UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

SAHRA KAROLINA GOMES E SILVA

Um modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade para sistemas de realidade virtual estereoscópicos

São Paulo
2017

SAHRA KAROLINA GOMES E SILVA

Um modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade para sistemas de realidade virtual estereoscópicos

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Sistemas de Informação.

Área de concentração: Metodologia e Técnicas da Computação

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 14 de dezembro de 2016. A versão original encontra-se em acervo reservado na Biblioteca da EACH-USP e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD), de acordo com a Resolução CoPGr 6018, de 13 de outubro de 2011.

Orientador: Prof.ª Dra. Fátima de Lourdes dos Santos Nunes Marques

São Paulo

2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO
(Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Biblioteca)

Silva, Sahra Karolina Gomes e
Um modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade para sistemas de realidade virtual estereoscópicos / Sahra Karolina Gomes e Silva ; orientadora, Fátima de Lourdes dos Santos Nunes Marques. – São Paulo, 2017
150 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Informação, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo em 2016
Versão corrigida

1. Realidade virtual. 2. Estereoscopia. 3. Terceira dimensão. 4. Percepção visual. I. Marques, Fátima de Lourdes dos Santos Nunes, orient. II. Título

CDD 22.ed.– 006.8

Dissertação de autoria de Sahra Karolina Gomes e Silva, sob o título **"Um modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade para sistemas de realidade virtual estereoscópicos"**, apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Sistemas de Informação, na área de concentração Metodologia e Técnicas da Computação, aprovada em 14 de dezembro de 2016 pela comissão julgadora constituída pelos doutores:

Prof. Dr.ª Fátima de Lourdes dos Santos Nunes Marques

Instituição: EACH-USP

Presidente

Prof. Dr.ª Patrícia Rufino Oliveira

Instituição: EACH-USP

Prof. Dr. Romero Tori

Instituição: Poli-USP

Prof. Dr.ª Rosa Maria Esteves Moreira da Costa

Instituição: IME-UERJ

Dedico este trabalho aos meus pais Abel e Cléa

Agradecimentos

Quero agradecer enormemente todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram em mais essa etapa da minha vida. Os desafios foram diversos, mas muita coisa aprendi durante esse mestrado... que não se deve sentir-se mal por vezes ter que mostrar-se leigo em algum assunto, ou ter que ouvir críticas e rejeições, pois nunca se deve levar para o lado pessoal... que muitas vezes se pensa "mestrado não é pra mim", "eu nem gosto mais", "fico com tanto medo quando chega e-mail na minha caixa de entrada que nem quero olhar"... vem o nervosismo, o medo de falhar, sente-se tão perdido... É preciso de alguma forma trabalhar isso, reconhecer que acontece com muitos pós-graduandos, reconhecer que haverá momentos que não se irá gostar e que será difícil, para que então venha a oportunidade de viver momentos incríveis em que se perceberá que é exatamente onde se quer estar.

Muitas vezes não temos controle de certas decisões durante a vida acadêmica, mas a única coisa que se tem controle é o esforço que se coloca em tudo o que se faz, seja estudando, participando de eventos, seguindo dicas de professores por quem se têm admiração, mas é preciso, sobretudo, aproveitar outras áreas da vida, com experiências não acadêmicas. É muito importante também encontrar voz própria e ter confiança nessa voz, pois ela é singular, capaz de trazer perspectivas e pontos de vistas únicos. Por isso, por mais que chegar até aqui já seja uma conquista maravilhosa, sinto que ainda tenho muito mais o que conquistar com meu próprio esforço e ajuda de muitos. Aqui deixo o meu mais sincero agradecimento...

