o termo “joystick locomotion techniques” para se referir a este tipo de técnica.

Um movimento bastante intuitivo para o usuário navegar dentro de um MV é o de andar (caminhar, correr). Porém este tipo de movimento tem suas dificuldades, sendo uma delas a distância que se caminha no MV correspondente ao mundo real, pois um usuário com uma sala de espaço físico pequeno (1 a 2 metros), não consegue caminhar livremente por um MV (de tamanho maior) sem o risco de se esbarrar em algo do mundo real (PINHO; REBELO, 2006).

Uma forma de contornar este problema é utilizar de técnicas alternativas. Segundo Wilson et al. (2016) algumas destas técnicas são: *walking in place* (caminhar no lugar), *teleporting* (teletransporte), *flying* (voo), *leaning* (inclinação), *arm swinging* (balanço de braço) etc.

Segundo Nabiyouni e Bowman (2016), a locomoção baseada no caminhar natural do ser humano tem sido um popular tópico de pesquisa em RV. Este tipo de locomoção se encaixa nas técnicas conhecidas como “Caminhar no Lugar” (*Walking-In-Place* - WIP). Elas fornecem uma solução para esse problema quando o MV oferece um espaço virtual maior que o espaço físico real em que se está interagindo. Muitas destas técnicas de WIP são baseadas em gestos semelhantes ao de subir escadas “*Marching Gesture*” (NILSSON et al., 2013). Ou seja, com movimento das pernas semelhante ao de marchar (levantando e abaixando os joelhos) sem sair do lugar atual.

Wilson et al. (2016) propõem um tipo de WIP utilizando duas braçadeiras Myo (dispositivo apresentado na seção 2.7.3) uma em cada tornozelo do usuário. Assim, com um algoritmo próprio, pode ser detectado o movimento de “*Walkin-In-Place*” dos tornozelos, fazendo o usuário se locomover na direção do campo de visão do óculos de RV dentro do MV.

Outra forma de WIP é simular esse movimento utilizando algum tipo de sensor de pressão abaixo dos pés. Por exemplo, Farias et al. (2006) utilizam um tapete de dança para capturar as pegadas e simular o movimento. Carrozzino et al. (2014) desenvolveram um tipo de controle para os pés (Foot Controller) através de sensores de pressão que podem ser implementados com várias metáforas de interação, como a baseada na “Wii Balance Board”<sup>57</sup>, que utiliza a inclinação do corpo para frente/trás e direita/esquerda para movimentar-se dentro do MV.

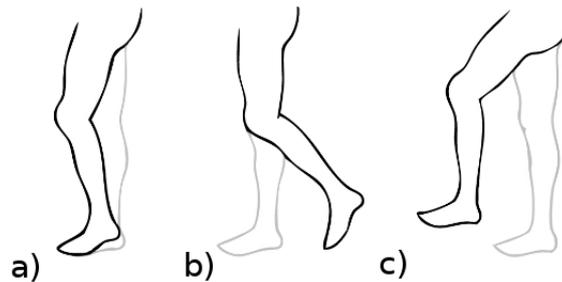
<sup>56</sup><https://pixabay.com/en/joystick-playstation-console-310922/>

<sup>57</sup>Um acessório para Nintendo Wii - [https://pt.wikipedia.org/wiki/Wii\\_Balanc\\_Board](https://pt.wikipedia.org/wiki/Wii_Balanc_Board)

Valkov et al. (2010) utilizam a mesma abordagem de gesto de inclinação (*Leaning*).

Segundo Nilsson et al. (2013), alguns movimentos de WIP podem requerer um esforço físico maior que o caminhar natural, então eles propuseram dois movimentos alternativos de WIP sendo eles *Wiping Gesture* e *Tapping Gesture* (FIGURA 2.16).

**FIGURA 2.16 – Gestos de WIP**



**Legenda** a) Tapping Gesture b) Wiping Gesture; c) Marching Gesture.

**Fonte:** Adaptado de Nilsson et al. (2013).

O *Wiping Gesture* se baseia em um movimento que é possível ser feito com as pernas, como se estivesse limpando (*wiping*) o chão com os pés, onde o usuário alternadamente move as pernas para trás flexionando os joelhos. O *Tapping Gesture* é o movimento de tocar (*tapping*) o calcanhar no chão. Também de forma alternada o usuário deve levantar o calcanhar sem desencostar os dedos do chão e depois encostar o calcanhar novamente tocando o chão. Nilsson et al. (2013) dizem que o *Tapping Gesture* é o mais natural e o que melhor corresponde ao esforço físico percebido do caminhar real, em comparação ao *Wiping Gesture* e *Marching Gesture*.

Uma outra forma de navegação WIP é utilizando de mecanismos físicos mais sofisticados, como é o caso das esteiras omnidirecionais “*Omni-Directional Treadmill - ODT*” que permitem uma locomoção em larga escala. Permite o usuário caminhar ou correr (algumas até pular ou sentar) em qualquer direção (DARKEN; COCKAYNE; CARMEIN, 1997). A Figura 2.17 mostra uma pessoa interagindo com um tipo de esteira omnidirecional da empresa Virtux VR<sup>58</sup>. Ela permite andar, correr, pular e andar para trás. Desmembra os movimentos de cabeça e corpo, de modo que se pode mover e olhar em diferentes direções ao mesmo tempo.

Bozgeyikli et al. (2016) citam uma técnica chamada de *redirected walking* (Redirecionamento de caminho), que faz o usuário caminhar em círculos fazendo-o pensar que está andando em linha reta. Este tipo de sistema rastreia o ambiente real fazendo o MV rotacionar em pequenas quantidades a fim de fazer o usuário desviar-se do limite (obstáculos) do espaço físico real. Esta técnica pode ser complementada de forma que se altere dinamicamente o MV, por exemplo, mudando as posições das portas ou colocando distrações para que o usuário possa caminhar

<sup>58</sup><http://www.virtuix.com/>

para o centro do espaço físico (PECK; FUCHS; WHITTON, 2010; SUMA et al., 2011).

**FIGURA 2.17 – VirtuixOmni**



**Fonte:** [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Virtuix\\_Omni\\_in\\_use\\_with\\_player.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Virtuix_Omni_in_use_with_player.JPG)

Segundo Bozgeyikli et al. (2016), técnicas não baseadas no caminhar natural reduzem riscos de mal-estar causados pela visibilidade da locomoção dentro do MV, ou seja, deixar que o usuário veja que está se locomovendo “pode” causar mal-estar provocando tonturas, vômitos etc.

Bozgeyikli et al. (2016) apresentam uma técnica chamada de *Point & Teleport* (Apontar & Teletransportar), na qual o usuário aponta em uma direção, para onde quer estar, no MV e instantaneamente é transportado para aquela posição. Duas operações são utilizadas, a de “apontar” (*point*) e a outra de Teletransportar (*teleport*).

No teletransporte, o usuário é reposicionado dentro do MV mantendo a mesma orientação, porém o processo durante o teletransporte pode ser feito de várias maneiras, uma delas é a de mover o usuário no MV até chegar ao seu destino com velocidade acelerada, assim ele pode ver ao seu redor que está se movendo, porém dessa forma, pode gerar um mal-estar no usuário. Outra forma é fazer o transporte com um breve efeito de desaparecer e reaparecer suavemente (*fade-out and fade-in*), neste caso pode haver uma quebra de imersão e uma espera desnecessária para aguardar o efeito terminar (BOZGEYIKLI et al., 2016). Segundo o mesmo autor, esta técnica de teletransporte instantâneo se mostrou intuitiva, fácil de usar e divertida, comparada com a WIP.

*Arm-Swinging* (balanço de braço) é um método simples que captura o balanço natural (ao caminhar) do braço do usuário para movê-lo dentro do MV. McCullough et al. (2015) utilizam

o Myo com um algoritmo próprio capaz de detectar o balanço do braço do usuário caminhando sem precisar sair do lugar, assim fazendo-o se mover dentro do MV na direção do campo de visão do óculos de RV. Este método requer um pequeno esforço físico e não tem limitação de espaço.

Segundo McCullough et al. (2015), com o método “*Myo Arm-swinging*” só é possível caminhar na direção que se olha, diferente de outros métodos baseados no caminhar natural, nos quais é possível caminhar e olhar em direções diferentes.

Usoh et al. (1999) apresentam também um método chamado de Voo (*flying*) no qual o usuário pode literalmente voar dentro do MV na direção apontada pela mão, ficando independente do campo de visão, ou seja, podendo se locomover em uma direção e olhar em outra.

## 2.9.2 Seleção e Manipulação

Um outro tipo de interação com RV é a manipulação, no qual é possível manipular o objeto dentro do MV, mas primeiro deve-se selecionar tal objeto a ser manipulado, no qual se encaixa as técnicas de seleção (PINHO; REBELO, 2006). Segundo o mesmo autor, o processo de seleção possui duas etapas. Na primeira acontece a *indicação do objeto*, ou seja, o usuário indica para o sistema qual é o objeto que deseja manipular, o que pode ser feito apontando-se, tocando-se, englobando-se com moldura, escolhendo através de lista de texto etc. No segundo, acontece a *confirmação da seleção*, no qual o usuário confirma e finaliza a seleção para logo depois fazer a manipulação, que pode ser através de gestos, botões, voz ou por tempo de apontamento (caso o usuário fique por um tempo determinado apontando para um objeto, deve-se confirmar a seleção) como é o caso da interação padrão para Google Cardboard, também conhecida como *Gaze input*.

Segundo Pinho e Rebelo (2006), o retorno (*feedback*) é essencial para seleção tanto na indicação do objeto quanto na confirmação da seleção. Na indicação deve-se destacar o objeto dos demais, que pode ser feito mudando a cor, adicionando uma moldura, alterando o tamanho etc. Já na confirmação também é preciso de algum sinal de retorno que pode ser visual, sonoro, tátil etc.

Como manipulação, pode-se entender a alteração das propriedades de um ou vários objetos voluntariamente realizada pelo usuário. Como alteração das propriedades entende-se que é a mudança de uma ou várias características do objeto, por exemplo, alteração da posição (rotação ou translação), tamanho (altura, largura, profundidade), cores, som, comportamento, forma, textura etc (BOWMAN, 2005).

Segundo Pinho e Rebelo (2006), as técnicas mais comuns em MV são as classificadas como *interação direta*, ou também conhecidas como *interação natural*. Essas técnicas são baseadas nos movimentos naturais do corpo humano (mãos, braços, cabeça etc.). Esses tipos de técnicas são também conhecidas como *mão virtual*, pois são baseadas na interação real da mão do usuário (BASTOS; TEICHRIEB; KELNER, 2006).

Como exemplo de técnica de interação natural temos a “*Simple Virtual Hand*” (mão virtual) que é a interação mais natural possível através de sensores, luvas, entre outros tipos de dispositivos, por exemplo, Hilfert e König (2016), Ling e Rui (2016) demonstram a utilização do Leap Motion com óculos de RV para este tipo de interação onde, de forma bem intuitiva, o usuário pode interagir (selecionar, pegar, soltar, mover, manipular etc.) com objetos do MV fazendo movimentos com a mão real no mundo físico com 6DOF. Porém este tipo de interação natural tem suas limitações.

Uma delas é que só se pode interagir com objetos que estão no campo de alcance do braço real do usuário, ou seja, não é possível selecionar e manipular um objeto que esteja longe. Além disso, para fazer a manipulação direta deve-se possuir algum tipo de dispositivo para rastrear as mãos. Para contornar essa limitação, a fim de promover uma melhor interação com RV, existem várias técnicas alternativas como *Go-go*, *WIM*, *Ray-casting*, *HOMER* etc.

Poupyrev et al. (1996) apresentam uma técnica de interação direta chamada de “*Go-go*”. Essa técnica usa uma metáfora de crescimento do braço do usuário, a fim de manipular o objeto que esteja fora do alcance. O usuário pode manipular um objeto que esteja no seu alcance normalmente com a mão virtual, e quando desejar manipular outro objeto fora do seu alcance, basta esticar o braço na direção do objeto que de forma exponencial o braço se estende até ele no MV. Essa técnica pode ter variações, por exemplo, para estender e retrainir o braço o usuário pode utilizar de botões ou outros comandos, gestos etc (PINHO; REBELO, 2006).

Uma outra técnica interessante de manipulação é a chamada de *Mundo em Miniatura* ou “*Worlds in Miniature - WIM*”. Esta técnica consiste em criar uma miniatura (em menor escala) do MV para que esteja ao alcance das mãos do usuário. Sobre uma das mãos aparece o *WIM*, permitindo uma visão aérea do MV e com a outra mão pode ser feita a seleção e manipulação, que é refletida no MV “real” (STOAKLEY; CONWAY; PAUSCH, 1995). De forma semelhante, outra técnica chamada de *Scaled-World Grab* escala o MV de forma que esteja ao alcance do usuário (ROBINETT; HOLLOWAY, 1992).

Um outro tipo de interação é conhecida como *Ray-Casting* (apontamento por raio) que é um tipo de técnica de seleção. Basicamente, uma espécie de raio laser sai da mão do usuário a fim de alcançar determinado objeto e selecioná-lo para depois poder ser manipulado. Existem

muitas variações desta técnica na maneira que o usuário aponta o raio, por indicação do dedo, por dispositivos específicos, com as duas mãos, na direção do ponto de visão etc. (FIGURA 2.18) (BASTOS; TEICHRIEB; KELNER, 2006; PINHO; REBELO, 2006).

**FIGURA 2.18 – Ray-casting**



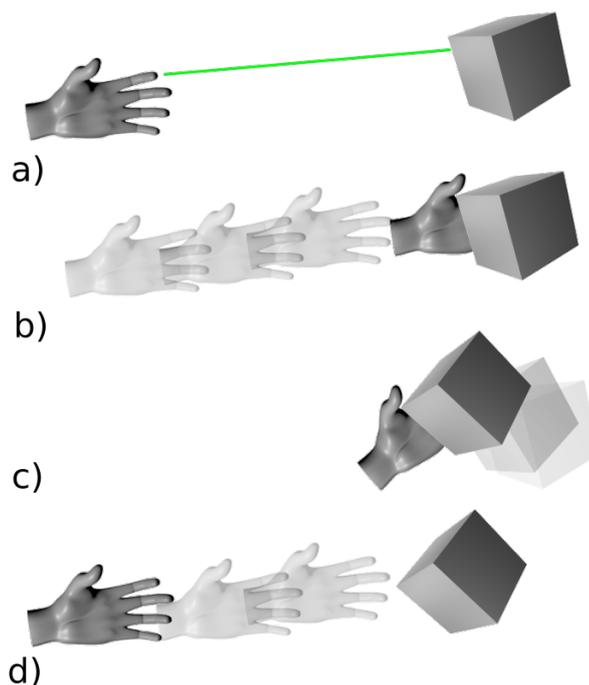
**Legenda:** O google street view pode ser utilizado com google daydream que usa uma técnica de navegação baseada no *ray-casting*. Pode-se selecionar um local que esteja fora de alcance com um raio que sai do controle do daydream.

**Fonte:** Adaptado de <http://phandroid.com/2016/11/10/best-daydream-vr-apps/>

Várias técnicas de seleção e manipulação podem ser combinadas para melhorar a interação. Por exemplo, Bowman e Hodges (1997) combinam a *ray-casting* para selecionar o objeto e depois com a técnica da *mão virtual* ele é manipulado, ou seja, através de um raio de luz o objeto é selecionado e uma mão virtual (dentro do MV) se move até a posição do objeto e fica presa a ele, permitindo depois disso a manipulação natural. Quando o objeto é solto a mão retorna à posição original. Essa técnica é chamada de *HOMER (Hand-centered Object Manipulation Extending Ray-casting)* (FIGURA 2.19).

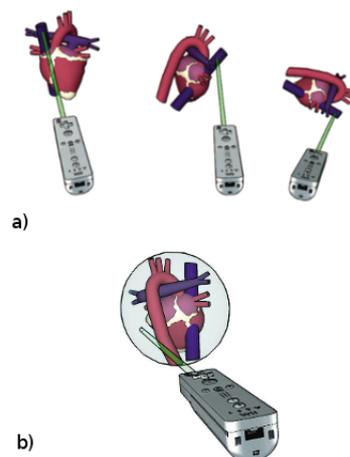
A manipulação direta com a *mão virtual* pode causar um pouco de imprecisão em determinados sistemas. Frees, Kessler e Kay (2007) apresentam uma técnica chamada de *PRISM (Precise and Rapid Interaction through Scaled Manipulation)*. Seu objetivo é aumentar a precisão e o controle do usuário no MV. Resumidamente, faz com que o cursor ou objeto se mova e gire mais lentamente do que a mão real do usuário, reduzindo o efeito da instabilidade das mãos. Wilkes e Bowman (2008) combinam a técnica de *PRISM* com a *HOMER*, chamando de *scaled HOMER*, que é basicamente a técnica *HOMER* melhorada, onde a velocidade da mão virtual é alterada de acordo com a velocidade do movimento da mão real do usuário, ou seja, se o usuário mover sua mão mais rapidamente, o movimento da mão virtual será maior, e se mover a mão real lentamente, a velocidade da mão virtual será menor.

Segundo Katzakis et al. (2013), algumas técnicas de seleção e manipulação podem gerar

**FIGURA 2.19 – Técnica de interação HOMER**

**Legenda:** a) Seleção do objeto por *ray-casting*; b) A mão virtual se move até a posição do objeto e fica presa a ele; c) É feita a manipulação natural; d) A mão volta para posição inicial deixando o objeto alterado.

**Fonte:** Elaborado pelo autor baseado em Bowman (2005).

**FIGURA 2.20 – Mesh-Grab e Arcball-3D**

**Legenda:** Ilustração dos métodos manipulando um modelo 3D de um coração humano; a) *Mesh-Grab*; b) *Arcball-3D*.

**Fonte:** Adaptado e com permissão de Katzakis et al. (2013).

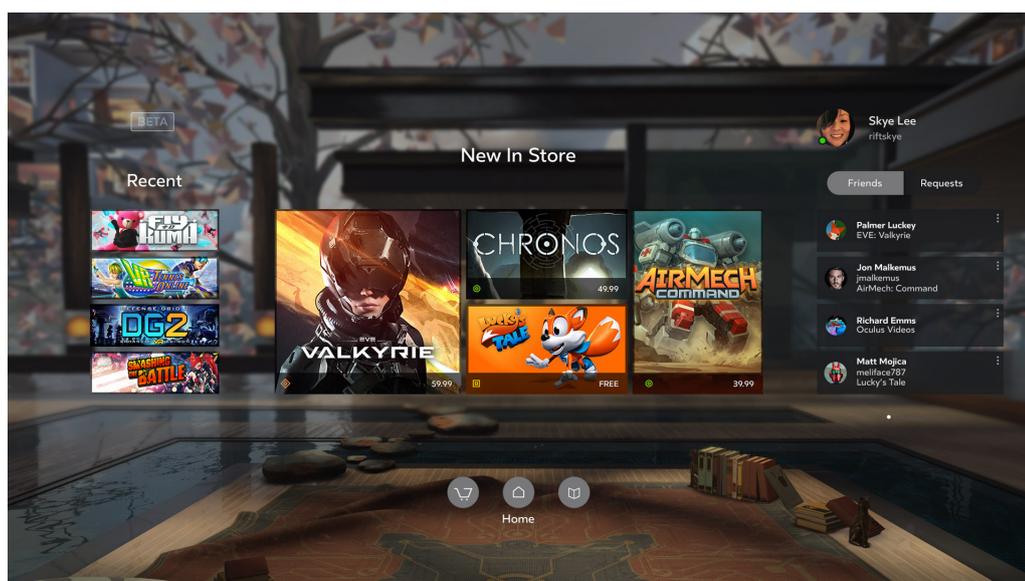
um desconforto ao usuário por ter que estender os braços (apontar em uma direção) ao longo do tempo. Ainda segundo o mesmo autor em testes baseados em *ray-casting* usuários comumente faziam o apontamento dos raios com os braços na altura da cintura e abdômen. Então eles

propuseram duas alternativas chamadas de “*Mesh-Grab* e *Arcball-3D*”<sup>59</sup>.

O *Mesh-Grab* utiliza o *Wiimote* (controle utilizado no console Nintendo Wii) como uma espécie de “varinha” para lançar o raio de seleção. Ao pressionar um botão do *wiimote*, pode-se manipular as rotações do objeto selecionado e, com outro botão, as translações ou os dois simultaneamente. Após o objeto selecionado, o raio fica “rígido” para fazer a manipulação e também pelo *d-pad*<sup>60</sup> (botões direcionais) é possível expandir ou retrair o raio, deixando o objeto mais perto ou mais longe, sem ter que estender o braço (FIGURA 2.20 a) (KATZAKIS et al., 2013).

O método *Arcball-3D* funciona exatamente da mesma maneira que *Mesh-Grab*. O raio é emitido a partir da varinha (*wiimote*) que seleciona o objeto, porém ele fica envolvido por uma esfera (FIGURA 2.20 b) (KATZAKIS et al., 2013).

**FIGURA 2.21 – Menu principal do Oculus Rift e Gear VR com Menu 2D adaptado.**



**Fonte:** Adaptado de <https://www.oculus.com/rift/>

Essas técnicas apresentadas também são conhecidas como manipulação e seleção de objetos 3D. Além dessas técnicas baseadas em ambientes 3D, uma forma poderosa de interação pode ser obtida combinando técnicas de controles de sistemas 2D, no qual menus 2D e menus 1-DOF (que são presos à mão do usuário) podem ser adaptados dentro do MV (FIGURAS 2.21 e 2.22) (BASTOS; TEICHRIEB; KELNER, 2006).

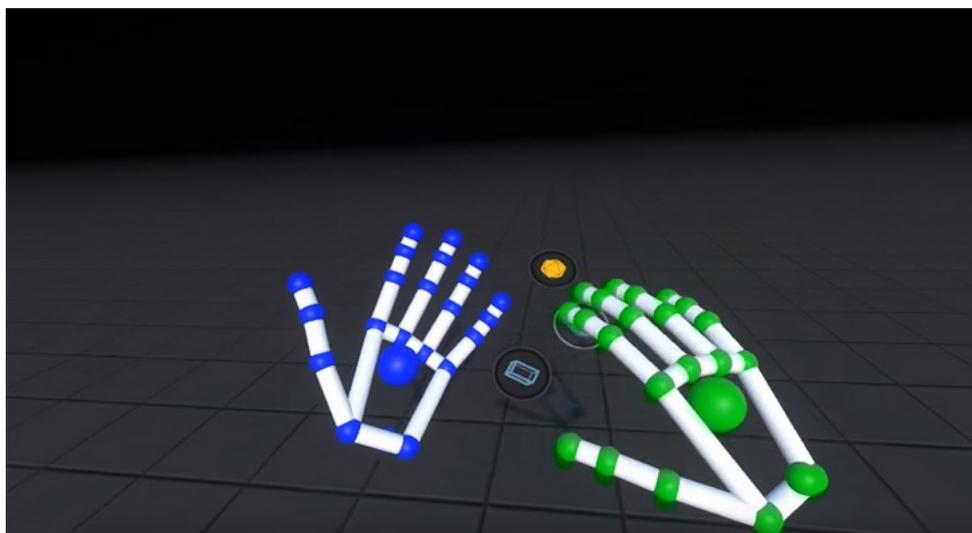
<sup>59</sup><https://www.youtube.com/watch?v=-fU9xhzBpWo>

<sup>60</sup><http://www.infendo.com/top-spin-wii-announced-with-suspect-controls/>

## 2.10 Considerações Finais

Este capítulo apresentou os conceitos relativos à RV explicando sobre o termo, histórico e algumas características do assunto. Foi mostrado o estado da arte em relação à interação que se divide basicamente em seleção, manipulação e navegação. É possível perceber que há várias técnicas para interação com RV. Foi possível ver que existem diversos dispositivos de RV com custos mais altos e mais baixos.

**FIGURA 2.22 – Botões de 1-DOF padrão do Leap Motion**



**Legenda:** Ao virar a mão esquerda mostrando a palma, aparecem 3 botões que podem ser selecionados com a mão direita.

**Fonte:** Adaptado de <https://www.leapmotion.com/>

O próximo capítulo mostra um mapeamento sistemático realizado para levantar o estado da arte sobre quais dos diversos dispositivos e técnicas de interação estão sendo estudados e desenvolvidos com aplicações educacionais especificamente com óculos de RV de baixo custo.

# Capítulo 3

## TRABALHOS RELACIONADOS

---

---

Este capítulo apresenta um Mapeamento Sistemático realizado para possibilitar um levantamento do estado da arte com óculos de RV de baixo custo aplicado à Educação. Com os resultados do Mapeamento Sistemático obteve-se uma visão das principais pesquisas que vêm sendo desenvolvidas nesta área nos últimos 5 anos.

A seguir é apresentado de forma resumida o processo do Mapeamento Sistemático: a seção 3.1 apresenta o planejamento, metodologia seguida, objetivo, itens de pesquisa, *string* de busca, critérios de inclusão e exclusão e estratégia de busca. Na seção 3.2 é apresentada a forma de condução, período, quantidade de trabalhos aceitos. Na seção 3.3 são apresentados os principais resultados obtidos com a análise dos dados, os itens de pesquisa e os trabalhos relacionados. Na seção 3.4 são discutidos os resultados de forma qualitativa e apresentadas percepções gerais obtidas durante todo o processo. Por fim, na seção 3.5 é apresentada a conclusão do capítulo.

### 3.1 Mapeamento Sistemático

Este mapeamento, seguiu a método proposto por Kitchenham e Charters (2007) composto por três etapas principais: Planejamento, Condução e Extração dos Resultados. Todo o planejamento foi documentado no protocolo de definições das questões norteadoras da pesquisa: objetivo, itens de pesquisa, estratégia de busca, seleção dos trabalhos (critérios de inclusão e exclusão).

O objetivo da pesquisa foi identificar o estado da arte na área de RV aplicada à Educação, tendo como foco soluções de baixo custo (óculos de RV), resultando em uma visão geral dos tipos de aplicações educacionais que vêm sendo propostas; as soluções adotadas; as técnicas de interação utilizadas para movimentação e manipulação dentro do AV; formas de avaliação dos

trabalhos (analíticas ou empíricas) e áreas de aplicação.

Baseado nos objetivos expostos, foram propostas seis itens de interesse na pesquisa. Os itens e respectivas motivações são apresentadas na Tabela 3.1

**Tabela 3.1: Itens de Interesse no mapeamento**

Itens de Interesse	Motivação principal
<b>I1.</b> Qual óculos de RV foi utilizado?	Identificar qual modelo de óculos de RV foi utilizado como, Google Cardboard, Oculus Rift etc.
<b>I2.</b> Qual sistema foi utilizado para desenvolver a aplicação de RV?	Identificar os sistemas utilizados, na modelagem, desenvolvimento, programação etc.
<b>I3.</b> Foram utilizados dispositivos além dos óculos de RV para melhorar a interação?	Identificar os dispositivos físicos para entrada de informação utilizados junto com óculos de RV como, luva de dados, <i>joystick</i> , teclado e <i>mouse</i> etc.
<b>I4.</b> Quais técnicas de interação foram utilizadas?	Determinar se foi utilizada alguma técnica específica para interagir com a aplicação, como se locomover ou selecionar e manipular objetos dentro do MV.
<b>I5.</b> Qual área de aplicação?	Identificar quais áreas do conhecimento têm investido no desenvolvimento de sistemas com base em óculos de RV (exatas, humanas, saúde etc).
<b>I6.</b> Foram utilizados métodos de avaliação? Quais?	Identificar se os trabalhos passaram por algum tipo de avaliação analítica ou empírica.

Após definir os itens de pesquisa, foi construída uma *string* de busca genérica baseada em Brereton et al. (2007). Primeiramente, definiu-se alguns termos principais relacionados com os itens de pesquisa. Em um segundo momento, identificou-se os termos relacionados ou sinônimos (derivados) destes termos principais conectando-os pelo operador OR e, por fim, conectando estes termos com o operador AND.

Inicialmente foi realizado uma busca com os termos principais “*virtual reality*” AND “*head-mounted display*” AND “*Education*” e analisando os trabalhos retornados, resumos e palavras-chave para definir os termos derivados conforme mostra a Tabela 3.2.

Para a seleção dos trabalhos, foram definidos critérios de inclusão e exclusão para que fosse possível filtrar os que iriam corresponder com os itens de pesquisa conforme mostra a Tabela 3.3. E na estratégia de busca foram selecionadas fontes e revistas consideradas relevantes para área, além da definição dos filtros, linguagens e período de publicação, apresentados na Tabela

**Tabela 3.2: Termos utilizados na *string* de busca**

<b>Termo principal</b>	<b>Termos derivados</b>
Realidade Virtual	("virtual reality")
Óculos de RV	("virtual reality glasses" OR "stereotypic glasses" OR "head-mounted displays" OR HMD OR "virtual reality headset" OR "rift" OR "samsung gear" OR "htc vive" OR "cardboard" OR "daydream")
Educação	("educat*" OR "learning" OR "teaching" OR "training")

3.4.

**Tabela 3.3: Critérios de Inclusão e Exclusão**

<b>Critérios de Inclusão</b>	<p><b>CI1.</b> Serão incluídos trabalhos que apresentam aplicações educacionais ou de treinamento que utilizam óculos de RV.</p> <p><b>CI2.</b> Serão incluídos trabalhos que fazem análises ou comparações de interação ou imersão com RV que estejam relacionados com a educação.</p> <p><b>CI3.</b> Serão incluídos trabalhos que fazem estudos sobre aplicações RV com a educação.</p>
<b>Critérios de Exclusão</b>	<p><b>CE1.</b> Serão excluídos trabalhos que apenas comentem sobre a utilização de óculos de RV e não apresentam alguma característica do óculos.</p> <p><b>CE2.</b> Serão excluídos trabalhos que não são de ambientes tridimensionais.</p> <p><b>CE3.</b> Serão excluídos trabalhos com foco em tratamento de doença, reabilitação, terapia, na área de saúde em geral sem o contexto educacional.</p> <p><b>CE4.</b> Serão excluídos trabalhos que apresentam a mesma aplicação de outro artigo.</p>

**Tabela 3.4: Estratégia de busca**

<b>Fontes</b>	Biblioteca Digital da ACM, Biblioteca Digital do IEEE, Scopus, Springer, Elsevier, SBGames, IHC, SVR, SBIE, RBIE, Computer and Education.
<b>Filtros</b>	Título, Resumo, Palavras-chave.
<b>Linguagem</b>	Português e Inglês.
<b>Período</b>	A partir de 2013 (inclusive).

## 3.2 Condução do mapeamento

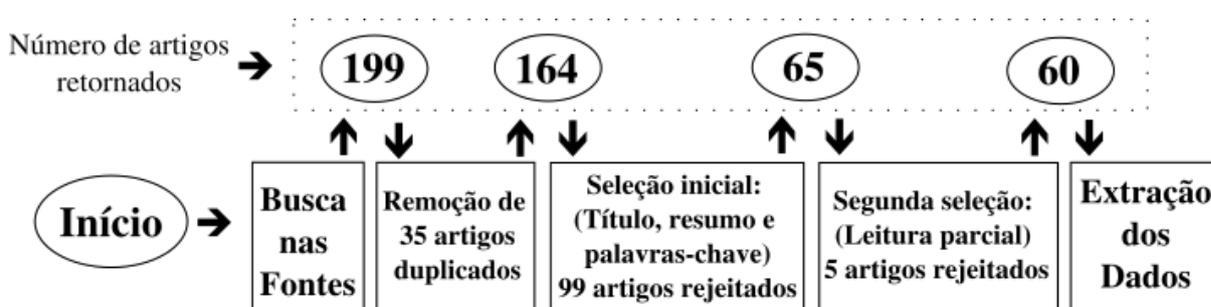
Na condução do mapeamento, a *string* genérica de busca foi adaptada para cada base de dados e os resultados foram salvos em uma planilha no *LibreOffice Calc*<sup>1</sup>. Também foram

<sup>1</sup><https://pt-br.libreoffice.org/descubra/calc/>

inseridos artigos retornados da busca manual, totalizando 199 artigos<sup>2</sup>. A realização do mapeamento sistemático aconteceu no ano de 2017 com o período de 20 de Fevereiro a 22 de Maio.

Primeiramente foram removidos 35 artigos encontrados duplicados e, após leitura de título, resumo e palavras-chave na seleção inicial, foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão que resultou em 65 artigos aceitos, sendo 99 recusados. Na segunda seleção foi feita uma leitura parcial dos artigos aceitos na primeira seleção, considerando a introdução, a conclusão e os tópicos internos que corresponderiam com os itens de pesquisa. Nesta mesma etapa foram reaplicados os critérios de inclusão e exclusão obtendo 60 artigos aceitos no final<sup>3</sup>. A Figura 3.1 ilustra o processo da condução do mapeamento. A extração dos dados foi realizada preenchendo um formulário de extração desenvolvido no próprio *LibreOffice Calc*<sup>4</sup>.

**FIGURA 3.1 – Condução do mapeamento**



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

De todas as fontes de busca, a Scopus foi a que mais retornou trabalhos, com 143 (71,9%), em segundo, o serviço de busca da ACM, retornou 25 (12,6%). Uma observação foi que o serviço de busca da IEEE não retornou nenhum artigo com a string adaptada, porém percebeu-se que os artigos retornados pela Scopus incluíam artigos da IEEE, então optou-se por continuar a busca pela Scopus, sem utilizar o buscador da IEEE. A ScienceDirect retornou 17 (8,5%), Springer Link 6 (3%) (Na Springer Link não foi possível aplicar filtros no título, resumo e palavras-chave diretamente no seu buscador, sendo feito posteriormente no Calc) e as demais fontes juntas (SBGames, SBIE, SVR), através de busca manual, retornaram 8 (4%) trabalhos.

<sup>2</sup>No link: <https://github.com/layonmartins/TrabalhosMapSistematico> é possível fazer o download de uma lista com a relação destes 199 artigos.

<sup>3</sup>No link: <https://github.com/layonmartins/TrabalhosAceitosMapSistematico> é possível fazer o download de uma lista com a relação destes 60 artigos com os dados extraídos.

<sup>4</sup>No link: <https://github.com/layonmartins/extracaodosDados> é possível fazer o download de uma lista com os dados extraídos respondendo os itens de pesquisa.

### 3.3 Análise dos dados e resultados

Nesta seção apresentamos algumas informações gerais, os itens de pesquisa e algumas análises realizadas após a extração dos dados. O ano de publicação com mais trabalhos aceitos foi o de 2015 com 30 trabalhos (50%), em segundo 2016 com 22 (36,7%). O ano de 2017 até a data coletada (dia 08 de Março) foi de 3 artigos (5%), a mesma quantidade publicada em 2014 e, por fim, o ano de 2013 com 2 (3,3%). As Tabela 3.5 e 3.6 apresentam uma relação de quantidades de trabalhos aceitos com os países e fontes de publicação em ordem decrescente.

**Tabela 3.5: Relação de quantidade de trabalhos aceitos por países**

<b>País</b>	<b>Quant.</b>
EUA	9 (13%)
Brasil	8 (11,6%)
Alemanha	4 (5,8%)
Austrália, China, Índia, México, Polônia, Portugal e Reino Unido.	3 (4,3%) (Cada um)
Arábia Saudita, Espanha, Finlândia, Itália, Japão e Noruega.	2 (2,9%) (Cada um)
Brunei Darussalam, Chipre, Coreia do Sul, Dinamarca, França, Grécia, Irlanda, Israel, Não identificado, Nova Zelândia, Rússia, Suécia, Tailândia, Taiwan, Tunísia.	1 (1,4%) (Cada um)

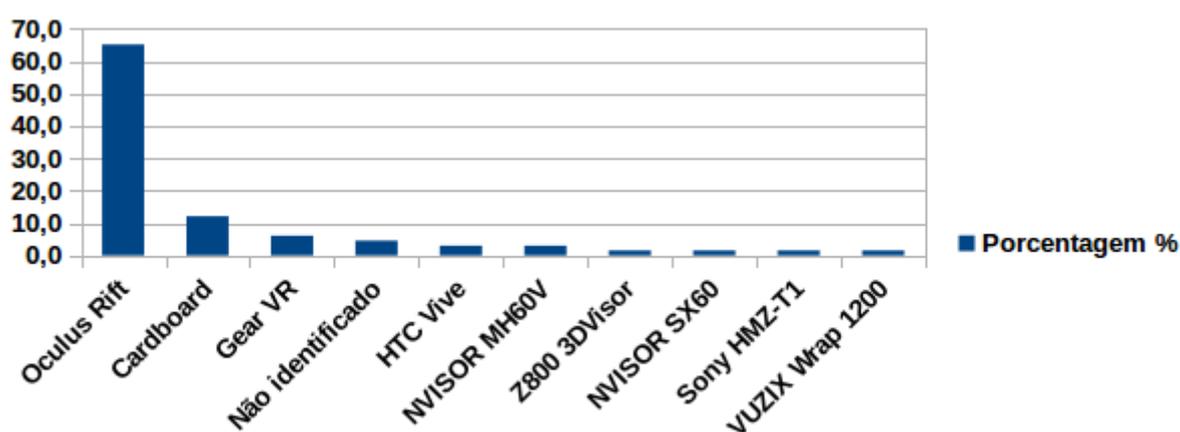
**Tabela 3.6: Relação de quantidade de trabalhos aceitos por fontes de publicação**

<b>Fonte</b>	<b>Quant.</b>
IEEE	20 (33,3%)
ACM	13 (21,7%)
Elsevier	9 (15%)
Dechema e.V.	3 (5%)
ASME e SBIE.	2 (3,3%) (Cada um)
I.A.A.R.C., IAF, Academic Conferences Limited, American Chemical Society, American Society for Engineering Education, ASCE, Asian Association on Remote Sensing, IADIS, Maruzen Co., Ltd., SME e Taylor and Francis Ltd.	1 (1,7%) (Cada um)

### 3.3.1 I1. Qual óculos de RV foi utilizado?

Os óculos de RV que mais se destacaram foram o “Oculus Rift”, adotado em 43 (65,2%) dos trabalhos analisados, o “Google Cardboard”, com 8 (12,1%), e o “Samsung Gear VR”, com 4 (6,1%). Conforme mostra a Figura 3.2, os outros modelos tiveram um índice bem inferior. Outra informação importante a se relatar sobre os óculos de RV são seus preços, até a data deste trabalho nos *sites* oficiais o preço em *dólar* se encontrava: Google Cardboard - U\$ 15,00; Samsung Gear - U\$ 93,99 e Oculus Rift - U\$ 399,00.

FIGURA 3.2 – Óculos de RV utilizados



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.3.2 I2. Qual *software* foi utilizado para desenvolver a aplicação de RV?

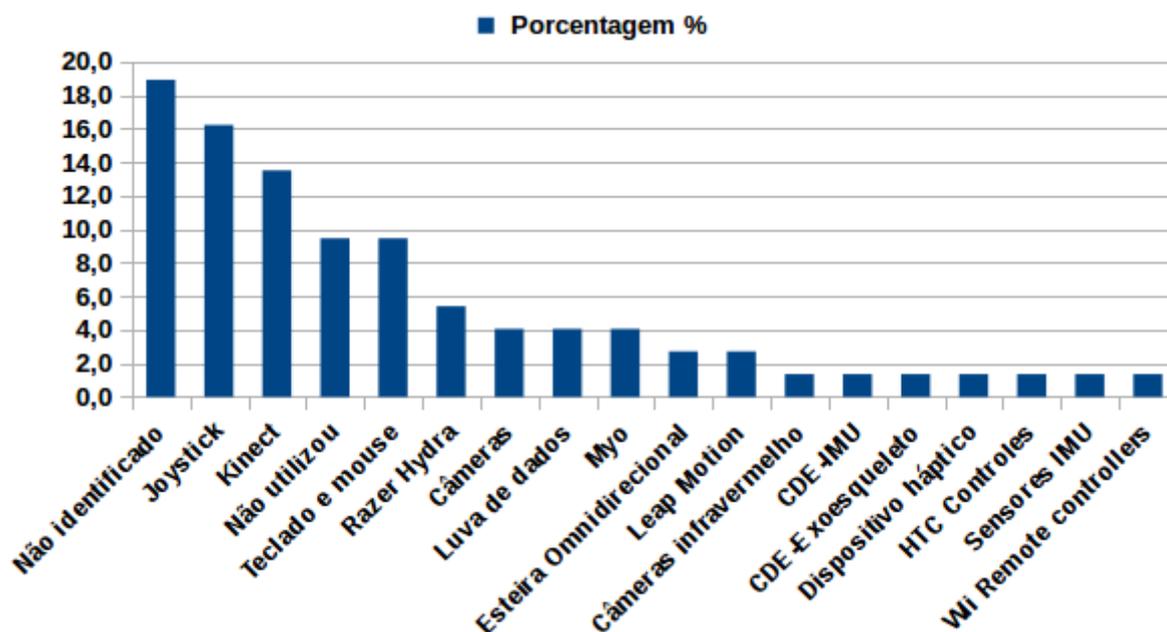
O *Software* mais utilizado para desenvolver as aplicações foi a “Unity - Game Engine”, utilizada em 28 (35,9%) dos trabalhos analisados. Em segundo, o “SketchUP”, foi utilizado em 6 trabalhos (7,7%), e em terceiro, empatados, “Blender” e “Unreal Engine”, cada um apareceu em 5 (6,4%). Vale ressaltar que em 21 artigos (26,9%), não foi possível identificar algum *software* ou ferramenta utilizada e o restante dos trabalhos (16,7%) utilizaram outros *softwares* em menores índices (AutoCad, Photoshop, Maya, SketchFab etc).

### 3.3.3 I3. Foram utilizados dispositivos além dos óculos de RV para melhorar a interação?

Para interação foram encontrados vários dispositivos utilizados em conjunto com óculos de RV, os que mais se destacaram foram o “*joystick*”, utilizado em 12 (16,2%) trabalhos analisados, o “Kinect” em 10 (13,5%) e “Teclado e *mouse*” em 7 (9,5%). Em 14 artigos (18,9%) não foi

possível identificar qual dispositivo adicional de interação foi utilizado. Outros dispositivos encontrados também são mostrados na Figura 3.3.

**FIGURA 3.3 – Dispositivos de Interação adicionais**



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.3.4 I4. Quais técnicas de interação foram utilizadas?

Várias técnicas de interação foram identificadas. Para simplificar a apresentação dos resultados deste item de pesquisa, foi feita uma classificação das técnicas que são detalhadas na Tabela 3.7, contendo o nome da técnica, uma explicação geral do conceito proposto, quantidade de artigos e porcentagem. Alguns trabalhos utilizam mais de uma técnica de interação. Em 18 artigos (22,2%) não foi possível identificar a técnica de interação utilizada.

### 3.3.5 I5. Qual área de aplicação?

Encontrou-se uma variedade de aplicações de RV em diversas áreas da educação e treinamento conforme pode ser visualizado na Figura 3.4.

As áreas que mais se destacaram foram Engenharias (Mecânica, Civil, Arquitetura etc.) com 12 (20%) trabalhos e também a área de Saúde (Anatomia, Medicina, Enfermagem etc.) com 11 (18,3%) trabalhos.

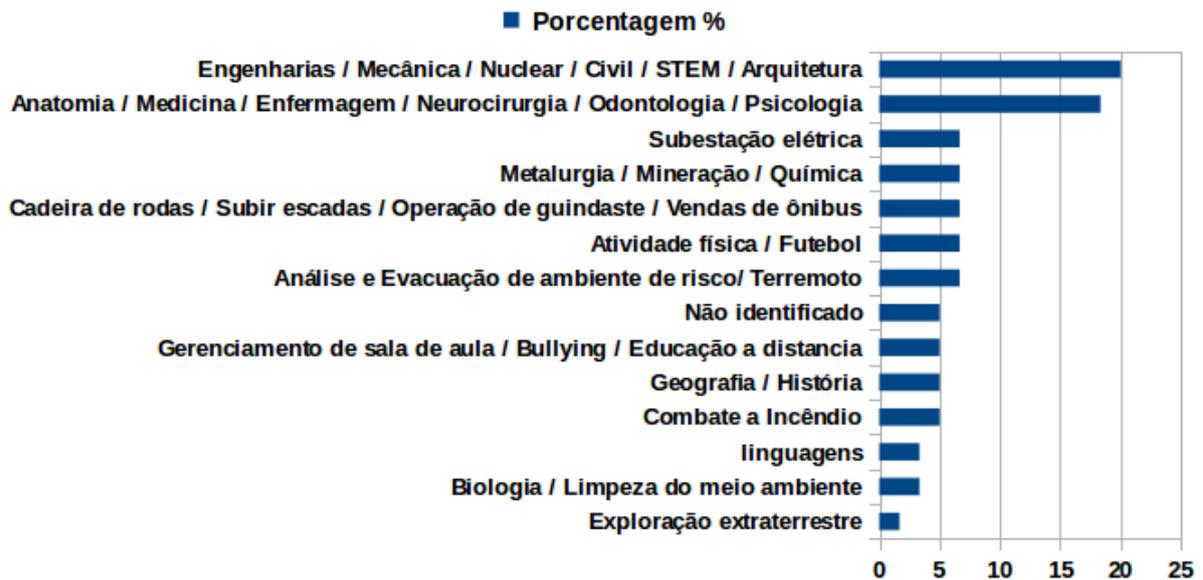
Tabela 3.7: Técnicas de interação

Técnica	Explicação	Quant.
<b>Botão físico</b>	Todo tipo de interação que usa algum tipo de botão físico ou controles, como botão capacitivo do “Cardboard”, <i>Touch</i> do “Gear VR”, <i>joystick</i> etc.	21 artigos (25,9%)
<b>Manipulação natural</b>	Utiliza movimentos naturais exclusivamente da mão para movimentar algum objeto dentro do MV.	11 artigos (13,6%)
<b>Gesto</b>	De forma geral são técnicas que utilizam algum tipo de movimentação natural do corpo humano (um aceno) para interagir com o sistema mas que não são de manipulação ou locomoção natural.	10 artigos (12,3%)
<b>Convencional</b>	Utilizam simplesmente o teclado e <i>mouse</i> convencionais, para navegar, selecionar e manipular o MV.	10 artigos (12,3%)
<b>Locomoção natural</b>	Técnica de navegação ou locomoção que tem a finalidade de fazer o usuário “andar” dentro do MV semelhante ao caminhar natural (movimentos das pernas).	7 artigos (8,6%)
<b>Manipulação Háptica</b>	Técnica de manipulação de objetos virtuais que utiliza algum dispositivo háptico capaz exercer força como resposta ao usuário.	1 artigo (1,2%)
<b>Raio de apontamento</b>	Técnica mais específica de seleção, que utiliza uma metáfora de raio para alcançar o objeto a ser manipulado.	1 artigo (1,2%)
<b>Teletransporte</b>	Técnica mais específica de navegação, onde o usuário é capaz de se locomover no MV de forma mais rápida, sem precisar “andar”, ou seja, se teletransportando.	1 artigo (1,2%)
<b>Botão virtual</b>	Utiliza um tipo de botão que está presente apenas dentro do MV sendo capaz de realizar alguma interação quando acionado pelo o usuário. Estes também podem se encaixar na categoria dos menus 2D adaptados ou menus 1-DOF.	1 artigo (1,2%)

### 3.3.6 I6. Foram utilizados métodos de avaliação?

A maioria dos trabalhos, 37 (61,7%), apresentaram uma avaliação do sistema de RV proposto e 23 (38,3%) não apresentaram. Todos que apresentaram uma avaliação descreveram

FIGURA 3.4 – Áreas de educação e treinamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

uma avaliação empírica com usuários (crianças, estudantes e profissionais). Destes 37 trabalhos, em 19 foram identificados recursos (questionários, escala Likert e quiz) para entrevistar os usuários, apenas um dos trabalhos comentou utilizar a técnica “pensar em voz alta” (BALL et al., 2015). Percebeu-se também que 13 trabalhos realizaram comparações entre a aplicação desenvolvida com óculos de RV com outros sistemas não-RV de ensino, destes 8 compararam uma aplicação RV, aplicada a um grupo de usuários, e uma segunda versão da aplicação sem RV, com monitor convencional, aplicada a outro grupo, ou ao mesmo grupo, respondendo os mesmos questionários e comparando os resultados. Dos 37 trabalhos que apresentaram uma avaliação, em 9 não foi possível identificar recursos ou técnicas utilizadas na avaliação.