À professora Fátima Nunes, minha orientadora, quem me guiou, me incentivou e motivou, por toda sua paciência comigo e seus ensinamentos sempre riquíssimos;

Ao professor Marcelo Lauretto, sempre atencioso, pelo auxílio, paciência e por compartilhar seu conhecimento, enriquecendo este trabalho;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ - Processo: 384707/2014-9) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Medicina Assistida por Computação Científica (INCT-MACC) e à CAPES pelo apoio financeiro;

Aos meus pais José Abel e Cléa Gomes e meus irmãos Abel Filho e Isabel Gomes por acreditarem em mim e apoiarem as minhas escolhas;

Aos amigos do LApIS Frederico Barbosa, Cléber Gimenez, Lucas Alves, Rafael Torres, Liseth Urpy, Nancy Huaman, Leonardo Silva, Rafael Testa, Renan Aranha e Jéssica

Santos pela amizade e por sempre compartilhar conhecimentos e experiências do meio acadêmico;

Em especial ao Cléber Gimenez pelo seu auxílio e por sempre me incentivar, que por vezes me fazia repensar e dar continuidade a este trabalho;

Ao Gustavo Z. Wang, do Interlab, por ter dedicado seu tempo e esforço para disponibilizar software para testes, por sua paciência e auxílio;

Mais do que especial, agradeço ao meu namorado Lucas Alves, íntegro e companheiro, pela sua dedicação, carinho, apoio, compreensão e incentivo dado para que eu concluísse essa etapa;

Aos meus sogros Ivanildo Souza e Márcia Regina e minha cunhada Bruna Alves, que já fazem parte da minha amada família, pelo apoio e pelos conselhos.

Aos amigos do GRIA Gleydson Silva e Rodolfo Simões pela amizade, pelos conselhos, pelos momentos de descontração, pelo carinho e por serem pessoas com quem posso sempre contar;

Aos meus amigos abraçados ao SAEG Danielle Monteiro, Fernanda Amâncio, Natália Oliveira, Williane Rodrigues, Nayana Abreu, William Rosendo, Victor Jatobá, Paulo Franco, Maria Eduarda e Henrique Cardoso pelas visitas para o café da tarde, pelos momentos de descontração e por me proporcionarem amizade quando eu mais precisava;

Em especial à minha amiga Danielle Monteiro, por ser sempre tão querida e cuidar da minha gata Lady Maria;

Às minhas amigas do CRUSP Fátima Silveira, Karine Julião, Isadora de Oliveira e Sheila Serafim pela amizade, pela irmandade, por compartilhar diversos momentos de descontração, pelo incentivo e força;

Às minhas amigas REALLY Andréia Rocha e Bárbara Marques, pela amizade, por sempre enxergarem o melhor de mim, pelo incentivo e pelos mais valiosos conselhos;

Às minhas amigas SCs Rosany Rufino, Cicília Lustosa, Katharine Osterno, Andressa Viana, Ítala Nunes e Nayla Furtado pela amizade, pelo esforço de sempre manter o grupo unido e por sempre lembrarem de mim, independente da distância;

Essa jornada chega ao fim e eu divido essa conquista com vocês com muita felicidade.

"Se podes olhar, vê. Se podes ver, repara."

(José Saramago)

Resumo

SILVA, Sahra Karolina Gomes e. **Um modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade para sistemas de realidade virtual estereoscópicos**. 2017. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

Ambientes virtuais tridimensionais imersivos são frequentemente utilizados como apoio às estratégias de treinamento ou educação conduzidas em ambientes reais. Técnicas estereoscópicas como as de anaglifos, obturação e polarização da luz são recursos que oferecem a sensação de imersão nesses ambientes virtuais. É crescente o interesse em pesquisas acerca de como os humanos percebem o espaço e interagem em ambientes virtuais, investigando como componentes de sistemas imersivos afetam a percepção humana. Essa percepção é importante para várias tarefas, como mover objetos e identificar estruturas, que requerem a interpretação e entendimento das informações do espaço. Apesar de tal interesse, não são encontrados na literatura modelos de mensuração de tal percepção. Este cenário constitui um desafio no que concerne à necessidade de criação de modelos para mensurar, independentemente da aplicação, a percepção da tridimensionalidade proporcionada pelas técnicas estereoscópicas citadas. Este projeto de mestrado define, implementa e valida um modelo extensível capaz de avaliar a percepção da tridimensionalidade em sistemas de realidade virtual estereoscópicos no contexto de ambientes que envolvem interação com manipulação de objetos. O escopo da presente pesquisa foi definido mediante a realização de uma Revisão Sistemática, que identificou métodos e parâmetros utilizados na avaliação de ambientes estereoscópicos. Para atingir os objetivos deste trabalho, foram conduzidos experimentos que serviram de base para a definição do modelo. Os resultados dos experimentos indicaram que o modelo elaborado é capaz de compor um veredicto sobre a percepção de tridimensionalidade fornecida por uma técnica, assim como auxiliar na tomada de decisões acerca da utilização de técnicas estereoscópicas em sistemas de RV.