De todos os 60 trabalhos analisados, os 13 que apresentaram uma avaliação comparando os sistemas RV com não-RV são os mais relacionados com este projeto. Assim fornecendo uma boa base para elaboração da proposta. Na Tabela 3.8 eles são listados de forma resumida.

Tabela 3.8: Trabalhos Relacionados

Artigo	Objetivo	Avaliação	Resultados
Ray e Deb (2016)	Explorar e fornecer um sistema RV de baixo custo, móvel, para complementar o processo educacional.	Foram divididos dois grupos de alunos em sala de aula, o primeiro grupo foi passado a disciplina de forma tradicional (em sala) e o segundo grupo foi passada a disciplina com RV (Google Cardboard). Depois aplicados questionários e provas.	Foi concluído que o uso de RV contribui para uma melhor forma de aprendizagem, tanto em melhora no processo de ensino quanto no interesse do aluno.
Alhalabi (2016)	Apresenta um estudo de avaliação de impacto de sistemas RV em estudantes de engenharia.	Foram divididos quatro grupos de usuários com três tipos de sistema RV (Oculus Rift) e um não-RV. Os grupos foram expostos a quatro tipos de sistemas com 4 tópicos diferentes de educação.	O artigo conclui que utilizando sistemas RV melhorou drasticamente o desempenho dos estudantes comparando com o não-RV.
Tsaramirsis et al. (2016)	Desenvolvimento e teste de um simulador em RV de sala de aula para educação a distância.	Foram divididos dois grupos de estudantes (com notas altas e com notas baixas). Um grupo utilizou o sistema RV (Rift) e o outro um sistema de vídeo aula. Logo após, ambos os grupos fizeram “quizes” sobre os conteúdos vistos.	Com pouca diferença (5%) os estudantes que utilizaram RV obtiveram melhor rendimento.

Continua na próxima página

Tabela 3.8 – Continuação da página anterior

Artigo	Objetivo	Avaliação	Resultados
Elliman, Loizou e Loizides (2016)	Desenvolvimento de um “serious game” para treinamento de enfermagem em RV.	Primeiramente um grupo utilizou o game sem RV e logo depois foram convidados a repetir o teste na versão com RV (Cardboard). No final eles receberam questionários para verificar se a versão com óculos melhorou em relação a primeira.	Os autores ainda estão trabalhando na análise dos dados.
Ebert, Gupta e Makedon (2016)	Desenvolver e avaliar um sistema RV para ensino de uma segunda língua.	Os participantes foram divididos aleatoriamente em dois grupos, um com RV (Rift) e outro não-RV. Ambos os grupos foram ensinados 10 palavras suecas e aplicado um teste sobre essas palavras. Uma semana depois eles repetiram o mesmo teste.	Os participantes não-RV tiveram resultados pouco melhor em relação ao grupo RV, porém reaplicando o teste uma semana depois percebeu-se que os participantes não-RV esqueceram as palavras mais rapidamente.
Rasheed, Onkar e Narula (2015)	Utilizar a RV para melhorar o interesse dos alunos para aprenderem a história de sua cidade (Village of Kandi).	Foram divididos em três grupos, um grupo tradicional não-RV (aulas com professor) outro com o sistema RV (Cardboard) e o último grupo combinado (com e sem RV). Após os testes, um exame e questionários foram aplicados.	Conclui-se que a RV aumenta o interesse dos alunos e que ela é um bom complemento para educação. O grupo combinado obteve melhor acurácia nas respostas.

Continua na próxima página

Tabela 3.8 – Continuação da página anterior

Artigo	Objetivo	Avaliação	Resultados
Kayatt e Nakamura (2015)	Avaliar os impactos de HMD de baixo custo, experiência e performance dos usuários em uma aplicação de RV no contexto de esportes de bolas (futebol).	Divisão de dois grupos, um com sistema não-RV e outro com RV (Rift). Depois foi aplicados questionários de avaliação UX e auto-avaliação.	Utilizando o HMD não obteve impactos negativos para o domínio da aplicação e houve um aumento na imersão.
Bharathi e Tucker (2015)	Investigar se a RV melhora a resolução de tarefas em atividades de engenharia.	Foram divididos em dois grupos, com RV (Rift) e não-RV. Ambos foram submetidos ao mesmo sistema e a mesma tarefa.	O grupo RV demorou menos tempo para realizar as tarefas. Porém relataram os participantes que com a utilização de controle <i>joystick</i> junto com óculos fez a experiência ficar menos realista.
Gong et al. (2015)	Desenvolver um sistema RV que simula um ambiente com terremoto que serve para treinar e ensinar pessoas como se comportarem.	Foram divididos em dois grupos, um tradicional (monitor, teclado e <i>mouse</i> ) e outro com óculos de RV. E a aplicação de questionários referentes a usabilidade e interação.	O sistema não-RV foi mais fácil de usar pois os participantes tiveram dificuldade de interagir usando o óculos de RV e interação natural do corpo.

Continua na próxima página

Tabela 3.8 – Continuação da página anterior

Artigo	Objetivo	Avaliação	Resultados
Kleven et al. (2014)	Contribuir para a concepção e desenvolvimento de um hospital universitário virtual como espaço de atividades educativas.	Foram divididos em dois grupos, com RV (Rift) e outro não-RV. E depois aplicados questionários.	A maioria dos participantes preferiram a versão RV por acharem mais imersiva e fácil de interagir, porém alguns preferiram a versão não-RV por terem sentido um mal-estar.
Alshaer, Regenbrecht e O'Hare (2017)	Desenvolver e avaliar um sistema de treinamento RV para dirigir cadeira de rodas elétricas.	Duas versões do sistema com RV (Rift) e outra não-RV (monitor) foram testadas pelos participantes, e logo após aplicados questionários.	Os participantes preferiram o óculos de RV, pois tiveram melhor acurácia ao se locomover pelo ambiente.
Tori et al. (2016)	Desenvolvimento e avaliação de um sistema RV para treinamento odontológico em aplicação de anestesia.	A avaliação foi realizada com sistema RV (Rift) e uma outra versão não-RV (monitor). Logo após os testes foram aplicados os questionários.	Os participantes tiveram mais dificuldade ao utilizar a interação natural usando óculos de RV do que com monitor, porém a versão RV obteve melhores desempenhos no teste.
Moreira, Oliveira e Tori (2016)	Desenvolvimento e avaliação de um sistema RV para auxiliar na aprendizagem de controle de iluminação residencial.	Avaliação do sistema RV (Cardboard) com outra versão não-RV. Com aplicações de questionários após os testes.	Conclui-se que a versão RV fornece melhor imersão.

### 3.4 Discussão dos resultados

Com o mapeamento sistemático, percebeu-se que com o advento dos óculos de RV de baixo custo a partir de 2014, houve um aumento no número de pesquisas envolvendo o uso dessas tecnologias na educação em relação ao ano anterior de 2013. Isso mostra um bom interesse de pesquisadores na área, fator muito positivo para o aperfeiçoamento da tecnologia.

Todos os trabalhos que apresentaram uma avaliação do sistema proposto concluíram que a RV contribui para uma melhor aprendizagem. (EBERT; GUPTA; MAKEDON, 2016), (RAY; DEB, 2016), (JUANES; RUISOTO; BRIZ-PONCE, 2016), (ALHALABI, 2016), (TSARA-MIRSIS et al., 2016), (HU; SU; HE, 2016), (RASHEED; ONKAR; NARULA, 2015), (MATHUR, 2015), (BALL et al., 2015), (KLEVEN et al., 2014), (TORI et al., 2016), (VILLAGRASA; FONSECA; DURÁN, 2014), (KNOTE; EDENHOFER; MAMMEN, 2016), (PATRÃO et al., 2015), (FREINA; BOTTINO, 2016), (LIU, 2014), (FOGARTY; EL-TAWIL; MCCORMICK, 2015), (BUÑ et al., 2015), (CRESPO; GARCÍA; QUIROZ, 2015). A maioria avaliou uma aplicação com óculos de RV comparada a outra sem RV e depois, analisando os questionários respondidos com os mesmos conteúdos pelos diferentes grupos, percebeu-se que os grupos que utilizaram RV obtiveram melhores desempenhos educacionais.

Moesgaard et al. (2015) observam que o fator novidade deve ser levado em conta na análise dos resultados da RV, ou seja, somente será possível realizar testes mais eficazes após esta tecnologia se tornar mais comum para as pessoas.

Percebeu-se também uma variedade de aplicações educacionais (Figura 3.4) e de treinamento. Muitos autores relataram a característica de segurança, sendo que principalmente nas aplicações de treinamento em ambientes de risco, o uso de RV contribui para a segurança dos usuários por exemplo, em Cordeiro et al. (2015a), Yang et al. (2015a) e Grabowski e Janowski (2015) mostram aplicações de treinamento de combate a incêndio, subestação elétrica, mineração respectivamente.

Fazendo uma classificação mais geral sobre as formas de interação, alguns trabalhos apresentam uma interação “natural” (baseada diretamente nos movimentos naturais do corpo humano, como gestos, movimentar braços e pernas para interagir dentro do MV) (MCGHEE et al., 2016), (HA et al., 2016), (HOANG et al., 2016), (NORRBY et al., 2015), (MATHUR, 2015), (LAI; MCMAHAN, 2015), (TORI et al., 2016) etc. Outros uma interação “não-natural” (onde o usuário consegue interagir sem necessariamente movimentar seu corpo de forma na-

tural, por exemplo, sentado em uma cadeira o usuário consegue locomover um avatar dentro do MV utilizando botões, *joysticks*, teclado ou *mouse*, sem estar realmente movimentando suas pernas), (RAY; DEB, 2016), (VICHITVEJPAISAL; YAMEE; MARSERTSRI, 2016), (HU; SU; HE, 2016), (EL-MOUNAYRI et al., 2016), (HILFERT; TEIZER; KÖNIG, 2016), (YANG et al., 2015b), (ALSHAER; REGENBRECHT; O'HARE, 2017), (CORDEIRO et al., 2015b), (REIS et al., 2015), (MOREIRA; OLIVEIRA; TORI, 2016) etc.

Alguns trabalhos que testaram uma aplicação RV apenas com interação não-natural, obtiveram algumas características insatisfatórias (HARRINGTON et al., 2017), (BHARATHI; TUCKER, 2015), (CORDEIRO et al., 2015b), por exemplo, segundo Bharathi e Tucker (2015) por parte dos usuários, o uso de um *joystick* deixa a experiência menos imersiva, neste contexto uma interação natural pode fornecer melhor imersão. Porém, segundo Gong et al. (2015), quando é necessário precisão, as interações não-naturais são melhores. Por exemplo, ao se locomover usando uma interação natural o usuário teria que movimentar as pernas com precisão, caso contrário, com movimento errado não seria possível realizar a ação. Já com uma interação não-natural bastaria pressionar um botão de um *joystick*.

Cordeiro et al. (2015b) destacam que usuários que não têm familiaridade com um *joystick* ou teclado e *mouse* têm dificuldade em utilizar uma aplicação RV com interação não-natural, pois com o uso do óculos de RV perde-se o retorno visual das mãos e isso impede que os usuários vejam quais botões estão pressionando. Por outro lado, Górski et al. (2015) questionam que a utilização da interação natural é mais difícil de se aprender e que a interação não-natural é mais fácil e eficaz com menos tempo de aprendizagem. Isso pode ser levado em consideração para usuários que já estão acostumados com os controles convencionais da interação não-natural, sendo assim mais difícil de aprender a interagir com gestos e movimentos naturais do corpo humano.

Conclui-se que a RV contribui positivamente para o desenvolvimento de novas aplicações educacionais, melhorando o aprendizado dos usuários em um contexto geral. Também conforme relata Kleven et al. (2014), a RV não vem para substituir a forma tradicional de aula ou aplicações, mas sim como um complemento, pois ainda há usuários que preferem aprender com aplicações não-RV, por sentirem algum mal-estar ao usar os óculos de RV ou apenas por motivo pessoal. Sendo assim, é recomendado que se tenham ambas versões (com e sem óculos de RV).

## 3.5 Considerações finais

Os dados extraídos do Mapeamento Sistemático forneceram uma visão geral sobre o assunto, o quanto a RV (especialmente óculos de RV de baixo custo) vem sendo aplicada à educação, suas formas de interação, áreas de aplicação e formas de avaliação destes trabalhos.

De todos os 60 trabalhos aceitos no mapeamento, poucos como (HARRINGTON et al., 2017), (BHARATHI; TUCKER, 2015), (CORDEIRO et al., 2015b) analisaram as técnicas de interação dos óculos de RV de baixo custo, que têm potencial de maior adesão em contextos educacionais, apesar de terem opções de interação limitadas.

Por exemplo, o Google Cardboard por se tratar do modelo de óculos de mais baixo custo que os demais, é mais limitado quanto a interação, possuindo apenas um botão (existem modelos que não têm este botão) para interagir com todo o sistema de RV (locomoção, seleção e manipulação), desta forma sendo necessário outras técnicas como *Gaze Input* (será discutida no capítulo 4). Este trabalho pretende investigar as formas de interação utilizando óculos de RV de baixo custo, para responder questões como:

- (i) A interação com óculos de RV de baixo custo pode prover experiências mais confortáveis e imersivas no jogo proposto (com interação por menus 2D adaptados que será apresentado no capítulo 4) para estudo, se comparada a uma versão sem RV?
- (ii) Neste jogo a interação com óculos de RV de baixo custo pode ser mais fácil de utilizar, se comparada à interação na versão sem RV?
- (iii) Quais as técnicas de interação baseadas em soluções de RV de baixo custo que podem ser empregadas e quais as que melhor atendem as questões anteriores?

# Capítulo 4

## EXPERIMENTO

---

---

Neste capítulo é descrito o experimento para este trabalho, design, implementações e teste piloto.

### 4.1 Considerações iniciais

Com o mapeamento sistemático pode-se observar que o advento da RV de baixo custo, em especial os óculos de RV, têm contribuído para o surgimento e estudos de novas aplicações educacionais de diversas áreas, como engenharias, saúde, combate a incêndio etc. Os resultados destas pesquisas são favoráveis ao uso de RV em sala de aula, tal fato mostra a importância de uma investigação mais profunda do potencial e limitações destas tecnologias de baixo custo. Este trabalho busca contribuir com essa área de pesquisa investigando se as diferentes formas de interação com estes dispositivos podem contribuir para uma melhora na imersão e usabilidade nestas aplicações educacionais.

Dessa forma, este trabalho busca, por meio de um experimento, fazer uma comparação entre três versões de um jogo educacional de simulação 3D com menus 2D adaptados (uma tradicional, com teclado, *mouse* e monitor; outra somente com óculos de RV e outra com óculos e controle) para responder a questão de pesquisa: **QP - “Quais as evidências de que o uso de óculos de RV de baixo custo com diferentes técnicas de interação em um jogo educacional de simulação (com menus 2D adaptados) pode melhorar a imersão, usabilidade e conforto se comparado com o jogo tradicional para *desktop* com teclado e *mouse*?”**

Como formas de interação em RV, o mapeamento sistemático classificou dois tipos que foram discutidos pelos trabalhos: interação natural e não-natural. Para a investigação neste trabalho é levada em consideração as características de dispositivos de baixo custo (interações

não-naturais), que possuem maior potencial de adesão no contexto educacional. Uma questão interessante levantada por participantes em um dos trabalhos relacionados é que o uso de *joystick* com óculos de RV de baixo custo causa uma “quebra” na imersão (BHARATHI; TUCKER, 2015). Outra questão é que também torna a aplicação mais difícil de usar simplesmente por não ser possível visualizar quais botões estão sendo pressionados (CORDEIRO et al., 2015b). Para investigação no jogo proposto, este trabalho pretende analisar duas soluções de interação não-naturais: (i) somente utilizando o óculos de RV com uma técnica baseada no foco; (ii) com óculos e controle (*joystick*), ambas comparadas a uma versão tradicional sem RV (utilizando teclado, *mouse* e monitor convencionais).

De acordo com Yin (2015), a escolha do método de pesquisa deve considerar três condições mais pertinentes: (i) tipo da questão de pesquisa; (ii) controle do pesquisador sobre os eventos comportamentais; (iii) grau de enfoque nos acontecimentos históricos e contemporâneos. A questão de pesquisa proposta busca identificar evidências de “como” e “por que” as mudanças dos eventos (diferentes técnicas de interação) podem influenciar diretamente na imersão, usabilidade e conforto da aplicação remetendo-se assim em um tipo de pesquisa exploratória. Ainda nesta mesma linha de raciocínio, essa mudança dos eventos necessita de um controle do pesquisador sobre as diferentes formas de interação aplicadas aos participantes envolvidos. Por fim, pelo fato de se ter um enfoque contemporâneo, o tipo de estudo mais apropriado para este trabalho é o experimental.

Na seção 4.3 será apresentado o jogo escolhido para ser utilizado nas avaliações. Na seção 4.4 será explicado sobre a implementação de RV no jogo. Depois o design do experimento na seção 4.5.

## 4.2 Busca na literatura de trabalhos relacionados com método de interação

O mapeamento sistemático encontrou trabalhos que avaliaram o uso de óculos de RV de baixo custo. Porém como mostrado na tabela 3.2 a *string* de busca restringiu apenas os trabalhos relacionados a educação. Após definir o experimento foi feita uma busca na *SCOPUS* (título, resumo e palavras-chave) com uma *string* de busca mais específica (tabela 4.1), excluindo a restrição de educacional e adicionando as técnicas específicas de interação (“*joystick*” and “*gaze input*”) que serão estudadas, a fim de encontrar algum trabalho que já tenha feito algum estudo semelhante sem o contexto educacional.

Até a última aplicação da *string* em 20/2/2018 a busca retornou 8 artigos, os quais foram

Tabela 4.1: Termos utilizados na segunda *string* de busca

Termo principal	Termos derivados
Realidade Virtual	("virtual reality")
Óculos de RV	("virtual reality glasses" OR "stereotypic glasses" OR "head-mounted displays" OR HMD OR "virtual reality headset" OR "rift" OR "samsung gear" OR "htc vive" OR "cardboard" OR "daydream")
Interação	((("joystick OR "gamepad") AND ("gaze" OR "focus" OR "look" OR "view" )))

lidos o título, resumo e palavras-chaves. Destes apenas três artigos apresentaram estudos relevantes: um artigo apresentou um estudo sobre interação baseado no rastreamento e piscar dos olhos (KUMAR; SHARMA, 2016). Outro apresentou uma técnica alternativa para utilizar um óculos de RV sem um joystick com uma interface tocável (*touch*) na frente do HMD (GUGENHEIMER et al., 2016). E por fim um terceiro fez um estudo de uma técnica de locomoção utilizando o Leap motion comparando com *joystick* (ZHANG et al., 2017). Porém nenhum destes trabalhos apresentam uma avaliação de uma técnica baseada no *gaze input* comparada a outras como *joystick* ou teclado e mouse.

### 4.3 Experimento no LabTecA

Para realização deste experimento escolheu-se o jogo "LabTecA" que se encaixa na categoria de "educacional de simulação em laboratório virtual 3D (com menus 2D adaptados)" proposto na **QP**.

O Laboratório de Técnicas Analíticas - LabTecA<sup>1</sup> é um jogo em primeira pessoa, classificado no gênero de *adventure game*, em um laboratório de química analítica. O laboratório é um ambiente virtual 3D que simula um laboratório real com diversos equipamentos, vidraria e reagentes (Figuras 4.1 e 4.2). O projeto é desenvolvido pelo Laboratório de Objetos de Aprendizagem - LOA<sup>2</sup> na UFSCar (OTSUKA et al., 2015).

Na narrativa do LabTecA, o usuário é representado por uma avatar chamada de "Cris" (estagiária do laboratório) que recebe tarefas de "LIA" (Labetch Inteligência Artificial) um sistema de inteligência artificial que aprisiona Cris no laboratório e solicita uma lista de experimentos químicos em busca de um condutor elétrico para realizar seu objetivo de dominar o mundo (Figura 4.3). Desta forma o usuário pode colocar em prática algumas atividades de laboratório de

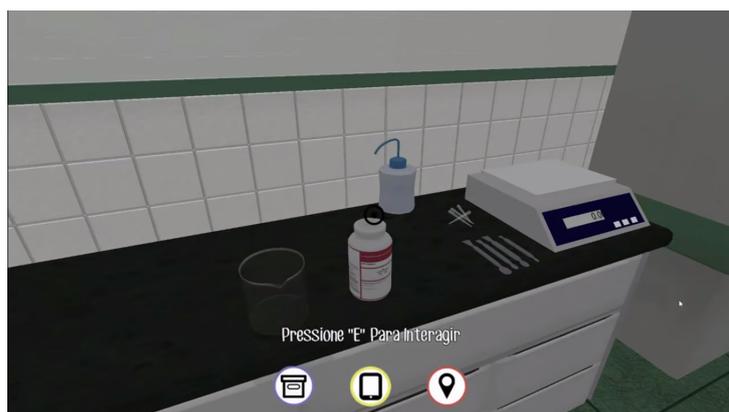
<sup>1</sup><https://www.youtube.com/watch?v=NtXzLDmuKMI>

<sup>2</sup><http://www.loa.sead.ufscar.br/>

**FIGURA 4.1 – Laboratório virtual 3D de Química Analítica**

**Fonte:** Fornecido pelo Laboratório de Objetos de Aprendizagem - LOA.

química sem necessariamente estar em um laboratório real (OTSUKA et al., 2015).