Palavras-chaves: Percepção humana. Tridimensionalidade. Técnicas estereoscópicas. Modelo de avaliação.

Abstract

SILVA, Sahra Karolina Gomes e. **An evaluation model of three-dimensionality perception for virtual reality stereoscopic systems**. 2017. 150 p. Dissertation (Master of Science) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2016.

Three-Dimensional immersive virtual environments are often used as support for training strategies or education conducted in real environments. Stereoscopic techniques such as anaglyph, shutter glasses and polarized glasses can offer a sense of immersion in these virtual environments. There is a growing interest in research how humans perceive space and interact in virtual environments, investigating how components of immersive systems affect different understanding of space in virtual reality systems. This perception is important for various tasks, such as moving objects and identify structures that require interpretation and understanding of space information. This scenario is a challenge regarding the establishment of models to measure, independently of the application, the perception of three-dimensionality provided by the stereoscopic techniques cited. This master project defines and validates an extensible model able to evaluate the three-dimensionality perception in different virtual reality systems with stereoscopy that involves objects manipulation. The scope of this study was defined with a systematic review that identified methods and parameters used to assess stereoscopic environments. To achieve the objectives of this study, experiments was conducted as the basis to define the model. The results of the experiments indicated that the model developed is able to set a verdict about three-dimensionality perception provided by a stereoscopic technique and assist decision-making regarding the use of stereoscopic techniques in VR systems.

Keywords: Human perception. Three-dimensionality. Stereoscopic techniques. Evaluation model.

Lista de figuras

Figura 1 – Representação de perspectiva 23
Figura 2 – Representação de iluminação 24
Figura 3 – Representação de oclusão 24
Figura 4 – Representação de sombra 24
Figura 5 – Representação de textura 25
Figura 6 – Representação de disparidade 25
Figura 7 – Paralaxe 26
Figura 8 – Estereograma 27
Figura 9 – Imagens para a técnica filtragem de cores 28
Figura 10 – Óculos para técnica filtragem de cores 28
Figura 11 – Distância por espectro de cores 29
Figura 12 – Técnica chromaDepth 29
Figura 13 – Técnica colorCode 30
Figura 14 – Polarização vertical da luz 30
Figura 15 – Exemplo de óculos polarizado 31
Figura 16 – Esquema para visualização com óculos polarizados 31
Figura 17 – *Shutter glasses* 32
Figura 18 – Esquema para visualização com *shutter glasses* 32
Figura 19 – Esquema de um HMD 33
Figura 20 – Exemplo de HMD: Oculus Rift 33
Figura 21 – Esquema de autoestereoscopia 34
Figura 22 – Monitor 3D autoestereoscópico 34
Figura 23 – Seleção dos trabalhos 36
Figura 24 – Porcentagem de artigos publicados em cada ano 44
Figura 25 – Porcentagem de trabalhos considerando parâmetro e efeito avaliado . . 45
Figura 26 – Porcentagem de trabalhos considerando técnica e efeito avaliado 46
Figura 27 – Porcentagem de trabalhos por método de avaliação 49
Figura 28 – Porcentagem de trabalhos considerando método de avaliação e técnica utilizada 49