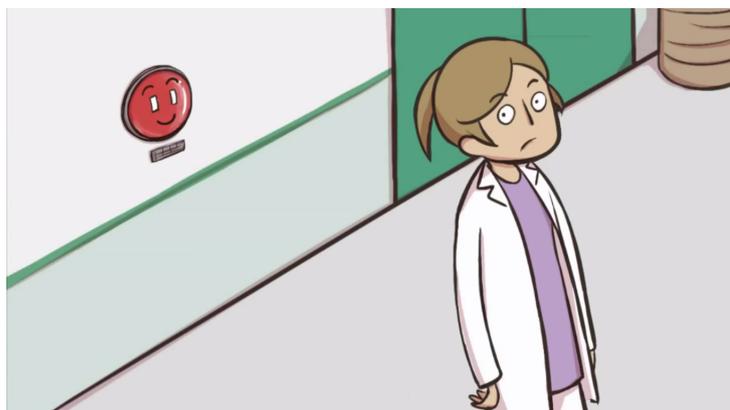
**FIGURA 4.2 – Equipamentos, vidrarias e reagentes**

**Fonte:** Fornecido pelo Laboratório de Objetos de Aprendizagem - LOA.

O jogo foi desenvolvido para PC utilizando a “Unity - Game Engine”, linguagem C# e “Blender”. Sua interação é realizada por teclado e *mouse* convencionais. Dada a lista de tarefas, o usuário deve locomover-se pelo laboratório para encontrar os armários que contêm os reagentes e vidrarias para levá-los aos equipamentos e bancadas corretas para realizar o experimento (OTSUKA et al., 2015).

A interação é feita através do *mouse* e teclado, no qual o usuário se aproxima dos armários, equipamentos e bancadas no jogo e pressiona a tecla “E”. Neste momento, a câmera muda sua perspectiva para ortogonal apresentando uma interface (menu 2D adaptado) com as possíveis interações disponíveis (Figura 4.4).

FIGURA 4.3 – LIA e Cris



Fonte: Fornecido pelo Laboratório de Objetos de Aprendizagem - LOA.

FIGURA 4.4 – Perspectiva ortogonal (menu 2D adaptado)



Fonte: Fornecido pelo Laboratório de Objetos de Aprendizagem - LOA.

## 4.4 RV no LabTecA

Conforme já discutido, o LabTecA é um jogo para PC que foi utilizado no experimento como a versão “tradicional”, com interação por teclado e *mouse*. Porém, de acordo com a **QP**, o objetivo do trabalho é analisar evidências do uso de óculos de RV de baixo custo comparado ao sistema tradicional. Para isto, foram implementadas mais duas versões do jogo utilizando óculos de RV de baixo custo.

O óculos definido para ser utilizado foi BoboVR o Z4<sup>3</sup> conforme mostra a figura 4.5. Este modelo de óculos é baseado na arquitetura do *google cardboard* original de papelão e foi escolhido por possibilitar melhores ajustes (tamanho da cabeça, distância entre as lentes e foco) para cada participante (figura 4.6). Até a presente data este óculos tem um custo de aproximadamente US\$ 30,00.

<sup>3</sup><http://www.bobovr.com/product/bobovrz4/>

**FIGURA 4.5 – Bobo VR Z4**

**Fonte:** <https://pt.aliexpress.com/item/Immersive-3D-Glasses-BOBOVR-Z4-Virtual-Reality-Goggle-Game-Private-Cinema-100-Original-BOBOVR-z3-Upgraded/32650512500.html>

**FIGURA 4.6 – Bobo VR Z4 - Ajustes**

**Fonte:** Adaptado de <http://www.bobovr.com/product/bobovrz4/>

O *smartphone* escolhido foi o moto G4 da motorola<sup>4</sup>. Este modelo conta com um processador de oito núcleos (1.4 GHZ) memória RAM (2 GB), Tela de 5.5 polegadas (Figura 4.7). Este é um *smartphone* de preço acessível com configuração necessária para executar aplicações do *google cardboard*.

O *joystick* escolhido para ser utilizado foi mocute<sup>5</sup>. Este modelo possui conexão *bluetooth* e botões comuns como, *Left Joystick*, *Arrow key*, *ABXY key*, entre outros conforme mostra a figura 4.8. Até a presente data este controle tem o custo de aproximadamente U\$ 12,96.

Resumidamente são três versões do mesmo jogo que serão comparadas:

<sup>4</sup><https://www.tudocelular.com/Motorola/fichas-tecnicas/n3206/Motorola-Moto-G4-Plus.html>

<sup>5</sup>[https://www.gearbest.com/game-controllers/pp\\_415071.html](https://www.gearbest.com/game-controllers/pp_415071.html)

FIGURA 4.7 – Moto G4 Plus



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MotoG4Plus.jpg>

FIGURA 4.8 – Joystick Mocute



Fonte: <https://pt.aliexpress.com/item/MOCUTE-VR-Gamepad-Android-Joystick-Bluetooth-Controller-Selfie-Remote-Control-Shutter-Gamepad-for-PC-Smart-Phone/32734892396.html>

- **V1:** versão tradicional para PC com interação por teclado e *mouse*;
- **V2:** versão RV com interação apenas utilizando o óculos de RV;
- **V3:** versão RV com óculos e interação por controle<sup>6</sup> (*joystick bluetooth para smartphone*).

#### 4.4.1 Implementação do jogo

Para implementação do jogo foi utilizado a *engine* “Unity 5.6.4 - Personal” e o SDK Google Cardboard Versão 0.6<sup>7</sup>. Este SDK (Software Development Kit) permite adaptar um jogo 3D feito com a *engine* Unity para funcionar em modo RV no Google Cardboard com a adição de *Scripts*<sup>8</sup> em C#<sup>9</sup> (como uma câmera especial) que ao ser inserido nas cenas de jogo, dividem

<sup>6</sup>[https://www.gearbest.com/game-controllers/pp\\_415071.html?wid=21](https://www.gearbest.com/game-controllers/pp_415071.html?wid=21)

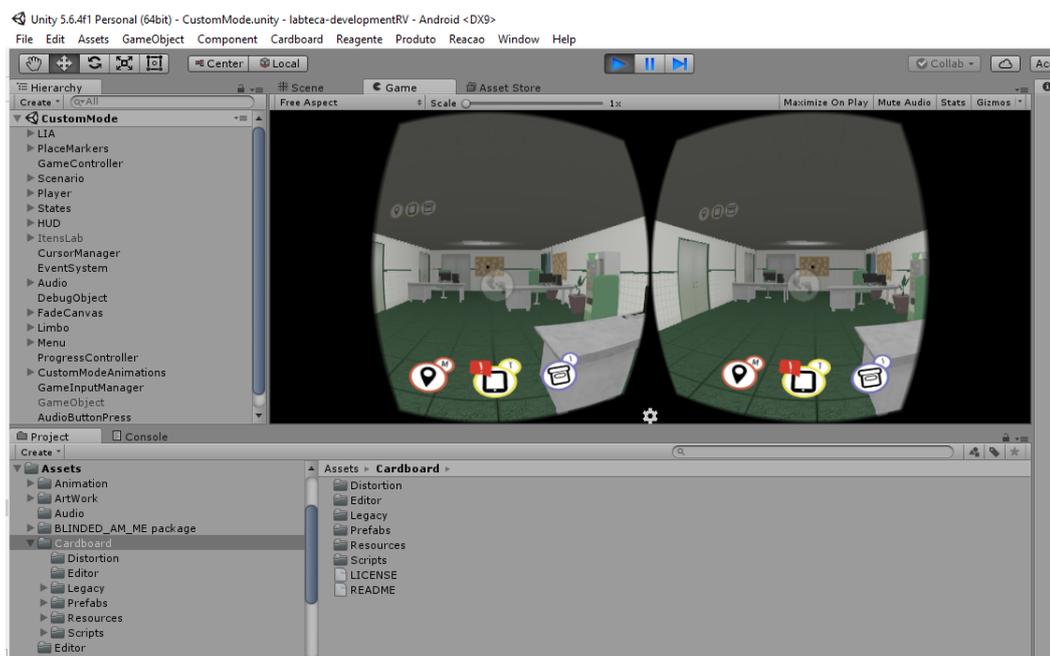
<sup>7</sup><https://github.com/googlevr/gvr-unity-sdk/releases>

<sup>8</sup>São trechos de códigos em uma linguagem de programação

<sup>9</sup>C# (lê-se C Sharp) é uma linguagem de programação orientada a objetos da empresa Microsoft

a tela em duas partes uma para cada olho (Figura 4.9). Feito isso foram adaptados *Scripts* de locomoção para as versões RV que são detalhadas mais a frente além de outras mudanças realizadas durante o teste piloto que mostradas na seção 4.5.3. Para que o jogo funcionasse no *smartphone* foi necessário reduzir a qualidade gráfica, afim de evitar travamentos e lentidão.

**FIGURA 4.9 – Ambiente de desenvolvimento**



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Na **V2** a interação acontece sem utilizar nenhum tipo de controle auxiliar, ou seja, somente utilizando o próprio óculos de RV o usuário é capaz de se locomover, selecionar e manipular todo o jogo. Para isto foi utilizada uma técnica conhecida como *gaze input* que permite toda interação utilizando a direção da cabeça como seleção, ou seja, o usuário olha para determinado ponto (pode ser um botão virtual) dentro do jogo e, ao focar o olhar neste mesmo ponto por 1 segundo, o botão é acionado como se tivesse sido pressionado. Conforme mostra a figura 4.10, um retículo (ponto preto) acompanha a movimentação da cabeça do usuário permanecendo sempre no centro da visão. Quando o retículo se sobrepõem a uma área que é interativa ele toma forma de um círculo com tamanho maior e uma barra de carregamento exibe o tempo restante para concluir o “clique” (Figura 4.11).

Para locomoção foi implementada uma técnica baseada no *gaze input*, no qual um botão é exibido à frente do usuário com o desenho de dois pés. Quando este botão é acionado o usuário automaticamente começa a se locomover para frente na direção do campo de visão, ou seja, andando para frente na direção em que se está olhando. Uma vez que ele está se locomovendo, o botão fica sempre na frente o usuário. Se o usuário vira a cabeça para a esquerda

**FIGURA 4.10 – Gaze Input - Retículo fora do botão**

Fonte: Elaborado pelo autor.

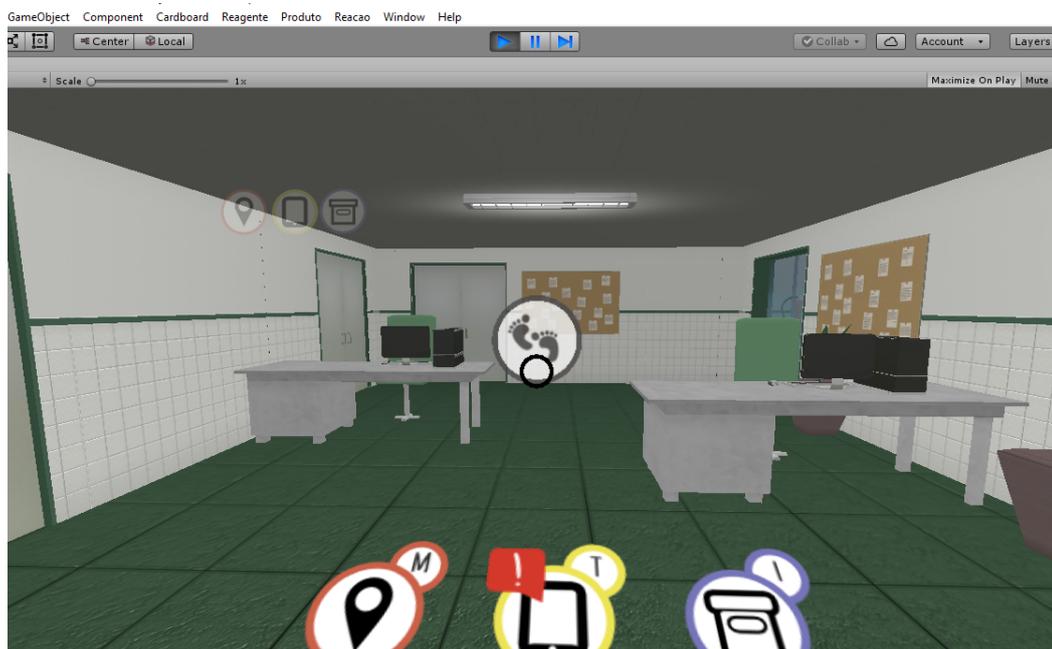
**FIGURA 4.11 – Gaze Input - Retículo sobre o botão**

Fonte: Elaborado pelo autor.

ou a direita, o botão também acompanha movendo-se para a esquerda ou a direita continuando a locomoção sem pausar. Para interromper a locomoção basta, o usuário desviar o retículo do botão, movimentando a cabeça levemente para cima ou para baixo (Figura 4.12).

Na V3 é também utilizado o óculos de RV porém diferente da técnica *gaze input* o *joystick*

FIGURA 4.12 – Locomoção na versão 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

é utilizado para realizar a interação. Conforme já comentado, os autores de Bharathi e Tucker (2015) e Cordeiro et al. (2015b) dizem que o uso de *joystick* com óculos de RV de baixo custo causa uma “quebra” na imersão e também torna a aplicação mais difícil de usar simplesmente por não ser possível visualizar quais botões estão sendo pressionados. Por essa razão, a V3 foi implementada de forma que o usuário pressione apenas um único botão para interagir e um para se locomover (na tentativa de evitar a confusão ao ter que pressionar os botões). De forma semelhante à V2, usando o campo de visão com retículo, porém não é necessário esperar 1 segundo para interagir, basta pressionar o botão A e o “clique” é acionado. A locomoção é feita utilizando os botões *Arrow key* ou *Lef Joystick* para frente e para traz de acordo com campo de visão.

Especialmente para realizar o experimento foi criada uma única tarefa no jogo igual para as 3 versões. A tarefa consiste simplesmente em fazer a medição do PH de um produto químico. Ao começar o jogo, uma notificação (ponto de exclamação) é exibida no *tablet* (Figura 4.12). Após o usuário acessar esta ferramenta é mostrado um texto conforme mostra a figura 4.15. Para realizar essa tarefa o usuário interage com as principais ferramentas do jogo realizando as seguintes etapas:

- Acessar o *tablet* para ver a tarefa;
- Identificar no mapa a localização da sala onde está o PHmetro;

- Pegar o produto no inventário;
- Colocar o produto no PHmetro e fazer a medição do PH.

## 4.5 Design do Experimento

A realização deste experimento seguiu os procedimentos propostos por Lazar, Feng e Hochheiser (2017) ilustrados na Figura 4.13. A descrição destas etapas serão apresentadas a seguir.

FIGURA 4.13 – Ciclo do experimento



Fonte: Elaborado pelo autor baseado em Lazar, Feng e Hochheiser (2017).

### 4.5.1 Definição das hipóteses

De acordo com Lazar, Feng e Hochheiser (2017), os experimentos começam na definição de hipóteses baseadas na questão principal da pesquisa e que possam ser diretamente testadas através da pesquisa empírica. Para a definição das hipóteses foi utilizado o método proposto por Rosenthal e Rosnow (2008). Neste método deve-se definir pares de hipótese nula e hipótese alternativa e buscar evidências estatísticas, por meio dos experimentos, para refutar uma das duas. A tabela 4.2 apresenta as 3 hipóteses geradas a partir da **QP**.

De acordo com as hipóteses, as Variáveis Dependentes (VD) e Variáveis Independentes (VI) devem ser especificadas para ajudar a definir o método experimental. Segundo Lazar, Feng e Hochheiser (2017), o experimento identifica quais mudanças nas VI podem mudar as VD.

Como VI para este experimento temos as três versões do LabTecA **V1**, **V2** e **V3**, que são as diferentes formas de interação que serão estudadas.

Como VD são as que pretende-se mensurar com as mudanças nas VI. Neste experimento as três principais que serão estudadas são:

Tabela 4.2: Hipóteses nulas “H<sub>0</sub>” e alternativas “H<sub>1</sub>” para QP

<b>Hipótese 1</b>	<b>1H<sub>0</sub></b> : “Não há diferença na imersão do LabTecA entre V1, V2 e V3”. <b>1H<sub>1</sub></b> : “Há uma diferença significativa na imersão do LabTecA entre V1, V2 e V3”.
<b>Hipótese 2</b>	<b>2H<sub>0</sub></b> : Não há diferença na usabilidade do LabTecA entre V1, V2 ou V3. <b>2H<sub>1</sub></b> : Há uma diferença significativa na usabilidade do LabTecA entre V1, V2 e V3.
<b>Hipótese 3</b>	<b>3H<sub>0</sub></b> : “Não há diferença no conforto (em jogar) do LabTecA entre V1, V2 e V3.” <b>3H<sub>1</sub></b> : “Há uma diferença significativa no conforto (em jogar) do LabTecA 3D entre V1, V2 e V3.”

- **Imersão:** Pretende-se avaliar qual das VI causam mais imersão no usuário;
- **Usabilidade:** Pretende-se avaliar qual VI é mais fácil de interagir.
- **Conforto:** Nesta o objetivo é identificar qual das VI é mais confortável para o usuário e também identificar se algumas causaram algum desconforto (*cybersickness*) como mal-estar, tontura, ânsia de vômito, ardência nos olhos etc.

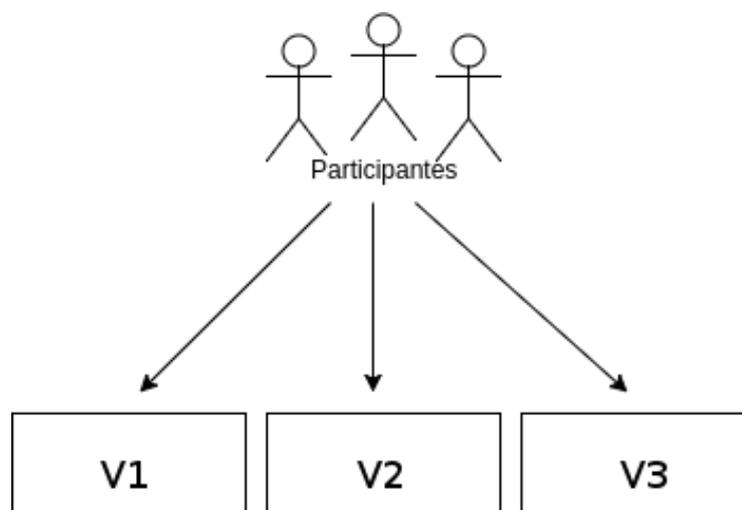
### 4.5.2 Design do experimento

Esta pesquisa se encaixa na categoria de *Quase experimento*, pois o estudo analisa múltiplas condições (três versões diferentes do jogo) e os grupos não são atribuídos de forma aleatória, ou seja, cada participante será exposto às três condições.

Segundo Lazar, Feng e Hochheiser (2017), de acordo com o número de condições e outros objetivos da pesquisa, pode-se escolher três estruturas básicas: *Between group*, *Within group* e *Split-plot*.

Neste estudo há mais de uma VI que devem ser comparadas entre si por um mesmo usuário. Assim, estas devem ser testadas por todos os participantes, ou seja, cada participante deve jogar as três versões do jogo: V1, V2 e V3. Desta forma, a estrutura escolhida foi o *Within group* (Figura 4.14).

Esta abordagem traz várias vantagens para a pesquisa. Com os participantes testando as três versões é possível comparar os resultados a partir do ponto de vista do mesmo usuário. Isso ajuda a eliminar as diferenças individuais e também ajuda reduzir a quantidade de voluntários necessários. Porém existem algumas desvantagens, como o “efeito aprendizagem” e “efeito fadiga”.

**FIGURA 4.14 – Estrutura básica - *Within group***

**Fonte:** Elaborado pelo autor, baseado em Lazar, Feng e Hochheiser (2017).

O efeito aprendizagem pode influenciar no resultado do experimento, pois um participante, ao jogar a V1, vai aprender as funcionalidades do jogo e logo após ao jogar a V2, embora a técnica de interação seja diferente, o participante tende a achar a V2 “melhor” porque já aprendeu a utilizar o jogo na V1. Uma forma de minimizar este efeito conforme citam Lazar, Feng e Hochheiser (2017) é utilizar a *Latin Square Design*, assim os participantes são atribuídos às condições de forma aleatoriamente proporcional que ajuda a equilibrar este efeito.

Os alunos foram divididos em três grupos, cada participante de forma sequencial foi atribuído a um grupo, por exemplo, o primeiro participante do experimento foi atribuído ao grupo 1, o segundo no grupo 2, o terceiro no grupo 3, o quarto no grupo 1 e assim por diante. Conforme mostra a tabela 4.3 cada grupo foi aplicado a uma sequência diferente das versões do jogo. Desta forma, cada usuário começará o experimento por uma versão diferente de forma igualmente proporcional, fazendo com que o efeito aprendizagem seja equilibrado.

**Tabela 4.3: Latin Square Design**

<b>Grupos</b>	<b>Sequência</b>		
<b>Grupo 1</b>	V1	V2	V3
<b>Grupo 2</b>	V2	V3	V1
<b>Grupo 3</b>	V3	V1	V2

Outro efeito que pode atrapalhar o resultado do experimento é o efeito fadiga, pois como cada participante vai testar as três versões do jogo, isso pode causar certo cansaço ou fadiga. Por exemplo, ao jogar a V1 e V2, o participante tende a ficar cansado durante a V3. Com

isso, nos resultados, V3 poderá ser sempre “pior” que as outras. Para minimizar este efeito, também foi aplicada técnica de aleatoriedade baseada na *Latin Square Design*, utilizada no efeito aprendizagem. E também todo o teste (todos os procedimentos: apresentação, explicação, aplicação de questionários etc.) foi elaborado para durar menos que 90 minutos conforme citam Lazar, Feng e Hochheiser (2017) para não gerar muito cansaço.

### 4.5.3 Teste piloto

No design do experimento é importante ficar atento aos possíveis “erros sistemáticos” ou também conhecidos como “viés”, pois se não tratados de forma correta, podem comprometer o resultado do experimento. O teste piloto e os ajustes na implementação duraram um tempo de aproximadamente 4 meses (outubro, novembro, dezembro de 2017 e Janeiro de 2018).

Após a definição do design do experimento e o desenvolvimento das V2 e V3 do jogo, foram realizados testes piloto com 26 participantes no qual a metade (50%) eram estudantes do ensino médio, além de outros voluntários de curso técnico e graduação. A maioria tinha experiência com jogos digitais (69,3% jogavam diariamente ou ocasionalmente e o restante nunca ou raramente jogavam). Estes participantes executaram o teste por completo, jogaram as três versões do jogo e responderam todos os questionários.

Durante os testes piloto alguns problemas de implementação e usabilidade das versões RV (travamentos, mau funcionamento do jogo) foram encontrando e corrigidos. A maioria dos participantes executaram a tarefa de for o jogo facilmente, porém alguns não conseguiram e acabaram precisando de ajuda para concluir o desafio. As dificuldades foram analisadas e as versões refinadas com o intuito de minimizar os problemas encontrados. O tempo dos testes foram bem variados, em média os estudantes gastaram 10:37 minutos na primeira versão que jogaram. As dificuldades encontradas pelos usuários foram corrigidas e são descritas a seguir:

- **Aumento da fonte:** A utilização do óculos de RV deixa a parte de leitura um pouco mais difícil (letras embaçadas). Para resolver isso foi feito um ajuste nas fontes, botões e ferramentas (*tablet*, mapa e inventário), aumentando seus tamanhos e escalas. (Nas Figuras 4.15 e 4.16 é possível notar a diferença)
- **Dica para locomoção:** Uma dos requisitos do jogo é que o usuário não consiga se locomover enquanto esteja interagindo com as ferramentas. Porém, durante os testes piloto com as versões RV, alguns usuário demoraram muito tempo (aproximadamente 10 min.) para descobrir que tinham que fechar as ferramentas para conseguir se locomover. Para resolver isso, conforme mostra a figura 4.17 um *feedback* é exibido assim que alguma

FIGURA 4.15 – Tablet na versão desktop



Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA 4.16 – Tablet nas versões RV



Fonte: Elaborado pelo autor.

ferramenta é aberta, um “X” aparece no botão de locomoção levando a entender que algo está bloqueando a função de andar.

- **Mapa:** Outro problema percebido nos testes piloto foi que muitos usuários não utilizavam o mapa para encontrar o PHmetro. Dentro do jogo a ferramenta mapa serve para auxiliar o usuário a chegar no local desejado, já que o laboratório virtual é grande, cheio de salas e portas. No mapa, o jogador é capaz de ver a sua localização e de todos os equipamentos nas salas. Nos testes, os participantes abriam e alegavam que não entendiam o mapa e simplesmente o fechavam, e chegavam a gastar até de 20 minutos procurando

FIGURA 4.17 – Feedback para locomoção



Fonte: Elaborado pelo autor.

o PHmetro. Para resolver este problema, foi adicionada uma função que mantém os ícones dos equipamentos piscando no mapa, mostrando a existência dessa informação ao usuário. Na Figura 4.18 é possível ver o mapa e os ícones que piscam no jogo em execução.

FIGURA 4.18 – Mapa do jogo



Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Seta de direção:** Outro problema encontrado nos testes piloto foi uma dificuldade de alguns usuários sobre a ação esperada ao encontrarem o equipamento PHmetro. Alguns chegavam no PHmetro e demoravam para descobrir o que tinham que fazer para prosse-

guir no jogo, além do inventário que abria atrás do usuário dificultando essa percepção do que fazer. Para resolver isso foi alterada a posição do inventário para sempre abrir ao lado esquerdo (ao lado da bancada) do usuário e adicionada um seta na frente indicando que o usuário deveria olhar para esquerda (Figura 4.19).

**FIGURA 4.19 – Inventário**



Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Tempo de espera:** Na versão 2 que utiliza o *gaze input*, foi testado inicialmente com 3 segundos de espera para gerar o “clique”. Porém alguns usuários relataram que a espera do clique estava muito longa. Foram realizados testes com 2 segundos e com 1 segundo. Os testes apontaram o tempo de espera de 1s como mais adequado.
- **Ajuste do joystick:** A princípio, a versão 3 foi programada para usar os 4 botões “X, A, B, Y” para abrir o, mapa, *tablet*, inventário e gerar o clique de interação respectivamente. Porém, com esta abordagem alguns usuários relataram que atrapalhavam a imersão por ter vários botões para apertar o que acabava confundindo e gerava uma falta de consistência com as demais interações no jogo (foco para selecionar e botão para clicar). Além disso, muitas vezes os usuários apertavam um botão por engano e não percebiam a abertura da ferramenta correspondente (já que a tela da ferramenta muitas vezes abria atrás do usuário). Para resolver isso, foi utilizado somente o botão “A” para fazer a interação. Desta forma, para abrir as ferramentas é usado o foco na seleção combinado com o pressionar do botão “A”. Assim reduzindo o número de botões que deve ser pressionados para não confundir o usuário (que não consegue ver o controle nas mãos por estar usando o óculos) e evitando que as ferramentas abrissem atrás do usuário.

#### 4.5.4 Recrutamento de participantes para o experimento

Outros fatores que podem gerar vieses nos resultados é a experiência, idade e preferências dos participantes. Para minimizar estes possíveis vieses, é necessário cuidado para recrutar os participantes. O público-alvo foi estudantes de ensino médio, entre homens e mulheres, com e sem experiência em Jogos 3D. A avaliação deve causar o menor estresse possível. Foram tomados os devidos cuidados para que os participantes ficassem à vontade no teste e foi informada a possibilidade de desistir a qualquer momento. Também foi aplicado um questionário para identificar o perfil de cada participante (apêndice A), se já tem experiência com RV ou com Jogos 3D. O experimento não foi realizado caso o participante tivesse algum problema de saúde (labirintite, dores de cabeça, dor nos olhos).

Os participantes foram convidados voluntariamente em escolas públicas e particulares de ensino médio na cidade de Passos MG. Ao todo foram quatro escolas, três escolas públicas uma escola particular. A figura 4.20 mostra alguns alunos jogando durante o experimento.

**FIGURA 4.20 – Alunos durante o experimento**



**Fonte:** Elaborado pelo autor com permissão dos alunos.

O projeto foi submetido e aprovado pelo comitê de ética da UFSCAR. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE se encontra no apêndice B e comprovante do parecer de ética no anexo A.

#### 4.5.5 Coleta dos dados

Durante as seções do experimento, os dados foram coletados através de um questionário aplicado após a finalização de cada etapa (apêndice C), ou seja, após cada versão jogada o aluno respondia o questionário correspondente. Este questionário foi desenvolvido baseado em

questionários já validados:

1. **Imersão:** Para imersão foi utilizado o questionário *eGameFlow* (FU; SU; YU, 2008); Um estudo feito por Tsuda et al. (2014) sobre métodos de avaliação de jogos educacionais considerou o *eGameFlow* como sendo um método de avaliação fácil, econômico e bastante efetivo.
2. **Usabilidade:** Para usabilidade foi utilizado o questionário *System Usability Scale - SUS* (BROOKE et al., 1996); Segundo um estudo feito por Bangor, Kortum e Miller (2008) avaliando quase 10 anos de dados coletados de vários produtos utilizando o *SUS*, mostra que esse método atende a sua necessidade proposta e que é uma ferramenta de avaliação robusta e versátil.
3. **Conforto:** Para conforto foi utilizado o questionário *Simulator Sickness Questionnaire - SSQ* (KENNEDY et al., 1993); Conforme um estudo feito por Carvalho, Costa e Nardi (2011) através de uma revisão da literatura, encontrou 40 trabalhos de um total de 50 que utilizaram o *SSQ* para fazer a avaliação de *cybersickness*. Ou seja, é um instrumento bastante utilizado nessas investigações de desconforto em ambientes virtuais.

Dessa forma, foram utilizadas 4 questões relativas à imersão do instrumento *eGameFlow* traduzidas para o português por (TSUDA et al., 2014). Também foi utilizado o *System Usability Scale - SUS* com 10 questões para aferir a usabilidade com uma tradução baseada em Tenório et al. (2010) e Teixeira (2013). Por fim, o *Simulator Sickness Questionnaire - SSQ* com 16 questões para aferir o conforto (*cybersickness*) com uma tradução muito próxima da utilizada em Carvalho, Costa e Nardi (2011). Ao final, depois que o participante testou as três versões do jogo, uma entrevista (apêndice D) foi realizada para coletar informações e sugestões do participante sobre o que tinha achado do jogo.

Um dos maiores causadores de vieses durante as coletas dos dados são os avaliadores (pesquisadores), pois sem nenhuma intenção, através de linguagens, expressões faciais entre outros, podem contribuir para maus resultados na avaliação. Para minimizar estes efeitos, evitou-se frases com opiniões pessoais sobre o jogo ou linguagem corporal. Um roteiro com os procedimentos do experimento foi seguido estritamente para cada participante (apêndice E) (LAZAR; FENG; HOCHHEISER, 2017).

Os fatores físicos do ambiente onde está ocorrendo o teste como barulho, temperatura, luz, vibração, umidade, quantidade e relação de pessoas ao redor contribuem para vieses nas pesquisas. Para minimizar estes efeitos, foi garantido que os ambientes dos testes fossem semelhantes.

Uma sala com a presença apenas do avaliador e do participante, uma mesa e cadeiras relativamente confortáveis e o mesmo modelo de computador para a V1 (mesmo tipo de teclado e *mouse*, monitor do mesmo tamanho e iluminação) e também o mesmo óculos de RV para V2 e V3. Outra observação é que nas V2 e V3 os participantes permaneceram em pé. A coleta foi realizada nos meses de Março e Abril de 2018.

#### **4.5.6 Considerações finais**

Neste capítulo foi apresentado o design do experimento, jogo e desenvolvimento das versões RV. O teste piloto foi muito importante para a implementação do jogo pois contribuiu com os ajustes nas etapas do teste. Desde erros de programação lógica, reestruturação dos roteiros e definição das tarefas dentro do jogo para ajustar o nível de dificuldade e tempo de execução. Esses passos foram muito importantes para refinar todos os procedimentos a fim de realizar o experimento final e fazer a coleta dos dados. No próximo capítulo serão apresentados as análises feitas para responder as hipóteses geradas.

# Capítulo 5

## ANÁLISE DOS DADOS

---

---

Testes estatísticos são muito comuns em pesquisas que usam uma amostragem da população, como muitas vezes não é possível fazer uma pesquisa com todo público-alvo devemos usar métodos para não cometer erros em nossos resultados. Para isso usamos os métodos estatísticos, que se aplicados e selecionados de forma correta nos dão confiabilidade de que nossa amostragem representa uma parte generalizada da população.

Após a coleta dos dados, o próximo passo foi fazer a análise estatística dos dados para responder as hipóteses de pesquisa. Neste capítulo é descrita a relação quantitativa, preparação e testes realizados durante esse processo de análise.

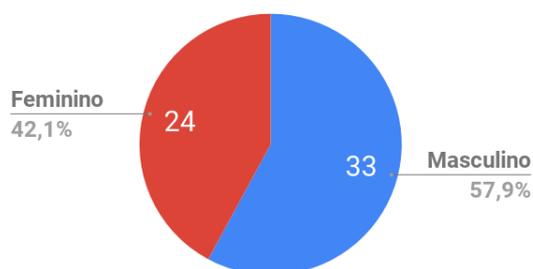
### 5.1 Relação quantitativa dos dados

Após a realização do experimento nas escolas os questionários respondidos foram salvos e trabalhados no google planilhas, nesta seção é apresentada a relação quantitativa de toda essa amostra.

#### 5.1.1 Quantidade de alunos

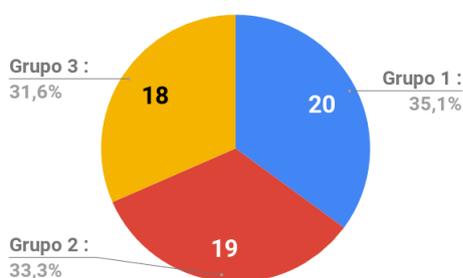
Ao todo, 61 alunos participaram da avaliação com faixa etária de 16 anos, porém 4 não realizaram todas as etapas e foram desconsiderados restando apenas 57 alunos que jogaram e responderam todos os questionários, foram 24 do gênero feminino e 33 do gênero masculino (Figura 5.1).

De acordo com a *Latin Square Design* os alunos ficaram divididos em 3 grupos, o primeiro com 20 alunos, o segundo com 19 e o terceiro com 18 (Figura 5.2). Foram 24 alunos de escola

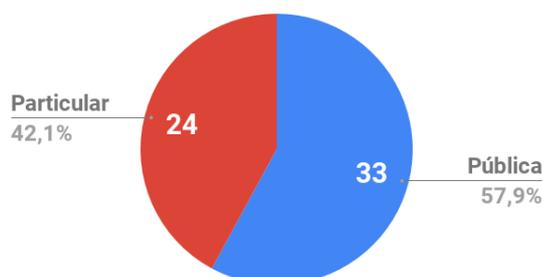
**FIGURA 5.1 – Quantidade de alunos por gênero**

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

particular e 33 de escola pública (Figura 5.3).

**FIGURA 5.2 – Quantidade de alunos nos grupos 1, 2 e 3**

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**FIGURA 5.3 – Quantidade de alunos em escola pública e particular**

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

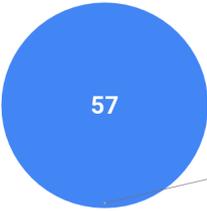
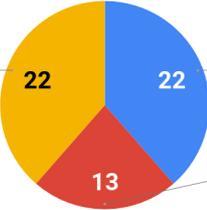
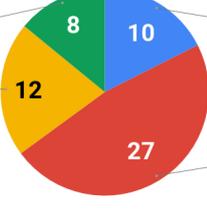
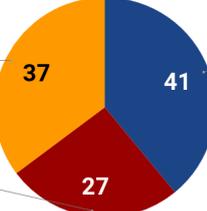
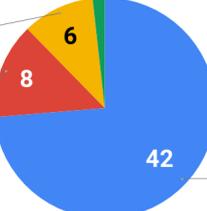
### 5.1.2 Questões da entrevista inicial

A fim de conhecer melhor o perfil dos participantes foram adicionadas questões na entrevista inicial perguntando sobre a experiência como jogos. As respostas dos alunos são apresentadas na tabela 5.1.

Para classificar o perfil dos alunos foi adicionada uma pontuação em todas as suas respostas:

- Jogo diariamente: 10 pontos;

Tabela 5.1: Respostas das questões de perfil

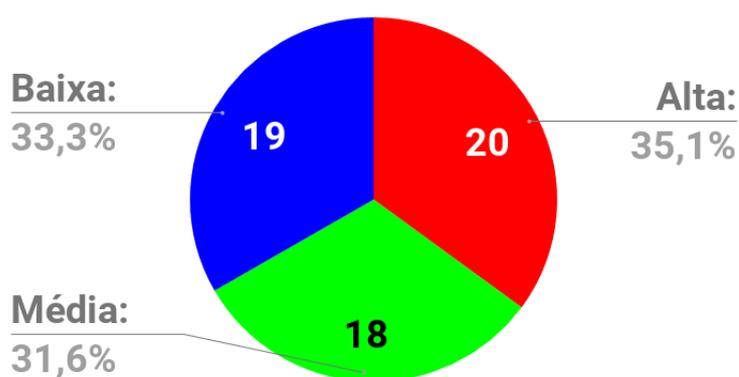
Questões	Respostas
1 - Qual o seu contato com recursos tecnológicos (computadores, tablets, smartphones, etc)?	 <p>Utilizo diariamente: 100,0%</p>
2 - Qual o seu contato com jogos digitais (video games, tablets, smartphones, etc)?	 <p>Jogo ocasionalmente 38,6%</p> <p>Jogo diariamente 38,6%</p> <p>Raramente jogo 22,8%</p>
3 - Qual o seu contato com jogos 3D (Primeira Pessoa)?	 <p>Nunca jogo 14,0%</p> <p>Jogo diariamente 17,5%</p> <p>Jogo semanalmente 21,1%</p> <p>Raramente jogo 47,4%</p>
4 - Qual tipo de controle você costuma utilizar para jogar? (Nesta questão o aluno podia marcar mais de uma alternativa)	 <p>Celular ou Tablet 35,2%</p> <p>Teclado e Mouse 25,7%</p> <p>Joystick 39,0%</p>
5 - Qual o seu contato com Realidade Virtual?	 <p>Utilizo raramente 10,5%</p> <p>Utilizei uma vez 14,0%</p> <p>Nunca utilizei 73,7%</p>

- Jogo ocasionalmente: 5 pontos;
- Jogo raramente: 2 pontos;
- Joguei uma vez: 1 ponto;
- Nunca jogo: 0 pontos;

O aluno que marcou a opção “Jogo diariamente” foi adicionado 10 pontos, quem respondeu “jogo raramente” 5 pontos e assim por diante. Para a questão 4, como tinha três opções que po-

deriam ser escolhidas ao mesmo tempo, o valor foi alterado para 3,3 pontos para cada resposta. A média das somas das pontuações de todos os alunos foi 26,57 e o desvio padrão foi 7,72. Como critério de divisão todos os alunos que tiveram nota maior ou igual 30,43 (média mais o desvio padrão/2) foi considerado com experiência alta entre os demais. Os alunos com nota menor ou igual a 22,71 (média menos desvio padrão/2) foram classificados com experiência baixa e quem ficou entre intervalo de alta e baixa foi classificado com experiência média. A Figura 5.4 mostra que o resultado obtido foi um grupo com experiências equilibradas entre alta, média e baixa, ou seja, uma boa amostra para realizar o experimento.

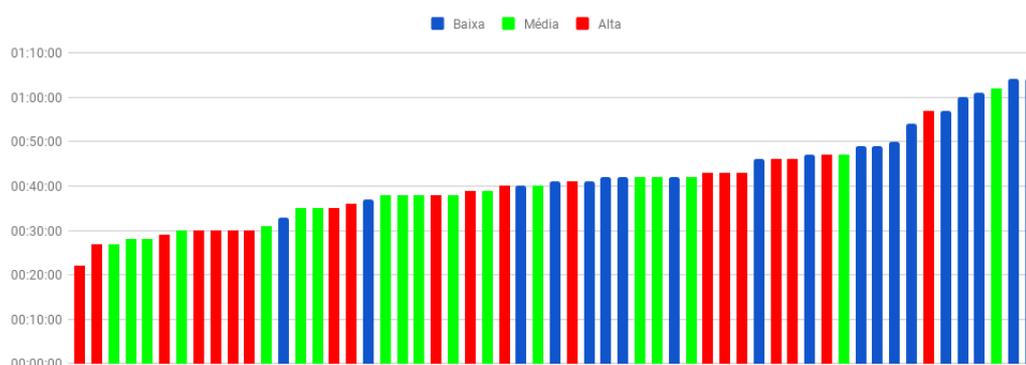
**FIGURA 5.4 – Perfil de experiência em jogos dos alunos**



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O gráfico 5.5 mostra o tempo de cada aluno para jogar e responder os questionários relacionado com a sua experiência em jogos. Os tempos estão ordenados em ordem crescente e estão coloridos por experiência. A média de tempo foi de 41,15 minutos e conforme mostra no gráfico os alunos que demoraram mais tempo são os que tem menos experiência com jogos, isso pode ser visto pela cor azul que tende mais a direita. Já os alunos com média e alta (cor verde e vermelha) experiência ficaram mais concentrados na média de tempo geral.

**FIGURA 5.5 – Relação de tempo do experimento com a experiência dos alunos**



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

## 5.2 Preparação dos dados

Na maioria dos casos os dados coletados para experimentos precisam passar por um processo de preparação, antes de qualquer tipo de análise estatística. Nesta seção serão descritas a limpeza, codificação e organização dos dados (DELWICHE; SLAUGHTER, 2012).

### 5.2.1 Limpeza dos dados

Primeiramente, foi feita uma checagem nas respostas dos usuários nos questionários conferindo se as respostas estavam condizentes, por exemplo, se o número das escalas das perguntas estavam corretos (1 a 7 para *E-gameFlow*, 1 a 5 para SUS e 0 a 3 para SSQ). Foram também conferidos os dados preenchidos na entrevistas iniciais e finais como a idade e respostas das perguntas.

### 5.2.2 Codificação dos dados

Após a limpeza dos dados o segundo passo foi fazer a codificação (somatória) dos questões respondidas nos métodos de avaliação escolhidos.

Para a codificação do *E-gameFlow* bastou somar as respostas das perguntas (FU; SU; YU, 2008).

Para o SUS a soma seguiu um critério específico para seu tipo de questionário de acordo com Brooke et al. (1996). Para cada questão ímpar (1, 3, 5, 7, 9), que são as questões positivas sobre o jogo, foi subtraído 1 do valor respondido pelo usuário. E para cada questão par (2, 4, 6, 8, 10), que são as questões de caráter negativo, o valor respondido foi subtraído de 5. Por fim foi somado o valor das 10 perguntas e multiplicado por 2,5 obtendo uma pontuação final com valores de 0 a 100.

Para o SSQ também foi feita a soma das respostas dos alunos para cada pergunta (KENNEDY et al., 1993).

### 5.2.3 Organização dos dados

Após a codificação, foi feita a organização dos dados. Eles foram agrupados com as colunas representando os valores obtidos de cada instrumento de medição (Tabela 5.2).

Tabela 5.2: Organização dos dados obtidos após a codificação

Questionários:	<i>E-gameFlow</i>			SUS			SSQ		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3	V1	V2	V3
Aluno 1:	22	16	24	95	100	92,5	0	0	3
Aluno 2:	25	27	27	67,5	65	62,5	0	7	10
Aluno 3:	17	24	27	92,5	50	100	0	17	11
Aluno 4:	13	22	21	97,5	97,5	100	0	0	0
Aluno 5:	4	14	13	77,5	70	90	0	8	0
Aluno 6:	20	25	26	60	92,5	77,5	0	4	2
Aluno 7:	4	14	10	80	90	87,5	0	0	0
Aluno 8:	22	19	18	92,5	90	75	0	4	2
Aluno 9:	18	27	25	77,5	75	67,5	1	0	5
Aluno 10:	28	28	28	90	90	95	0	0	0
Aluno 11:	28	28	28	90	85	72,5	0	0	0
Aluno 12:	22	24	24	70	80	72,5	0	4	3
Aluno 13:	16	22	28	65	95	80	0	0	0
Aluno 14:	10	11	21	95	87,5	87,5	0	0	6
Aluno 15:	4	19	28	100	100	90	0	0	0
Aluno 16:	26	28	25	100	97,5	100	0	0	0
Aluno 17:	19	19	22	77,5	47,5	97,5	0	11	6
Aluno 18:	21	28	27	55	55	75	0	10	0
Aluno 19:	28	23	28	80	75	90	2	4	0
Aluno 20:	25	28	28	72,5	82,5	90	0	3	0
Aluno 21:	20	28	23	82,5	90	95	0	0	0
Aluno 22:	6	27	22	87,5	100	80	0	2	16
Aluno 23:	28	28	28	100	87,5	72,5	0	1	0

Continua na próxima página

Aluno 24:	12	26	12	92,5	75	87,5	1	8	1
Aluno 25:	11	24	23	45	75	62,5	0	0	1
Aluno 26:	12	26	23	82,5	80	80	0	15	7
Aluno 27:	23	24	22	82,5	90	95	0	0	0
Aluno 28:	23	24	22	82,5	90	95	0	0	0
Aluno 29:	22	27	26	95	92,5	92,5	0	0	2
Aluno 30:	28	28	28	77,5	90	90	0	1	0
Aluno 31:	10	28	28	95	80	92,5	0	0	0
Aluno 32:	16	17	25	72,5	92,5	80	0	0	0
Aluno 33:	28	27	28	100	70	95	0	13	2
Aluno 34:	23	24	27	77,5	82,5	90	0	0	0
Aluno 35:	4	25	13	100	42,5	87,5	0	10	0
Aluno 36:	21	23	24	90	80	77,5	0	0	6
Aluno 37:	13	24	16	92,5	65	100	0	13	0
Aluno 38:	24	28	28	82,5	87,5	85	0	2	0
Aluno 39:	21	28	28	95	100	97,5	0	1	0
Aluno 40:	9	23	18	77,5	82,5	95	0	0	0
Aluno 41:	6	24	22	95	97,5	80	0	0	8
Aluno 42:	25	25	26	90	92,5	77,5	0	0	7
Aluno 43:	18	28	28	85	87,5	75	0	3	1
Aluno 44:	21	27	24	100	82,5	87,5	0	1	0
Aluno 45:	25	28	28	90	95	100	0	4	1
Aluno 46:	23	28	28	80	85	97,5	0	0	0
Aluno 47:	26	27	23	70	72,5	90	0	8	0
Aluno 48:	14	28	20	87,5	87,5	90	0	0	3
Aluno 49:	7	28	20	92,5	100	87,5	0	0	4

---

Continua na próxima página

---

Tabela 5.3: Interpretação do teste *Shapiro-Wilk*

Teste <i>Shapiro-Wilk</i>	
<b>Hipótese Nula - H0:</b>	População possui distribuição normal
<b>Hipótese Alternativa - H1:</b>	População não possui distribuição normal
<b>Valor de significância:</b>	5%
<b>Interpretação:</b>	Se p-valor for menor que 5% rejeita-se H0 e aceita H1. Se p-valor for maior ou igual 5% aceita H0.