Figura 29 – Porcentagem de trabalhos considerando método de avaliação e efeito avaliado 50
Figura 30 – Porcentagem de trabalhos por técnica de análise de dados 50
Figura 31 – Porcentagem de trabalhos considerando métrica e método de avaliação 51
Figura 32 – Estrutura da metodologia adotada 58
Figura 33 – Ambientes de avaliação para o experimento exploratório com técnicas estereoscópicas no simulador 61
Figura 34 – Ambientes de avaliação para o experimento exploratório com técnicas estereoscópicas no jogo 61
Figura 35 – Voluntário participando da avaliação do simulador com *shutter glasses* 62
Figura 36 – Voluntário participando da avaliação do jogo com anaglifo colorido . . 62
Figura 37 – Cenas das configurações de parâmetros no simulador 64
Figura 38 – Cenas das configurações de parâmetros no jogo 64
Figura 39 – Estrutura do modelo de avaliação 70
Figura 40 – Fluxograma para análise matemática e estatística do modelo de avaliação 72
Figura 41 – Gráfico do veredicto 78
Figura 42 – Análise de métricas para o Simulador 81
Figura 43 – Análise de métricas para o Jogo 82
Figura 44 – Métricas por técnica - Simulador 83
Figura 45 – Métricas por técnica - Jogo 83

Lista de tabelas

Tabela 1 – Parâmetros selecionados pelos trabalhos incluídos na RS 37
Tabela 2 – Métricas selecionadas pelos trabalhos incluídos na RS 42
Tabela 3 – Configurações de parâmetros para o simulador 63
Tabela 4 – Configurações de parâmetros para o jogo 63
Tabela 5 – Simulação de desempenho em um dado experimento 74
Tabela 6 – Simulação de notas do questionário para um dado experimento 74
Tabela 7 – Resultado do teste de permutação de Fisher para os dados objetivos do exemplo 75
Tabela 8 – Resultado do teste de permutação de Fisher para os dados subjetivos do exemplo 75
Tabela 9 – Resultados do teste de permutação de Fisher para os dados objetivos comparando técnicas estereoscópicas no Simulador 84
Tabela 10 – Resultados do teste de permutação de Fisher para os dados objetivos comparando técnicas estereoscópicas no Jogo 84
Tabela 11 – Resultados do teste de permutação de Fisher para os dados subjetivos comparando técnicas estereoscópicas no Simulador 85
Tabela 12 – Resultados do teste de permutação de Fisher para os dados subjetivos comparando técnicas estereoscópicas no Jogo 86
Tabela 13 – Resultado geral 88
Tabela 14 – Trabalhos incluídos na RS 114
Tabela 15 – Resumo dos resultados para os óculos anaglifo verdadeiro - avaliação com o simulador “VIDA Odonto” 129
Tabela 16 – Resumo dos resultados para os óculos anaglifo colorido - avaliação com o simulador “VIDA Odonto” 130
Tabela 17 – Resumo dos resultados para os *shutter glasses* - avaliação com o simulador “VIDA Odonto” 131
Tabela 18 – Resultados do teste de *Friedman* para comparações entre técnicas no Simulador 132
Tabela 19 – Resultados do teste de *Wilcoxon* para comparações entre técnicas no Simulador 132

Tabela 20 – Resumo dos resultados para os óculos anaglifo verdadeiro - avaliação com o jogo “Esquilo Corredor 3D” 133
Tabela 21 – Resumo dos resultados para os óculos anaglifo colorido - avaliação com o jogo “Esquilo Corredor 3D” 134
Tabela 22 – Resumo dos resultados para os *shutter glasses* - avaliação com o jogo “Esquilo Corredor 3D” 134
Tabela 23 – Resultados do teste de *Friedman* para comparações entre técnicas no Jogo 134
Tabela 24 – Resultados do teste de *Wilcoxon* para comparações entre técnicas no Jogo 135

Lista de abreviaturas e siglas

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
ANOVA	*Analysis of Variance*
AV	Ambiente Virtual
AVI	Ambientes Virtual Imersivo
CAVE	*Cave Automatic Virtual Environment*
EVA	Etil Vinil Acetílico
FOB	Faculdade de Odontologia de Bauru
HMD	*Head Mounted Display*
Interlab	Laboratório de Tecnologias Interativas
LApIS	Laboratório de Aplicações de Informática em Saúde
LaSiT	Laboratório de Simulação e Treinamento
LCD	*Liquid Crystal Display*
OLED	*Organic Light-Emitting Diode*
PPgSI	Programa de Pós-graduação em Sistemas de Informação
RS	Revisão Sistemática
RV	Realidade Virtual
StArt	*State of the Art through Systematic Review*
SVR	Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
USP	Universidade de São Paulo