Aluno 50:	16	26	18	77,5	90	90	0	1	0
Aluno 51:	28	27	25	100	100	80	0	2	5
Aluno 52:	24	28	27	97,5	95	97,5	0	0	0
Aluno 53:	16	23	18	90	95	95	0	0	2
Aluno 54:	20	26	27	82,5	90	95	0	0	0
Aluno 55:	14	18	16	80	90	100	0	0	0
Aluno 56:	16	26	25	100	85	100	0	13	2
Aluno 57:	19	24	24	42,5	70	87,5	0	1	2

### 5.3 Teste de normalidade

Segundo Lazar, Feng e Hochheiser (2017), os dois tipos de técnicas mais utilizadas para comparações entre grupos são os *Teste T* e *ANOVA*. Quando o estudo envolve dois grupos ou condições usa-se o *Teste T* ou quando envolve mais de dois grupos ou condições utiliza-se o *ANOVA*. Os testes estatístico como *Teste T* e *ANOVA* são testes paramétricos que requerem algumas suposições da amostra, uma muito importante é a normalidade dos dados.

Para realizar o teste de normalidade foi escolhido o método de *Shapiro-Wilk* (ROYSTON, 1995). Com base no trabalho de Razali, Wah et al. (2011), o teste *Shapiro-Wilk* se demonstrou mais eficaz do que os *kolmogorov-Smirnov*, *Lilliefors* e *Anderson-Darling*. A execução dos testes foi feita na linguagem R utilizando o software estatístico *RStudio*. As próximas subseções apresentam os testes feitos para cada instrumento de avaliação *E-gameFlow*, *SUS* e *SSQ*. A tabela 5.3 apresenta a forma de interpretação do teste.

### 5.3.1 Teste de normalidade *E-gameFlow*

Nenhuma das versões (V1, V2 e V3) obtiveram a normalidade dos dados avaliação do *E-gameFlow*. As tabelas 5.4, 5.5 e 5.6 mostram a saída dos testes para V1, V2 e V3 respectivamente.

**Tabela 5.4: Teste de normalidade *Shapiro-Wilk* para *E-gameFlow* V1**

<b>W:</b>	0,93295
<b>P-valor:</b>	0,003559
<b>Interpretação:</b>	Os dados não seguem uma distribuição normal

**Tabela 5.5: Teste de normalidade *Shapiro-Wilk* para *E-gameFlow* V2**

<b>W:</b>	0,80435
<b>P-valor:</b>	2,978e-07
<b>Interpretação:</b>	Os dados não seguem uma distribuição normal

**Tabela 5.6: Teste de normalidade *Shapiro-Wilk* para *E-gameFlow* V3**

<b>W:</b>	0,85494
<b>P-valor:</b>	6,817e-06
<b>Interpretação:</b>	Os dados não seguem uma distribuição normal

### 5.3.2 Teste de normalidade SUS

Nenhuma das versões obtiveram a normalidade dos dados na avaliação do *SUS*. As tabelas 5.7, 5.8 e 5.9 mostram a saída dos testes para V1, V2 e V3 respectivamente.

**Tabela 5.7: Teste de normalidade *Shapiro-Wilk* para *SUS* V1**

<b>W:</b>	0,89497
<b>P-valor:</b>	0,0001282
<b>Interpretação:</b>	Os dados não seguem uma distribuição normal

**Tabela 5.8: Teste de normalidade *Shapiro-Wilk* para *SUS* V2**

<b>W:</b>	0,88305
<b>P-valor:</b>	5,08e-05
<b>Interpretação:</b>	Os dados não seguem uma distribuição normal

### 5.3.3 Teste de normalidade *SSQ*

Nenhuma das versões obtiveram a normalidade dos dados na avaliação do *SSQ*. As tabelas 5.10, 5.11 e 5.12 mostram a saída dos testes para V1, V2 e V3 respectivamente.

**Tabela 5.9: Teste de normalidade *Shapiro-Wilk* para SUS V3**

<b>W:</b>	0,92376
<b>P-valor:</b>	0,001503
<b>Interpretação:</b>	Os dados não seguem uma distribuição normal

**Tabela 5.10: Teste de normalidade *Shapiro-Wilk* para SSQ V1**

<b>W:</b>	0,23163
<b>P-valor:</b>	1,075e-15
<b>Interpretação:</b>	Os dados não seguem uma distribuição normal

**Tabela 5.11: Teste de normalidade *Shapiro-Wilk* para SSQ V2**

<b>W:</b>	0,70334
<b>P-valor:</b>	1,964e-09
<b>Interpretação:</b>	Os dados não seguem uma distribuição normal

**Tabela 5.12: Teste de normalidade *Shapiro-Wilk* para SSQ V3**

<b>W:</b>	0,69961
<b>P-valor:</b>	1,669e-09
<b>Interpretação:</b>	Os dados não seguem uma distribuição normal

## 5.4 Teste estatístico

Segundo Lazar, Feng e Hochheiser (2017) quando o experimento envolve três condições, o teste *ANOVA* é o recomendado, porém há algumas variações de acordo com o design escolhido como, *one-way ANOVA*, *factorial ANOVA*, *repeated measures ANOVA* ou *ANOVA for split-plot*. De acordo com os autores, o teste paramétrico *repeated measures ANOVA* é apropriado para estudos empíricos que adotam o *within-group* design como o deste trabalho.

Entretanto, após realizar os testes de normalidade foi possível verificar que os dados obtidos não seguem uma distribuição normal, portanto não obedecem um dos critérios chave dos testes estatísticos paramétricos. Neste caso, o teste não paramétrico (teste que não necessita da normalidade dos dados) escolhido (equivalente ao *repeated measures ANOVA*) foi o *Teste de Friedman* e o pós-teste não paramétrico equivalente ao *Teste T* foi o *Teste de Wilcoxon* (LAZAR; FENG; HOCHHEISER, 2017).

Para realizar os testes estatísticos, foi utilizado o *RStudio* com um *script*<sup>1</sup> disponível no site <https://www.r-statistics.com/>, que executa o *Teste de Friedman*, seguido pelo pós-teste de *Wilcoxon*. A seguir são apresentados os resultados dos testes aplicados para responder as hipóteses geradas pela **QP**.

<sup>1</sup><https://www.r-statistics.com/2010/02/post-hoc-analysis-for-friedmans-test-r-code/>

### 5.4.1 Respostas das hipóteses

A seguir são apresentados os resultados dos testes estatísticos realizados para responder as hipóteses que foram apresentadas na tabela 4.2.

#### 5.4.1.1 Hipótese 1

Para avaliar a hipótese 1 nula e alternativa:

- $1H_0$ : Não há diferença na imersão do LabTecA entre V1, V2 e V3;
- $1H_1$ : Há uma diferença significativa na imersão do LabTecA entre V1, V2 e V3;

foram executados os testes de *Friedman* e *Wilcoxon* que são apresentados na tabela 5.13.

**Tabela 5.13: Saída do teste de *Friedman* e *Wilcoxon* para  $1H_0$**

Teste - <i>Friedman</i>		
Qui-quadrado:	52,357	Graus de liberdade: 2 P-valor: 4,274e-12
Pós-teste - <i>Wilcoxon</i>		
Versões	P-valor	Análise
V1 - V2	1,007161e-11	Há uma diferença significativa
V1 - V3	1.914731e-07	Há uma diferença significativa
V2 - V3	0,3080353	Não há uma diferença significativa

Conforme mostra a tabela 5.13, como o p-valor é menor que 5% então **rejeita-se**  $1H_0$  e aceita-se  $1H_1$ , ou seja, **há uma diferença significativa na imersão dos jogos entre V1, V2 e V3.**

Uma vez que há uma diferença, o pós-teste mostra as comparações dos pares de jogos a fim de encontrar onde está essa diferença. Conforme mostra a tabela 5.13, o p-valor dos pares “V1 - V2” e “V1 - V3” são menores que 5%, portanto rejeita-se a hipótese de nulidade e aceita-se a alternativa de que **há uma diferença significativa na imersão entre “V1 - V2” e “V1 - V3”.**

Porém, entre V2 e V3 o pós-teste resultou em um p-valor maior que 5%, portanto não é possível rejeitar uma hipótese de nulidade e aceitamos que **não há uma diferença significativa na imersão entre V2 e V3.**

#### 5.4.1.2 Hipótese 2

Para avaliar a hipótese 2 nula e alternativa:

- $2H_0$ : Não há diferença na usabilidade do LabTecA entre V1, V2 e V3;
- $2H_1$ : Há uma diferença significativa na usabilidade do LabTecA entre V1, V2 e V3;

foram executados os testes de *Friedman* e *Wilcoxon* que são apresentados na tabela 5.14.

**Tabela 5.14: Saída do teste de *Friedman* e *Wilcoxon* para  $2H_0$**

Teste - <i>Friedman</i>		
Qui-quadrado:	2,4319	Graus de liberdade: 2 P-valor: 0,2964
Pós-teste - <i>Wilcoxon</i>		
Versões	P-valor	Análise
V1 - V2	0,8037002	Não há uma diferença significativa
V1 - V3	0,2674948	Não há uma diferença significativa
V2 - V3	0,6272697	Não há uma diferença significativa

Conforme mostra a tabela 5.14, como o p-valor é maior que 5% então **aceita-se**  $2H_0$ , ou seja, **não há diferença na usabilidade do LabTecA entre V1, V2 e V3**.

Como não há uma diferença entre as versões, o pós-teste apenas serve para confirmar do primeiro teste. Conforme mostra a tabela, todos os pares de comparações “V1 - V2”, “V1 - V3” e “V2 - V3” têm o p-valor maior que 5%, portanto em todos eles podemos afirmar que **não há uma diferença significativa na usabilidade**.

### 5.4.1.3 Hipótese 3

Para avaliar a hipótese 3 nula e alternativa:

- $3H_0$ : Não há diferença no conforto (em jogar) do LabTecA entre V1, V2 e V3;
- $3H_1$ : Há uma diferença significativa no conforto (em jogar) do LabTecA entre V1, V2 e V3;

foram executados os testes de *Friedman* e *Wilcoxon* que são apresentados na tabela 5.15.

Conforme mostra a tabela 5.15, como o p-valor é menor que 5% então **rejeita-se**  $3H_0$  e aceita-se  $3H_1$ , ou seja, **há uma diferença significativa no conforto (em jogar) do LabTecA entre V1, V2 e V3**.

Uma vez que há uma diferença, o pós-teste mostra as comparações dos pares de jogos a fim de encontrar onde está essa diferença. Conforme mostra a tabela 5.15 o p-valor dos pares “V1 - V2” e “V1 - V3” são menores que 5%, portanto rejeita-se a hipótese de nulidade e aceita-se a alternativa de que **há uma diferença significativa no conforto entre “V1 - V2” e “V1 - V3”**.

Tabela 5.15: Saída do teste de *Friedman* e *Wilcoxon* para  $3H_0$ 

Teste - <i>Friedman</i>			
Qui-quadrado:	31,015	Graus de liberdade:	2 P-valor: 1,842e-07
Pós-teste - <i>Wilcoxon</i>			
Versões	P-valor	Análise	
V1 - V2	4,026069e-07	Há uma diferença significativa	
V1 - V3	8,435721e-05	Há uma diferença significativa	
V2 - V3	0,5194090	Não há uma diferença significativa	

Porém, entre V2 e V3 o pós-teste resultou em um p-valor maior que 5%, portanto não é possível rejeitar uma hipótese de nulidade e aceitamos que **não há uma diferença significativa no conforto entre V2 e V3**.

## 5.5 Discussão dos resultados

De acordo com os dados apresentados neste capítulo, nesta seção serão apresentadas as discussões dos resultados e seus significados para responder a questão de pesquisa:

**QP** - “Quais as evidências de que o uso de óculos de RV de baixo custo com diferentes técnicas de interação em um jogo educacional de simulação (com menus 2D adaptados) pode melhorar a imersão, usabilidade e conforto se comparado com o jogo tradicional para *desktop* com teclado e *mouse*?”

Na tabela 5.16 podemos ver um resumo dos testes de hipóteses que foram realizados na amostra. Com os resultados obtidos, foi possível rejeitar  $1H_0$  e  $3H_0$ , ou seja, rejeitando a hipótese de nulidade aceitamos a alternativa. Neste caso podemos afirmar que **há uma diferença significativa na imersão e no conforto** entre as três versões estudadas.

Tabela 5.16: Resumo das respostas das hipóteses

Hipóteses	P-valor	Rejeita	Conclusão
$1H_0$ : Não há diferença na imersão do LabTecA entre V1, V2 e V3	Menor que 5%	<b>Sim</b>	Há uma diferença significativa na imersão.
$2H_0$ : Não há diferença na usabilidade do LabTecA entre V1, V2 e V3	Maior que 5%	Não	<b>Não</b> há diferença na usabilidade.
$3H_0$ : Não há diferença no conforto (em jogar) do LabTecA entre V1, V2 e V3	Menor que 5%	<b>Sim</b>	Há uma diferença significativa no conforto.

Como na  $2H_0$  não foi encontrada uma diferença significativa, nas tabelas 5.17 e 5.18 podemos ver apenas os pós-testes das  $1H_0$  e  $3H_0$ . Com os resultados, foi possível concluir que a

diferença está entre a versão *desktop* (V1) e as versões de RV (V2 e V3) tanto para imersão e conforto. As versões RV foram melhores que a versão *desktop* apenas na imersão. Em nenhum dos testes foi possível encontrar diferença significativa entre as versões de RV.

**Tabela 5.17: Resumo do pós-teste de  $1H_0$**

Comparação	P-valor	Rejeita	Conclusão
V1 e V2	Menor que 5%	<b>Sim</b>	Há uma diferença significativa na imersão.
V1 e V3	Menor que 5%	<b>Sim</b>	Há uma diferença na significativa na imersão.
V2 e V3	<b>Maior</b> que 5%	Não	<b>Não</b> há uma diferença na significativa.

**Tabela 5.18: Resumo do pós-teste de  $3H_0$**

Comparação	P-valor	Rejeita	Conclusão
V1 e V2	Menor que 5%	<b>Sim</b>	Há uma diferença significativa no conforto.
V1 e V3	Menor que 5%	<b>Sim</b>	Há uma diferença na significativa no conforto.
V2 e V3	<b>Maior</b> que 5%	Não	<b>Não</b> há uma diferença no conforto.

Assim respondendo a **QP** podemos concluir parcialmente que sim, há evidências estatísticas de que o uso de óculos de Realidade Virtual de baixo custo com diferentes técnicas de interação em um jogo educacional de simulação (com menus 2D adaptados) melhoram a **imersão** se comparado com o jogo tradicional para *desktop* com *teclado e mouse*.

Porém, também podemos concluir que não há evidências estatísticas de que o uso de óculos de Realidade Virtual de baixo custo com diferentes técnicas de interação em um jogo educacional de simulação (com menus 2D adaptados) melhoram a **usabilidade** e **conforto** se comparado com o jogo tradicional para *desktop* com *teclado e mouse*.

Na entrevista final, os alunos responderam algumas questões sobre o teste que são apresentadas na tabela 5.19. Os resultados nesta tabela não respondem a questão de pesquisa por não terem um teste estatístico aplicado sobre as respostas, porém são as opiniões pessoais dos alunos após jogaram as 3 versões e servem para podemos comparar com os teste de hipóteses e apresentar suas justificativas:

- Na pergunta 1, podemos ver que na opinião dos alunos as versões de RV obtiveram maior imersão do que a *desktop*, o que confirma o resultado de  $1H_0$ , e entre as duas RV a V2 (84,21%) que utiliza a técnica do *gaze input* foi escolhida como mais imersiva do que V3 que utiliza o *joystick*. Segundo os alunos a escolha de V2 com maior imersão do que a V3 se dava ao fato de não ter que precisar pressionar botões em um controle e o fato de só ter que “olhar” para interagir dava a sensação de ser mais natural e imersivo. É interessante que estas justificativas para maior imersão na V2, os alunos notaram uma maior usabilidade, o que não foi respondido na pergunta 2;

Tabela 5.19: Respostas da entrevista final

Pergunta	Versão	Alunos	Porcentagem
1 - Qual versão do jogo você achou mais imersiva?	V1	0	0 %
	V2	48	84,21 %
	V3	9	15,79 %
2 - Qual versão do jogo você achou que teve melhor usabilidade?	V1	22	38,6 %
	V2	16	28,07 %
	V3	19	33,33 %
3 - Qual versão do jogo te trouxe mais conforto ao jogar?	V1	32	56,14 %
	V2	12	21,05 %
	V3	13	22,81 %
4 - Qual versão do jogo você preferiu para se locomover?	V1	15	26,32 %
	V2	20	35,09 %
	V3	22	38,6 %
5 - Qual versão do jogo você preferiria utilizar para aprender?	V1	14	24,56 %
	V2	29	50,88 %
	V3	14	24,56 %

- Na pergunta 2, podemos ver que o resultado obteve um valor muito aproximado entre as três versões, o que também confirma o teste estatístico da  $2H_0$ , no qual não há evidência significativas que existe uma diferença na usabilidade entre elas. Somente a V1 poderia-se dizer que obteve uma interação pouco melhor que as RV por ter sido escolhida por 38,6% dos alunos;
- Na pergunta 3, podemos ver que a versão *desktop* foi a escolhida pela maioria (56,14%) como a mais confortável. Esse é o mesmo resultado que o teste estatístico de  $3H_0$ , no qual também concluiu que a V1 gera menos desconforto que as versões RV. A maioria das justifica foi o maior conforto por estar sentado e também apresentou menos sintomas que os descritos no *SSQ*;
- Na pergunta 4, podemos ver que as três versões tiveram valores próximos, porém a V3 (óculos e *joystick*) foi a que teve um resultado um pouco melhor sendo a escolhida com melhor locomoção. A maioria dos alunos disseram que estavam mais acostumados com *joystick* e por isso escolheram essa versão;
- Na pergunta 5, a maioria dos alunos escolheram a V2 como a que mais jogaria para aprender. Segundo os que escolheram essa versão, essa escolha foi porque acharam mais imersiva do que V1 e V3. E isso os faziam concentrar mais no conteúdo dentro do jogo e

que também, como não tinham que pressionar nada, era só “ir olhando” (movimentando a cabeça) dentro do jogo. Segundo os alunos isso dava a sensação de que o próprio jogo ia “guiando”, ou seja, era mais intuitivo que as outras versões, além disso alguns também justificaram sua escolha por achar a V2 mais fácil e divertida. Esse resultado pode ter sido influenciado pelo fator de novidade pois como mostrado na tabela 5.1 a maioria não havia tido um prévio contato com RV.

# Capítulo 6

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

---

Este estudo teve como objetivo contribuir com o avanço no estado da arte em interação não-natural com RV utilizando óculos de baixo custo. No mapeamento sistemático apresentado no capítulo 3, foi obtida uma visão geral sobre o assunto e o quanto a RV vem sendo aplicada à educação, suas formas de interação, áreas de aplicação e formas de avaliação. Concluiu-se que a RV contribui positivamente para o desenvolvimento de novas aplicações educacionais, melhorando o aprendizado dos alunos, o que ajudou no desenvolvimento da questão de pesquisa.

Especificamente relacionado com a questão de pesquisa buscou-se entender se a interação simplesmente com um óculos de RV ou com óculos e controle (*joystick*) poderia ser mais imersiva, fácil de usar e confortável para o público-alvo proposto e para jogos que se encaixariam na mesma categoria do que foi estudado (jogos de simulação 3D com menus 2D adaptados) ao se comparar com uma interação utilizando teclado, *mouse* e monitor convencionais.

A questão de pesquisa deste trabalho é: “Quais as evidências de que o uso de óculos de RV de baixo custo com diferentes técnicas de interação em um jogo educacional de simulação (com menus 2D adaptados) pode melhorar a imersão, usabilidade e conforto se comparado com o jogo tradicional para *desktop* com teclado e *mouse*?”

Para responder as hipóteses geradas na **QP**, foram desenvolvidas versões RV do jogo Lab-TecA e um experimento utilizando referências na área de modelagem experimental como Lazar, Feng e Hochheiser (2017), Rosenthal e Rosnow (2008) apresentados no capítulo 4. Após a coleta dos dados no experimento, foi realizada a análise para responder as hipóteses geradas  $1H_0$ ,  $2H_0$  e  $3H_0$ .

De acordo com os resultados dos testes estatísticos, conclui-se que para o tipo de jogo proposto com interação por menus 2D adaptados, o uso de óculos de baixo custo, aumentou a imersão tanto com *gaze input* quanto com a interação combinando *joystick* e foco. Conforme

relatado por Bharathi e Tucker (2015), o *joystick* “quebra” a imersão. Isso também foi relatado pelos alunos no questionário final, porém não foi confirmado no teste estatístico, que não apontou diferença significativa entre essas duas versões RV (V2 e V3).

Sobre a usabilidade, de acordo com o teste estatístico, não foi possível encontrar uma diferença significativa entre as versões, portanto conclui-se que estas técnicas (*gaze input* e *joystick*) estudadas com RV de baixo custo tem a mesmo nível de usabilidade do que a versão *desktop*. Segundo Cordeiro et al. (2015b) usar o *joystick* com RV deixa a aplicação mais difícil de interagir por não ser possível ver quais botões estão sendo pressionados. Isso também foi relatado no teste piloto pelos usuários, então o jogo foi implementado de uma forma que utilizasse apenas um botão do *joystick* para “clique” combinando com o foco do óculos de RV dentro do jogo e o botão *left joystick / L3* para locomoção. Desta forma foi possível confirmar que entre as duas versões de RV implementadas não houve diferenças na usabilidade.

Sobre o conforto, de acordo com as respostas da entrevista inicial, a maioria dos alunos (56,14%) sentiram-se mais confortáveis na V1. O interessante é que mesmo as versões RV tendo sido consideradas mais desconfortáveis pelos alunos e também pelo teste estatístico houve alunos que não apresentaram nenhum dos sintomas do SSQ. Na V2, 30 alunos (52,63%) não obtiveram nenhum sintoma de desconforto. Na V3, 31 alunos (54,39%) também não apresentaram nenhum desconforto, ou seja, mais da metade achou as versões RV confortáveis em relação aos sintomas. Porém na V1, mesmo sendo a que apresentou menos sintomas, ao menos 4 alunos (7,02%) tiveram alguns dos sintomas do SSQ.

Pelo experimento, não foi possível verificar a causa de alguns alunos não sentirem nenhum desconforto e outros sentirem. Porém pode-se notar que os meninos sentiram menos desconforto. Os que apresentaram sintomas de desconforto com maior intensidade e número foram do gênero feminino. Foram 38,03% das meninas contra 29,59% dos meninos. Mesmo as meninas sendo um número um pouco menor a soma dos índices do SSQ resultou em um número e médias maiores (maior intensidade de desconforto). Sendo o valor de 119 e média 1,21 para o gênero masculino contra 179 e média 2,5 para o gênero feminino. O teste de *Friedman* foi reaplicado para  $3H_0$  dividindo os gêneros, porém os resultados permaneceram os mesmos com p-valor menor que 5% para ambos.

## 6.1 Contribuições geradas

Este trabalho contribuiu com um levantamento no estado da arte em RV, mostrando um pouco da história, conceitos, dispositivos e técnicas utilizadas para interação.

Também contribuiu com um mapeamento sistemático na área de informática na educação, no qual foi produzido um artigo completo com aprovação para o Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE) de 2017. O artigo foi baseado no mapeamento sistemático realizado para este trabalho (apresentado no capítulo 3). FONSECA, L. M; OTSUKA, J. L. Aplicações educacionais com óculos de realidade virtual: um Mapeamento Sistemático. *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*. 2017.

A principal contribuição científica desse trabalho foi a resposta à questão de pesquisa, no qual o uso de óculos de RV de baixo custo como *google cardboard* com as técnicas estudadas (*gaze input* e *joystick*) no tipo de jogo estudado (jogo de simulação 3D com menus 2D adaptados) melhoraram a imersão comparado com a versão desktop. Mas tem o mesmo nível de usabilidade. E além de gerarem um desconforto maior para alguns alunos, ao todo 17 alunos não sentiram desconforto e preferiram uma das duas versões RV para jogar e aprender despertando maior interesse, que é um fator muito importante em recursos educacionais.

Além disso, o desenvolvimento das versões RV do jogo LabTecA foram realizadas utilizando a versão livre da *engine* “Unity 5.6.4” e o “SDK Google Cardboard 0.6” com os códigos disponíveis no github <sup>1 2 3</sup>.

## 6.2 Limitações e Trabalhos Futuros

Para realizar o experimento foram desenvolvidas duas versões RV, estas versões foram desenvolvidas para que o jogo se aplicasse às etapas da tarefa proposta. Porém, é necessária a continuação dessa implementação para que o jogo esteja disponível por completo também nas versões RV.

Uma das limitações foi o número de participantes. Como o *design* do experimento foi o *within-group* todos os participantes tiveram que jogar e responder os questionários das três versões de forma individual. Com isso, só foi possível conseguir um pequeno número de 57 alunos. Além de outras dificuldades enfrentadas como disponibilização das escolas, greves e o próprio interesse dos alunos. Por ter sido um teste com tempo razoavelmente longo, as escolas só permitiram o agendamento fora do horário de aula. Porém muitos alunos não foram no horário marcado sendo necessário o reagendamento. Para uma análise completa necessita-se de um grande número de participantes para cobrir todos os perfis relevantes do público-alvo.

<sup>1</sup><https://github.com/layonmartins/labteca-developementRV-Desktop>

<sup>2</sup><https://github.com/layonmartins/labteca-developementRV>

<sup>3</sup><https://github.com/layonmartins/labteca-developementRV-Joystick>

Outra limitação foi o tempo de uso de cada versão do jogo, pois esse trabalho só consegue afirmar esses resultados levando em consideração o tempo que os alunos utilizaram o jogo (média de 41,15 minutos). Não é possível afirmar que esses mesmos resultados seriam válidos para alunos que utilizassem o jogo por varias horas durante dias, semanas ou meses.

Para trabalhos futuros, é interessante investigar melhor a usabilidade, uma vez que o teste estatístico não mostrou diferença significativa entre as três versões estudadas. Um segundo experimento focado somente na usabilidade, com maior número de participantes e outros meios de avaliação, pode validar melhor essa questão.

## REFERÊNCIAS

---

---

- ABREU, J. G. et al. Evaluating sign language recognition using the myo armband. In: *2016 XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 64–70.
- ALHALABI, W. Virtual reality systems enhance students' achievements in engineering education. *Behaviour and Information Technology*, v. 35, n. 11, p. 919–925, 2016. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84979662972&doi=10.1080%2f0144929X.2016.1212931&partnerID=40&md5=3445122f2191056d55c26b9024456ab5>).
- ALSHAER, A.; REGENBRECHT, H.; O'HARE, D. Immersion factors affecting perception and behaviour in a virtual reality power wheelchair simulator. *Applied Ergonomics*, v. 58, p. 1 – 12, 2017. ISSN 0003-6870.
- BALL, S. et al. myshoes: An immersive simulation of dementia. In: ACADEMIC CONFERENCES INTERNATIONAL LIMITED. *International Conference on e-Learning*. [S.l.], 2015. p. 16.
- BANGOR, A.; KORTUM, P. T.; MILLER, J. T. An empirical evaluation of the system usability scale. *Intl. Journal of Human-Computer Interaction*, Taylor & Francis, v. 24, n. 6, p. 574–594, 2008.
- BASTOS, N. C.; TEICHRIEB, V.; KELNER, J. Interação com realidade virtual e aumentada. In: \_\_\_\_\_. *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*. [S.l.]: Belém: SBC, 2006.
- BATISTA, T. V. V.; MACHADO, L. S.; VALENÇA, A. M. G. Surface electromyography for game-based hand motor rehabilitation. In: *2016 XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 140–144.
- BHARATHI, A. K. B. G.; TUCKER, C. S. Investigating the impact of interactive immersive virtual reality environments in enhancing task performance in online engineering design activities. In: AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. *ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. [S.l.], 2015. p. 1–11.
- BOLTE, B. et al. Augmentation techniques for efficient exploration in head-mounted display environments. In: *Proceedings of the 17th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. New York, NY, USA: ACM, 2010. (VRST '10), p. 11–18. ISBN 978-1-4503-0441-2. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1889863.1889865>).
- BOMBARI, D. et al. Studying social interactions through immersive virtual environment technology: virtues, pitfalls, and future challenges. *Frontiers in Psychology*, v. 6, p. 869, 2015.

ISSN 1664-1078. Disponível em: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2015.00869>).

BOTEGA, L. C.; CRUVINEL, P. E. Realidade virtual: Histórico, conceitos e dispositivos. In: \_\_\_\_\_. *Aplicações de realidade virtual e aumentada*. [S.l.]: Porto Alegre: SBC, 2009.

BOWMAN, D. A. *3D Interaction Techniques for Virtual Environments*. 2005. <http://slideplayer.com/slide/8007892/>).

BOWMAN, D. A.; HODGES, L. F. An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments. In: *Proceedings of the 1997 Symposium on Interactive 3D Graphics*. New York, NY, USA: ACM, 1997. (I3D '97), p. 35–ff. ISBN 0-89791-884-3. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/253284.253301>).

BOZGEYIKLI, E. et al. Point & teleport locomotion technique for virtual reality. In: *Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*. New York, NY, USA: ACM, 2016. (CHI PLAY '16), p. 205–216. ISBN 978-1-4503-4456-2. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2967934.2968105>).

BRERETON, P. et al. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of Systems and Software*, v. 80, n. 4, p. 571 – 583, 2007. ISSN 0164-1212. Software Performance. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016412120600197X>).

BROOKE, J. et al. Sus-a quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, London–, v. 189, n. 194, p. 4–7, 1996.

BRUDER, G.; STEINICKE, F.; HINRICHS, K. Estimation of virtual interpupillary distances for immersive head-mounted displays. In: *Proceedings of the 7th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*. New York, NY, USA: ACM, 2010. (APGV '10), p. 168–168. ISBN 978-1-4503-0248-7. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1836248.1836290>).

BRYSON, S. Virtual reality: A definition history - A personal essay. *CoRR*, abs/1312.4322, 2013. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/1312.4322>).

BUÑ, P. et al. Application of professional and low-cost head mounted devices in immersive educational application. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 75, p. 173–181, 2015.

CARROZZINO, M. et al. Navigating immersive virtual environments through a foot controller. In: *Proceedings of the 20th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. New York, NY, USA: ACM, 2014. (VRST '14), p. 23–26. ISBN 978-1-4503-3253-8. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2671015.2671121>).

CARVALHO, M. R. d.; COSTA, R. T. d.; NARDI, A. E. Simulator sickness questionnaire: tradução e adaptação transcultural. *J Bras Psiquiatr*, v. 60, n. 4, p. 247–252, 2011.

CORDEIRO, C. et al. Development of immersive virtual reality environment to train electricians to work on substations. In: IEEE. *2015 XVII Symposium on Virtual and Augmented Reality*. [S.l.], 2015. p. 142–146.

- CORDEIRO, C. et al. Development of immersive virtual reality environment to train electricians to work on substations. In: *2015 XVII Symposium on Virtual and Augmented Reality*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 142–146.
- CRESPO, R.; GARCÍA, R.; QUIROZ, S. Virtual reality application for simulation and off-line programming of the mitsubishi movemaster rv-m1 robot integrated with the oculus rift to improve students training. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 75, p. 107–112, 2015.
- CROCHE, L. D. et al. Realidade virtual – a viabilidade da imersão total na atualidade. *Revista: CCCSS Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 2016. Disponível em: <http://www.eumed.net/rev/cccss/2016/03/realidade-virtual.html>. Acesso em: 27 Jan. 2017.
- CRUZ-NEIRA, C.; SANDIN, D. J.; DEFANTI, T. A. Surround-screen projection-based virtual reality: The design and implementation of the cave. In: *Proceedings of the 20th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. New York, NY, USA: ACM, 1993. (SIGGRAPH '93), p. 135–142. ISBN 0-89791-601-8. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/166117.166134>.
- CRUZ-NEIRA, C. et al. The cave: Audio visual experience automatic virtual environment. *Commun. ACM*, ACM, New York, NY, USA, v. 35, n. 6, p. 64–72, jun. 1992. ISSN 0001-0782. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/129888.129892>.
- DARKEN, R. P.; COCKAYNE, W. R.; CARMEIN, D. The omni-directional treadmill: A locomotion device for virtual worlds. In: *Proceedings of the 10th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. New York, NY, USA: ACM, 1997. (UIST '97), p. 213–221. ISBN 0-89791-881-9. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/263407.263550>.
- DELWICHE, L. D.; SLAUGHTER, S. J. *The little SAS book: a primer*. [S.l.]: SAS Institute, 2012.
- DESAI, P. R. et al. A review paper on oculus rift-a virtual reality headset. *arXiv preprint arXiv:1408.1173*, p. 175–179, 2014.
- EBERT, D.; GUPTA, S.; MAKEDON, F. Ogma - a virtual reality language acquisition system. In: . [s.n.], 2016. v. 29-June-2016. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85006054089&doi=10.1145%2f2910674.2910681&partnerID=40&md5=0fd2d0bcd4fda635496b1bc7636f8102>.
- EL-MOUNAYRI, H. et al. Assessment of stem e-learning in an immersive virtual reality (vr) environment. In: . [s.n.], 2016. v. 2016-June. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84983339214&partnerID=40&md5=02da9841cb106deed5db75fbfbc6a983>.
- ELISEO, M. A.; DELMONDES, D. S. A. Interação gestual em ambientes tridimensionais. In: \_\_\_\_\_. *Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada*. [S.l.]: Salvador: SBC, 2014.
- ELLIMAN, J.; LOIZOU, M.; LOIZIDES, F. Virtual reality simulation training for student nurse education. In: IEEE. 2016. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85013141940&doi=10.1109%2fVS-GAMES.2016.7590377&partnerID=40&md5=63a745f72c177fc7a69585e0557a0830>.

- FARIAS, T. et al. Cida: an interaction devices management platform. In: *Symposium on Virtual Reality*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 271–284.
- FOGARTY, J.; EL-TAWIL, S.; MCCORMICK, J. Exploring structural behavior and component detailing in virtual reality. In: *Structures Congress 2015*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 2557–2564.
- FRANZ, J.; MENIN, A.; NEDEL, L. Lossless multitasking: Using 3d gestures embedded in mouse devices. In: *2016 XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 109–116.
- FREES, S.; KESSLER, G. D.; KAY, E. Prism interaction for enhancing control in immersive virtual environments. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, ACM, New York, NY, USA, v. 14, n. 1, maio 2007. ISSN 1073-0516. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1229855.1229857>.
- FREINA, L.; BOTTINO, R. A visual thinking skills training in support of stem education. In: ACADEMIC CONFERENCES AND PUBLISHING LIMITED. *10th European Conference on Games Based Learning: ECGBL 2016*. [S.l.], 2016. p. 224.
- FU, F.-L.; SU, R.-C.; YU, S.-C. Egameflow: A scale to measure learners' enjoyment of e-learning games. *Computers & Education*, Elsevier, v. 52, n. 1, p. 101–112, 2008.
- GARGANTINI, A. et al. A low-cost virtual reality game for amblyopia rehabilitation. In: *Proceedings of the 3rd 2015 Workshop on ICTs for Improving Patients Rehabilitation Research Techniques*. New York, NY, USA: ACM, 2015. (REHAB '15), p. 81–84. ISBN 978-1-4503-3898-1. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2838944.2838964>.
- GNECCO, B. B. et al. E estratégias mistas de mecanismos para imersão em modelos de interação em ambientes virtuais de treinamento. In: \_\_\_\_\_. *Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada*. [S.l.]: Cuiabá: SBC, 2013.
- GOBIRA, P.; MOZELLI, A. As interfaces de realidade virtual no século xxi: Tecnologia, jogos digitais e indústria. 2016. Disponível em: [http://revistazcultural.pacc.ufrj.br/wp-content/uploads/2016/10/AS-INTERFACES-DE-REALIDADE-VIRTUAL-NO-S\C3\%89CULO-XXI\\\_--TECNOLOGIA-JOGOS-DIGITAIS-E-IND\C3\%9ASTRIA-\%E2\%80\%93-Revista-Z-Cultural.pdf](http://revistazcultural.pacc.ufrj.br/wp-content/uploads/2016/10/AS-INTERFACES-DE-REALIDADE-VIRTUAL-NO-S\C3\%89CULO-XXI\_--TECNOLOGIA-JOGOS-DIGITAIS-E-IND\C3\%9ASTRIA-\%E2\%80\%93-Revista-Z-Cultural.pdf).
- GONG, X. et al. A novel earthquake education system based on virtual reality. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E98.D, n. 12, p. 2242–2249, 2015.
- GRABOWSKI, A.; JANKOWSKI, J. Virtual reality-based pilot training for underground coal miners. *Safety science*, Elsevier, v. 72, p. 310–314, 2015.
- GUGENHEIMER, J. et al. Facetouch: Touch interaction for mobile virtual reality. In: ACM. *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. [S.l.], 2016. p. 3679–3682.
- GÓRSKI, F. et al. Immersive city bus configuration system for marketing and sales education. *Procedia Computer Science*, v. 75, p. 137 – 146, 2015. ISSN 1877-0509. 2015 International Conference Virtual and Augmented Reality in Education. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915036911>.

- HA, G. et al. A vr serious game for fire evacuation drill with synchronized tele-collaboration among users. In: . [s.n.], 2016. v. 02-04-November-2016, p. 301–302. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84998591738&doi=10.1145%2f2993369.2996306&partnerID=40&md5=219e08c794a673374636ca58a454e8fc>.
- HARRINGTON, C. M. et al. Development and evaluation of a trauma decision-making simulator in oculus virtual reality. *The American Journal of Surgery*, 2017. ISSN 0002-9610. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002961017300405>.
- HILFERT, T.; KÖNIG, M. Low-cost virtual reality environment for engineering and construction. *Visualization in Engineering*, Springer International Publishing, v. 4, n. 1, p. 18, 2016.
- HILFERT, T.; TEIZER, J.; KÖNIG, M. First person virtual reality for evaluation and learning of construction site safety. In: . [s.n.], 2016. p. 200–208. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84994322776&partnerID=40&md5=a93a91e2292418adc834498c39e28da8>.
- HOANG, T. et al. Onebody: Remote posture guidance system using first person view in virtual environment. In: . [s.n.], 2016. v. 23-27-October-2016. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84997079952&doi=10.1145%2f2971485.2971521&partnerID=40&md5=d37f6166772fdaaee530c2be34d75310>.
- HU, X.; SU, R.; HE, L. The design and implementation of the 3d educational game based on vr headsets. In: . [s.n.], 2016. p. 53–56. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84999273702&doi=10.1109%2fISET.2016.15&partnerID=40&md5=10dbba1b79a65bd8fe06cfa4e8c54b26>.
- JUANES, J. A.; RUISOTO, P.; BRIZ-PONCE, L. Immersive visualization anatomical environment using virtual reality devices. In: *Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*. New York, NY, USA: ACM, 2016. (TEEM '16), p. 473–477. ISBN 978-1-4503-4747-1. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/3012430.3012559>.
- KAMAISHI, S.; UDA, R. Biometric authentication by handwriting using leap motion. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication*. New York, NY, USA: ACM, 2016. (IMCOM '16), p. 36:1–36:5. ISBN 978-1-4503-4142-4. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2857546.2857583>.
- KATZAKIS, N. et al. Mesh-grab and arcball-3d: Ray-based 6-dof object manipulation. In: *Proceedings of the 11th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction*. New York, NY, USA: ACM, 2013. (APCHI '13), p. 129–136. ISBN 978-1-4503-2253-9. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2525194.2525198>.
- KAYATT, P.; NAKAMURA, R. Influence of a head-mounted display on user experience and performance in a virtual reality-based sports application. In: . [s.n.], 2015. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84979700592&doi=10.1145%2f2824893.2824895&partnerID=40&md5=207afbf6ffd7e1cf313ec9397a9e37f4>.
- KENNEDY, R. S. et al. Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The international journal of aviation psychology*, Taylor & Francis, v. 3, n. 3, p. 203–220, 1993.

- KIRNER, C.; TORI, R. Fundamentos de realidade aumentada. In: \_\_\_\_\_. *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*. [S.l.]: Belém: SBC, 2006.
- KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. In: *Technical report, Ver. 2.3 EBSE Technical Report. EBSE*. [S.l.]: sn, 2007.
- KLATZKY, R. L. Allocentric and egocentric spatial representations: Definitions, distinctions, and interconnections. In: \_\_\_\_\_. *Spatial Cognition: An Interdisciplinary Approach to Representing and Processing Spatial Knowledge*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1998. p. 1–17. ISBN 978-3-540-69342-0. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1007/3-540-69342-4\\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/3-540-69342-4\_1).
- KLEVEN, N. F. et al. Training nurses and educating the public using a virtual operating room with oculus rift. In: *2014 International Conference on Virtual Systems Multimedia (VSMM)*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 206–213.
- KNOTE, A.; EDENHOFER, S.; MAMMEN, S. V. Neozoa: An immersive, interactive sandbox for the study of competing. In: IEEE. *2016 IEEE Virtual Reality Workshop on K-12 Embodied Learning through Virtual & Augmented Reality (KELVAR)*. [S.l.], 2016. p. 5–10.
- KRESS, B.; SAEEDI, E.; PERRIERE, V. Brac-de-la. *The segmentation of the HMD market: optics for smart glasses, smart eyewear, AR and VR headsets*. 2014. 92020D-92020D-14 p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2064351>.
- KRESS, B.; STARNER, T. *A review of head-mounted displays (HMD) technologies and applications for consumer electronics*. 2013. 87200A-87200A-13 p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1117/12.2015654>.
- KUBO, M. M.; TORI, R.; KIRNER, C. Interaction in collaborative educational virtual environments. *CyberPsychology & Behavior*, Mary Ann Liebert, Inc., v. 5, n. 5, p. 399–407, 2002.
- KUMAR, D.; SHARMA, A. Electrooculogram-based virtual reality game control using blink detection and gaze calibration. In: IEEE. *Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2016 International Conference on*. [S.l.], 2016. p. 2358–2362.
- LABS, T. *Gesture Control Has Arrived*. 2016. <https://www.myo.com/>.
- LAI, C.; MCMAHAN, R. Virtual reality ladder climbing for mine safety training. In: . [s.n.], 2015. p. 754–760. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84954289498&partnerID=40&md5=349caf4ab7ec778af080b15a3dd47fb8>.
- LANTZ, E. The future of virtual reality: Head mounted displays versus spatially immersive displays (panel). In: *Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. New York, NY, USA: ACM, 1996. (SIGGRAPH '96), p. 485–486. ISBN 0-89791-746-4. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/237170.237289>.
- LAZAR, J.; FENG, J. H.; HOCHHEISER, H. *Research methods in human-computer interaction*. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2017.

- LEE, J. et al. Exploring the front touch interface for virtual reality headsets. In: *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: ACM, 2016. (CHI EA '16), p. 2585–2591. ISBN 978-1-4503-4082-3. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2851581.2892344>.
- LIANG, H.-N. et al. Vrmcontroller: An input device for navigation activities in virtual reality environments. In: *Proceedings of the 15th ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry - Volume 1*. New York, NY, USA: ACM, 2016. (VRCAI '16), p. 455–460. ISBN 978-1-4503-4692-4. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/3013971.3014005>.
- LING, H.; RUI, L. Vr glasses and leap motion trends in education. In: *2016 11th International Conference on Computer Science Education (ICCSE)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 917–920.
- LIPTON, L. Stereographics® developers' handbook: Background on creating images for crystaleyes® and simuleyes®. *StereoGraphics Corporation*, p. 15–26, 1997.
- LIU, Y. Virtual neurosurgical education for image-guided deep brain stimulation neurosurgery. In: *IEEE. 2014 International Conference on Audio, Language and Image Processing*. [S.l.], 2014. p. 623–626.
- MACHADO, L. dos S.; CARDOSO, A. Dispositivos de entrada e saída para sistemas de realidade virtual. In: \_\_\_\_\_. *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*. [S.l.]: Belém: SBC, 2006.
- MAPARI, R. B.; KHARAT, G. American static signs recognition using leap motion sensor. In: *Proceedings of the Second International Conference on Information and Communication Technology for Competitive Strategies*. New York, NY, USA: ACM, 2016. (ICTCS '16), p. 67:1–67:5. ISBN 978-1-4503-3962-9. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2905055.2905125>.
- MATHUR, A. Low cost virtual reality for medical training. In: . [s.n.], 2015. p. 345–346. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84954483974&doi=10.1109\%2fVR.2015.7223437&partnerID=40&md5=669b6ae9b3f3186c56fc8249ff46c9d5>.
- MCCULLOUGH, M. et al. Myo arm: Swinging to explore a ve. In: *Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Applied Perception*. New York, NY, USA: ACM, 2015. (SAP '15), p. 107–113. ISBN 978-1-4503-3812-7. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2804408.2804416>.
- MCGHEE, J. et al. Journey to the centre of the cell (jtcc): A 3d vr experience derived from migratory breast cancer cell image data. In: . [s.n.], 2016. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85006965758&doi=10.1145\%2f2996376.2996385&partnerID=40&md5=0f17ac3fee3c4508479d9ea59dea6cf3>.
- MCGILL, M. et al. A dose of reality: Overcoming usability challenges in vr head-mounted displays. In: *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: ACM, 2015. (CHI '15), p. 2143–2152. ISBN 978-1-4503-3145-6. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2702123.2702382>.