Sumário

1 Introdução . . . 18

1.1 Motivação . . . 20

1.2 Objetivos . . . 20

1.3 Organização do documento . . . 21

2 Estereoscopia . . . 22

2.1 Princípios da visão tridimensional . . . 22

2.2 Técnicas estereoscópicas . . . 25

2.2.1 Filtragem de cores . . . 27

2.2.2 Polarização da luz . . . 30

2.2.3 Obturação da luz . . . 31

2.2.4 Autoestereoscopia . . . 33

2.3 Considerações finais do capítulo . . . 34

3 Avaliação da percepção de tridimensionalidade . . . 35

3.1 Planejamento da revisão sistemática . . . 35

3.1.1 Condução e extração de dados . . . 36

3.2 Resultados da revisão sistemática . . . 37

3.2.1 Efeitos avaliados . . . 44

3.2.2 Métodos de avaliação . . . 48

3.3 Discussão sobre a revisão sistemática . . . 55

3.4 Considerações finais do capítulo . . . 56

4 Desenvolvimento do modelo para avaliar a percepção de tridimensionalidade em AVs 3D estereoscópicos . . . 58

4.1 Definição preliminar do modelo de avaliação . . . 59

4.1.1 Preparação do experimento exploratório . . . 60

4.1.2 Condução do experimento exploratório . . . 65

4.2 Definição final do modelo de avaliação . . . 66

4.2.1 Especificação matemática . . . 67

4.3 Considerações finais do capítulo . . . 68

5 Modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade . . . 69
5.1 Preparação do ambiente de avaliação . . . 70
5.2 Avaliação objetiva . . . 70
5.3 Avaliação subjetiva . . . 71
5.4 Análise matemática e estatística . . . 71
5.4.1 Uso do teste de permutação de Fisher . . . 73
5.4.2 Cálculo da nota objetiva . . . 75
5.4.3 Cálculo da nota subjetiva . . . 77
5.5 Composição do veredicto . . . 77

6 Resultados experimentais . . . 80
6.1 Resultado do experimento exploratório . . . 80
6.1.1 Análise descritiva . . . 80
6.1.2 Análise estatística inferencial para o modelo de avaliação . . . 82
6.1.3 Análise com equações matemáticas . . . 86
6.2 Considerações finais do capítulo . . . 88

7 Discussões . . . 90
7.1 Avaliação das técnicas de estereoscopia . . . 90
7.2 Considerações sobre o Modelo proposto . . . 90
7.2.1 Escopo, parâmetros e experimentos . . . 90
7.2.2 Limitações . . . 92
7.3 Vantagens e aplicações do modelo proposto . . . 94

8 Conclusões . . . 96
8.1 Trabalhos futuros . . . 97
8.2 Trabalhos publicados e em elaboração . . . 98

Referências[1] **. . . 99**

Apêndice A – Protocolo da Revisão Sistemática . . . 109

Apêndice B – Extração de informações das publicações incluídas na Revisão Sistemática . . . 113

[1] De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

Apêndice C – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido . 124

Apêndice D – Questionário utilizado no experimento exploratório 127

Apêndice E – Estudo de testes estatísticos 129

Anexo A – Parecer consubstanciado 136

Anexo B – Roteiro do modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade 140

1 Introdução

A Realidade Virtual (RV), segundo Burdea e Coiffet (2003), é uma interface computacional avançada que envolve simulação e interações em tempo real, por meio de canais multissensoriais. Essa simulação ocorre por intermédio do uso de diversos dispositivos computacionais de entrada/saída como, por exemplo, dispositivos de visualização tridimensional (3D) estereoscópicos, de sensação de toque (dispositivos hápticos) e de captura dos movimentos dos usuários (rastreadores). A RV tem despertado crescente interesse para pesquisa e desenvolvimento nas áreas de saúde, educação, jogos e entretenimento, pois possibilita visualização 3D de imagens, interação em tempo real e simulação de fenômenos complexos. Em algumas simulações, a imersão, isto é, a sensação de estar dentro de um Ambiente Virtual (AV), é indispensável para que a aplicação atinja seus objetivos.