- MOESGAARD, T. et al. Implicit and explicit information mediation in a virtual reality museum installation and its effects on retention and learning outcomes. In: ACADEMIC CONFERENCES INTERNATIONAL LIMITED. *European Conference on Games Based Learning*. [S.l.], 2015. p. 387.
- MOREIRA, P.; OLIVEIRA, E. C. de; TORI, R. Impact of immersive technology applied in computer graphics learning. In: *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*. [S.l.: s.n.], 2016. v. 27, n. 1, p. 410.
- MORIE, J. F. Inspiring the future: Merging mass communication, art, entertainment and virtual environments. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, ACM, New York, NY, USA, v. 28, n. 2, p. 135–138, may 1994. ISSN 0097-8930. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/178951.178973>.
- NABIYOUNI, M.; BOWMAN, D. A. A taxonomy for designing walking-based locomotion techniques for virtual reality. In: *Proceedings of the 2016 ACM Companion on Interactive Surfaces and Spaces*. New York, NY, USA: ACM, 2016. (ISS Companion '16), p. 115–121. ISBN 978-1-4503-4530-9. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/3009939.3010076>.
- NEWBY, G. B. Virtual reality: Scientific and technological challenges. *Library e Information Science Research*, v. 18, n. 3, p. 278–280, 1996. ISSN 0740-8188. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S074081889690047X>.
- NIELSEN, J. *Usability 101: Introduction to usability*. 2003. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>.
- NILSSON, N. C. et al. Tapping-in-place: Increasing the naturalness of immersive walking-in-place locomotion through novel gestural input. In: *2013 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 31–38.
- NORRBY, M. et al. Molecular rift: Virtual reality for drug designers. *Journal of Chemical Information and Modeling*, v. 55, n. 11, p. 2475–2484, 2015. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84947967391&doi=10.1021%2facscim.5b00544&partnerID=40&md5=4c9b39329eca2d6679a8a9355a0a5f42>.
- OTSUKA, J. L. et al. Labteca: Experiência lúdica em um laboratório 3d de química. *RENOTE*, v. 13, n. 2, 2015.
- PARISI, T. Virtual reality hardware. In: \_\_\_\_\_. *Learning Virtual Reality Developing Immersive Experiences and Applications for Desktop, Web and Mobile*. [S.l.]: Published by O'Reilly Media, Inc. , 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472., 2015. p. 172.
- PATRÃO, B. et al. An affective interaction system to learn about physiological signals. In: IEEE. *2015 3rd Experiment International Conference (exp. at'15)*. [S.l.], 2015. p. 316–320.
- PECK, T. C.; FUCHS, H.; WHITTON, M. C. Improved redirection with distractors: A large-scale-real-walking locomotion interface and its effect on navigation in virtual environments. In: *2010 IEEE Virtual Reality Conference (VR)*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 35–38. ISSN 1087-8270.
- PINHO, M. S.; REBELO, I. B. Interação em ambientes virtuais imersivos. In: \_\_\_\_\_. *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*. [S.l.]: Belém: SBC, 2006.

- POUPYREV, I. et al. The go-go interaction technique: Non-linear mapping for direct manipulation in vr. In: *Proceedings of the 9th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. New York, NY, USA: ACM, 1996. (UIST '96), p. 79–80. ISBN 0-89791-798-7. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/237091.237102>.
- RAPOSO, A. B. et al. Visão estereoscópica, realidade virtual, realidade aumentada e colaboração. *XXIII JAI–Jornada de Automatização em Informática, Capítulo*, v. 8, 2004.
- RASHEED, F.; ONKAR, P.; NARULA, M. Immersive virtual reality to enhance the spatial awareness of students. In: . [s.n.], 2015. v. 17-19-December-2015, p. 154–160. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84959298853&doi=10.1145/2f2835966.2836288&partnerID=40&md5=6462e23a110bd5ceaff69b5a641e624a>.
- RAY, A.; DEB, S. Smartphone based virtual reality systems in classroom teaching - a study on the effects of learning outcome. In: . [s.n.], 2016. p. 68–71. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85013300861&doi=10.1109/2fT4E.2016.022&partnerID=40&md5=12bda50af16a1bc1a475ca2a81b69683>.
- RAZALI, N. M.; WAH, Y. B. et al. Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of statistical modeling and analytics*, v. 2, n. 1, p. 21–33, 2011.
- REIS, P. R. J. d. et al. An immersive virtual reality application for collaborative training of power systems operators. In: *2015 XVII Symposium on Virtual and Augmented Reality*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 121–126.
- ROBINETT, W.; HOLLOWAY, R. Implementation of flying, scaling and grabbing in virtual worlds. In: *Proceedings of the 1992 Symposium on Interactive 3D Graphics*. New York, NY, USA: ACM, 1992. (I3D '92), p. 189–192. ISBN 0-89791-467-8. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/147156.147201>.
- ROSENTHAL, R.; ROSNOW, R. *Essentials of Behavioral Research: Methods and Data Analysis*. McGraw-Hill, 2008. ISBN 9781283386746. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=sTpInQAACAAJ>.
- ROYSTON, P. Remark as r94: A remark on algorithm as 181: The w-test for normality. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, JSTOR, v. 44, n. 4, p. 547–551, 1995.
- SAMUR, S. X. et al. Uma comparação entre presença cênica e presença na realidade virtual. *Revista Brasileira de Estudos da Presença*, v. 6, n. 2, p. 242–265, 2016.
- SHIBATA, T. Head mounted display. *Displays*, v. 23, n. 1–2, p. 57 – 64, 2002. ISSN 0141-9382. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141938202000100>.
- SOFFEL, F.; ZANK, M.; KUNZ, A. Postural stability analysis in virtual reality using the htc vive. In: *ACM. Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology*. [S.l.], 2016. p. 351–352.
- STOAKLEY, R.; CONWAY, M. J.; PAUSCH, R. Virtual reality on a wim: Interactive worlds in miniature. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1995. (CHI '95), p. 265–272. ISBN 0-201-84705-1. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1145/223904.223938>.

- SUMA, E. A. et al. Leveraging change blindness for redirection in virtual environments. In: *2011 IEEE Virtual Reality Conference*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 159–166. ISSN 1087-8270.
- SUTHERLAND, I. E. A head-mounted three dimensional display. In: *Proceedings of the December 9-11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I*. New York, NY, USA: ACM, 1968. (AFIPS '68 (Fall, part I)), p. 757–764. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1476589.1476686>.
- SUTHERLAND, I. E. A head-mounted three dimensional display. In: ACM. *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*. [S.l.], 1968. p. 757–764.
- TEIXEIRA, F. *O que é o SUS (System Usability Scale) e como usá-lo em seu site*. 2013. Disponível em: <https://brasil.uxdesign.cc/o-que-%C3%A9-o-sus-system-usability-scale-e-como-us%C3%A1-lo-em-seu-site-6d63224481c8>.
- TENÓRIO, J. M. et al. Desenvolvimento e avaliação de um protocolo eletrônico para atendimento e monitoramento do paciente com doença celíaca. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, v. 17, n. 2, p. 210–220, 2010.
- TORI, R.; KIRNER, C. Fundamentos de realidade virtual. In: \_\_\_\_\_. *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*. [S.l.]: Belém: SBC, 2006.
- TORI, R. et al. Treinamento odontológico imersivo por meio de realidade virtual. In: *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*. [S.l.: s.n.], 2016. v. 27, n. 1, p. 400.
- TSARAMIRSIS, G. et al. Towards simulation of the classroom learning experience: Virtual reality approach. In: . [s.n.], 2016. p. 1343–1346. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84997471051&partnerID=40&md5=83a5367da13bd1f4031106562393fc6b>.
- TSUDA, M. et al. Análise de métodos de avaliação de jogos educacionais. *Proceedings of XIII SBGames*, p. 12–14, 2014.
- USOH, M. et al. Walking > walking-in-place > flying, in virtual environments. In: *Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1999. (SIGGRAPH '99), p. 359–364. ISBN 0-201-48560-5. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1145/311535.311589>.
- VALKOV, D. et al. A multi-touch enabled human-transporter metaphor for virtual 3d traveling. In: *2010 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 79–82.
- VICHITVEJPAISAL, P.; YAMEE, N.; MARSERTSRI, P. Firefighting simulation on virtual reality platform. In: . [s.n.], 2016. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85006940249&doi=10.1109%2fJCSSE.2016.7748912&partnerID=40&md5=1c7f17ba248b566ea2bfd5769b178245>.
- VILLAGRASA, S.; FONSECA, D.; DURÁN, J. Teaching case: applying gamification techniques and virtual reality for learning building engineering 3d arts. In: ACM. *Proceedings of the second international conference on technological ecosystems for enhancing multiculturalism*. [S.l.], 2014. p. 171–177.

WILKES, C.; BOWMAN, D. A. Advantages of velocity-based scaling for distant 3d manipulation. In: *Proceedings of the 2008 ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. New York, NY, USA: ACM, 2008. (VRST '08), p. 23–29. ISBN 978-1-59593-951-7. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1450579.1450585>).

WILSON, P. T. et al. Vr locomotion: Walking > walking in place > arm swinging. In: *Proceedings of the 15th ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry - Volume 1*. New York, NY, USA: ACM, 2016. (VRCAI '16), p. 243–249. ISBN 978-1-4503-4692-4. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/3013971.3014010>).

XU, X. et al. The accuracy of the oculus rift virtual reality head-mounted display during cervical spine mobility measurement. *Journal of biomechanics*, Elsevier, v. 48, n. 4, p. 721–724, 2015.

YANG, K.-J. et al. Application of google cardboard in fire hazard simulation. In: CITESEER. *Proc. 36th Asian Conference on Remote Sensing*. [S.l.], 2015.

YANG, K.-J. et al. Application of google cardboard in fire hazard simulation. In: . [s.n.], 2015. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84963995260&partnerID=40&md5=ecc070c559c93d84bb577bc6ed5a0d5e>).

YIN, R. K. *Estudo de Caso-: Planejamento e Métodos*. [S.l.]: Bookman editora, 2015.

ZHANG, F. et al. Double hand-gesture interaction for walk-through in vr environment. In: IEEE. *Computer and Information Science (ICIS), 2017 IEEE/ACIS 16th International Conference on*. [S.l.], 2017. p. 539–544.

# GLOSSÁRIO

---

---

**ACM** – *Association for Computing Machinery*

**AV** – *Ambiente Virtual*

**CRT** – *Cathodic Ray Tube*

**DOF** – *Degrees Of Freedom*

**HMD** – *Head-mounted display*

**IEEE** – *Institute of Electrical and Electronic Engineers*

**IHC** – *Interação Humano-Computador*

**LCD** – *Liquid Crystal Display*

**MV** – *Mundo Virtual*

**RA** – *Realidade Aumentada*

**RBIE** – *Revista Brasileira de Informática na Educação*

**RV** – *Realidade Virtual*

**SBIE** – *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*

**SVR** – *Symposium on Virtual and Augmented Reality*

**WIP** – *Walking In Place*

# **Anexo A**

## **PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA DA UFSCAR**

---

---

O parecer do comitê está em anexo na próxima página.



## PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** AVALIAÇÃO DE INTERAÇÃO COM REALIDADE VIRTUAL DE BAIXO CUSTO EM UM JOGO EDUCACIONAL DE SIMULAÇÃO 3D

**Pesquisador:** LAYON MARTINS FONSECA

**Área Temática:**

**Versão:** 1

**CAAE:** 79744117.1.0000.5504

**Instituição Proponente:** Departamento de Computação

**Patrocinador Principal:** MINISTERIO DA CIENCIA, TECNOLOGIA E INOVACAO

### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 2.485.252

#### **Apresentação do Projeto:**

A Realidade Virtual (RV) tem colaborado não só com o entretenimento, mas com a área de saúde, educação entre outras. A técnica de interação com dispositivos de RV de baixo custo tem um fator muito importante no contexto educacional, pois assim há um maior acesso a essa tecnologia. Entretanto, ainda existe uma falta de estudo que analisam especificamente as técnicas e dispositivos de baixo custo em RV. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar diferentes técnicas de interação por meio de um experimento com um jogo educacional (LabTecA), do gênero "Adventure Game" que simula um laboratório real de química analítica, em desenvolvimento no Laboratório de Objetos de Aprendizagem - LOA da UFSCar. Dessa forma, esta pesquisa tem como intuito colaborar com estudos que visam a interação de jogos de simulação 3D do mesmo gênero utilizando óculos de RV.

#### **Objetivo da Pesquisa:**

Realizar um estudo para levantar as potencialidades destes dispositivos e técnicas de interação, identificando suas vantagens em relação a sistemas tradicionais não-RV. Por fim, pretende-se apresentar as vantagens e desvantagens do seu uso e propor um conjunto de recomendações para a criação de jogos educacionais de simulação 3D com óculos de RV de baixo custo.

#### **Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Riscos e benefícios são apresentados, assim como as ações para reduzir os riscos.

**Endereço:** WASHINGTON LUIZ KM 235

**Bairro:** JARDIM GUANABARA

**UF:** SP

**Município:** SAO CARLOS

**CEP:** 13.565-905

**Telefone:** (16)3351-9683

**E-mail:** cephumanos@ufscar.br



Continuação do Parecer: 2.485.252

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

A pesquisa é atual e academicamente relevante.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

O termo é apresentado e contém todas as informações pertinentes.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Não há pendências.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1000824.pdf	27/10/2017 21:48:59		Aceito
Folha de Rosto	FolhadeRosto_Assinada.pdf	27/10/2017 09:53:40	LAYON MARTINS FONSECA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	CartaAutorizacao_Objetivo.jpg	27/10/2017 09:51:21	LAYON MARTINS FONSECA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	CartaAutorizacao_Etep.jpg	27/10/2017 09:51:05	LAYON MARTINS FONSECA	Aceito
Recurso Anexado pelo Pesquisador	Questionario.pdf	27/10/2017 09:49:09	LAYON MARTINS FONSECA	Aceito
Outros	Entrevista_Final.pdf	27/10/2017 09:48:05	LAYON MARTINS FONSECA	Aceito
Outros	Entrevista_Inicial.pdf	27/10/2017 09:47:36	LAYON MARTINS FONSECA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	27/10/2017 09:45:37	LAYON MARTINS FONSECA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetoDetalhado.pdf	26/10/2017 19:34:10	LAYON MARTINS FONSECA	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

**Endereço:** WASHINGTON LUIZ KM 235

**Bairro:** JARDIM GUANABARA

**CEP:** 13.565-905

**UF:** SP

**Município:** SAO CARLOS

**Telefone:** (16)3351-9683

**E-mail:** cephumanos@ufscar.br

# Apendice A

## ENTREVISTA INICIAL

---

---

1. Nome:
2. Grupo:  1 -  2 -  3
3. Sexo:  Masculino -  Feminino
4. Idade:
5. Cursando:  Ensino médio -  Técnico
6. Curso:
7. Escola/Faculdade:
8. Qual o seu contato com recursos tecnológicos (computadores, *tablets*, *smartphones*, etc)?
  - Utilizo diariamente
  - Utilizo semanalmente
  - Raramente utilizo
  - Nunca utilizo
9. Qual o seu contato com jogos digitais (video games, *tablets*, *smartphones*, etc)?
  - Jogo diariamente
  - Jogo ocasionalmente
  - Raramente jogo
  - Nunca jogo

- 
10. Qual o seu contato com jogos 3D (Primeira Pessoa)?
- Jogo diariamente
  - Jogo ocasionalmente
  - Raramente jogo
  - Nunca jogo
11. Qual tipo de controle você costuma utilizar para jogar?
- Teclado e mouse
  - Joystick*
  - Jogo pelo celular ou *tablet*
  - Não jogo
12. Utiliza algum outro tipo de controle? Qual?
13. Qual o seu contato com Realidade Virtual?
- Utilizo diariamente
  - Utilizo semanalmente
  - Raramente utilizo
  - Utilizei uma vez
  - Nunca utilizo
14. Tem algum problema de saúde (labirintite, dores de cabeça, dor nos olhos)?

# Apendice B

## TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - TCLE

---

---

A Realidade Virtual – RV é uma tecnologia na computação que fornece ao usuário a possibilidade de “estar” em outros lugares sem precisar sair do seu local atual por meio de uma visualização tridimensional. Basicamente ela “engana” os sentidos humanos, principalmente a visão, dando um nível de imersão e interação que tornam possível esta experiência. A RV tem apresentado um resultado muito positivo quando aplicada à educação, melhorando a aprendizagem, interesse e desempenho dos alunos. Nos últimos anos, com o advento dos óculos de RV de baixo custo, houve um aumento de demandas por pesquisas nesta área e desenvolvimento de novos dispositivos de RV.

Uma característica muito importante na RV é sua interação, sendo que o usuário é capaz de se locomover, selecionar e manipular objetivos dentro de um ambiente virtual tridimensional.

Este presente estudo tem o objetivo de avaliar algumas diferentes técnicas de interação com RV de baixo custo. A fim de contribuir com as pesquisas em RV, especialmente para o contexto educacional e propor diretrizes para desenvolvimentos de novos jogos educacionais de simulação 3D. Basicamente este experimento irá avaliar a imersão, usabilidade e o conforto entre três versões diferentes de um jogo educacional. Uma versão tradicional (com interação por teclado, mouse e monitor comum) com outras duas versões com óculos de RV.

Você está sendo convidado para participar desta pesquisa por ter o perfil do público-alvo (estudantes do ensino médio, técnico e graduação). Primeiramente você será convidado a responder uma entrevista semi-estruturada de 14 questões, com duração de aproximadamente 10 minutos, a fim de identificar seu perfil e grau de conhecimento sobre as tecnologias abordadas.

Em uma sala fornecida pela escola, você irá jogar as três versões do jogo e logo após responder um questionário objetivo de 34 questões, com suas observações sobre o jogo. Depois dos três testes, você irá responder um questionário final com 9 questões com duração de aproximadamente 10 minutos. É preciso que você esteja ciente que a utilização do óculos de RV possa gerar algum desconforto e/ou mal-estar. Para reduzir essa possibilidade, a avaliação de cada versão terá duração de até 30 minutos e poderão ser realizadas em dias diferentes para evitar o cansaço caso for de seu desejo. Além disso, você poderá desistir de participar da pesquisa a qualquer momento.

Sua participação nessa pesquisa auxiliará na obtenção de dados que poderão ser utilizados para fins científicos, proporcionando maiores informações e discussões que poderão trazer benefícios para a área de Interação com RV.

Sua participação é voluntária e não haverá compensação em dinheiro. Sua recusa ou desistência não lhe trará nenhum prejuízo profissional, seja em sua relação ao pesquisador, à instituição em que trabalha.

Todas as informações obtidas através da pesquisa serão confidenciais, sendo assegurado o sigilo sobre sua participação em todas as etapas do estudo. Você receberá uma via deste termo e poderá tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação agora ou a qualquer momento entrando em contato com o pesquisador.

Declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios de minha participação na pesquisa e concordo em participar. Pesquisador Responsável: Layon Martins Fonseca Telefone: +55 (35) 99744-7662 E-mail: layonmartins03@gmail.com

Local e data: \_\_\_\_\_

Nome do Pesquisador: \_\_\_\_\_

Nome do Participante: \_\_\_\_\_

Assinatura do Pesquisador: \_\_\_\_\_

Assinatura do Participante: \_\_\_\_\_

# Apendice C

## QUESTIONÁRIO

---

---

1. Nome:
2. Versão do jogo: ( ) V1 *desktop* - ( ) V2 RV - ( ) V3 RV + *joystick*.
3. Tempo de jogo em minutos:

**Questões relativas a imersão em uma escala: Fraco 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 Forte.**

5. Eu esqueci do tempo enquanto jogava?
6. Eu me esqueci das coisas ao meu redor enquanto jogava?
7. Eu me esqueci temporariamente das preocupações do meu dia a dia enquanto jogava?
8. Eu experimentei uma alteração na noção do tempo?

**Questões relativas usabilidade em uma escala: Pouco 1 - 2 - 3 - 4 - 5 Muito.**

9. Eu acho que gostaria de usar esse jogo mais vezes?
10. Eu achei o jogo desnecessariamente complexo?
11. Eu achei o jogo fácil de usar?
12. Eu achei que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o jogo?
13. Eu achei que as várias funções do jogo estão muito bem integradas? (Funciona com fluidez/sem erros)

14. Eu achei que o jogo apresenta muita inconsistência?
15. Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse jogo rapidamente?
16. Eu achei o jogo atrapalhado de usar?
17. Eu me senti confiante ao usar o jogo?
18. Eu precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o jogo?

**Questões relativas ao conforto em uma escala: Nenhum 0 - 1 - 2 - 3 Muito.**

19. Desconforto em geral?
20. Fadiga?
21. Dor de cabeça?
22. Vista Cansada?
23. Dificuldade em focar?
24. Aumento de Salivação?
25. Suor?
26. Náusea/Enjoo?
27. Dificuldade de concentração?
28. Cabeça cheia/pesada?
29. Visão borrada/Embaçada?
30. Tontura com olhos abertos e fechados?
31. Vertigem?
32. Desconforto abdominal?
33. Arroto/Soluço?
34. Outro? Qual?

# Apendice D

## ENTREVISTA FINAL

---

---

1. Nome:
2. Comente o que você achou de participar do teste:
3. Qual versão do jogo você achou mais imersiva? Por quê?
  - Versão 1 - *Desktop*
  - Versão 2 - *RV*
  - Versão 3 - *RV + Joystick*
4. Qual versão do jogo você achou mais fácil de interagir? Por quê?
  - Versão 1 - *Desktop*
  - Versão 2 - *RV*
  - Versão 3 - *RV + Joystick*
5. Qual versão do jogo te trouxe mais conforto ao jogar? Por quê?
  - Versão 1 - *Desktop*
  - Versão 2 - *RV*
  - Versão 3 - *RV + Joystick*
6. Qual versão do jogo você preferiria utilizar para aprender? Por quê?
  - Versão 1 - *Desktop*
  - Versão 2 - *RV*

Versão 3 - RV + *Joystick*

7. Qual versão do jogo você preferiu para se locomover? Por quê?

Versão 1 - *Desktop*

Versão 2 - RV

Versão 3 - RV + *Joystick*

8. Você teria alguma sugestão de melhora sobre a forma de interação de cada versão?

9. Algum comentário?

# Apendice E

## ROTEIRO DO EXPERIMENTO

---

---

1. Se apresentar e explicar o motivo do experimento;
2. Apresentar o TCLE ao participante, deixar claro que é o jogo que está sendo avaliado;
3. Fazer a entrevista inicial;
4. Assistir a introdução do jogo;
5. Fazer as explicações sobre o jogo;
6. Iniciar o teste;
7. Responder o questionário e poder rever as respostas anteriores;
8. Refazer os passos 6 a 7 para as outras duas versões, de acordo o grupo;
9. Fazer a entrevista final e agradecer a participação.

### **Explicações do jogo**

- Você tem três ferramentas para te ajudar no jogo: **Tablet** (onde está a descrição do desafio), **Mapa** (onde você pode ver a sua localização e a localização de cada equipamento) e **Inventário** (que contém as vidrarias, reagentes e produtos de química);
- Fique atento, movimente-se e olhe sempre ao seu redor para encontrar as opções;
- Fale em voz alta o que você está pensando no jogo;
- Você pode desistir quando quiser, caso estiver muito cansado, tontura/náusea etc;

- Você entendeu? Pode tentar repetir? Alguma dúvida? Durante o teste não poderei falar com você.

### **Ajustes**

- Mostrar ao participante quais botões ou teclas devem ser pressionadas;
- Ajustar o óculos na melhor posição e conforto ou o participante no computador;
- Ajustar o foco, distância entre os olhos e volume;
- Ficar em pé nas versões RV e sentado na *desktop*;

### **Observações**

- Durante o teste não conversar com o participante;
- Caso o participante esteja travando muito tempo, mais de 20 minutos em uma mesma tarefa fornecer algumas instruções para ajudar e anotar no questionário;
- Caso o participante demorar mais de 30 minutos em uma versão, interromper o teste e anotar no questionário informando que não conseguiu concluir. Depois disso continue o teste com a próxima versão;
- Responder apenas algumas dúvidas relacionada a química.