Para permitir que o usuário experimente a sensação de imersão em um sistema de RV, é comum o uso de técnicas que geram imagens estereoscópicas a fim de estimular a percepção de profundidade nos Ambientes Virtuais (AVs). Na computação, estereoscopia é qualquer mecanismo capaz de criar a ilusão de uma cena 3D (FAUSTER; WIEN, 2007). A estereoscopia ilude o cérebro humano produzindo artificialmente duas visões, uma para o olho direito e uma para o olho esquerdo. O cérebro humano interpreta as duas imagens recebidas como um objeto 3D, possibilitando a sensação de percepção de profundidade em dispositivos de projeção bidimensionais (KIRNER; SISCOUTTO, 2007).

A visão é um guia importante para a ação em AVs, principalmente no que diz respeito à movimentação no ambiente, tais como andar, pular, apontar ou alcançar, que são geralmente bem calibrados em relação à compreensão espacial em torno do mundo (JONES; SWAN; BOLAS, 2013). A relação entre movimento e visão em AVs estereoscópicos tem sido bastante explorada em diversos estudos nos quais se observam o uso de diferentes métodos ou formas de avaliação. No entanto, geralmente os trabalhos encontrados em uma Revisão Sistemática (RS) da literatura, descrita no capítulo 3, se encaixam em um desses dois grupos: (1) avaliam sistemas específicos com experimentos dentro do contexto do sistema, ou seja, um método específico é construído com o propósito de avaliar um sistema particular; ou (2) propõem avaliações com experimentos específicos, em que sistemas foram desenvolvidos estritamente para investigação da percepção do usuário sobre algum efeito de tridimensionalidade.

São encontrados na literatura estudos que abordam sistemas imersivos preocupados com os aspectos cognitivos dos usuários, o que pode implicar na necessidade de prover características que propiciem sensação de imersão adequada para que o usuário tenha a ilusão de estar dentro da cena. Neste contexto, muitos estudos comparam AVs com diferentes abordagens estereoscópicas, nos quais voluntários realizam tarefas para avaliar distância (GOOCHA, 2005; LIM et al., 2008; NAPIERALSKI et al., 2011; REZAEI; TERAUCHI; KLETTE, 2015), profundidade (BACZYNSKI; BACZYNSKI, 2004; POLLOCK et al., 2012; RAGAN et al., 2013; WANG et al., 2016) e imersão (NACERI et al., 2009; ANTLEY; SLATER, 2011; LAHA; BOWMAN; SOCHA, 2014). Por exemplo, Tomoyose, Sanches e Tori (2009) realizaram um estudo com usuários explorando como a estereoscopia pode contribuir na jogabilidade de um jogo digital imersivo e observaram que alguns participantes mostraram dificuldade para visualizar níveis de profundidade. Porém, os autores concluíram que a estereoscopia em jogos abre um grande potencial ainda a ser explorado. Distância, profundidade e imersão são "efeitos de tridimensionalidade" que trabalhos encontrados na literatura tiveram interesse em avaliar, como exposto no capítulo 3.

Uma maneira de verificar a eficiência de uma técnica estereoscópica é comparar sistemas estereoscópicos com os seus equivalentes monoscópicos (sem estereoscopia). Sob essa abordagem, melhorias significativas em termos de percepção de profundidade foram identificadas na utilização de técnicas estereoscópicas em sistemas médicos envolvendo telenavegação de endoscópios gastrointestinais (LIVATINO et al., 2015). Tais melhorias também foram percebidas em Gruchalla (2004), que avaliou um problema industrial comparando uma mesma aplicação em uma CAVE (do inglês *Cave Automatic Virtual Environment*) e em um *Desktop* sem estereoscopia, considerando a tarefa de criar novos caminhos de planejamento para poços de petróleo.

Apesar do otimismo com o uso de estereoscopia, resultados de outros estudos mostraram que não houve diferenças significativas entre a visualização monoscópica e estereoscópica. Por exemplo, em Baños et al. (2008) destacou-se o estado de ânimo que usuários sentem em AVs, obtido por meio de sons e elementos visuais (sombra, luz, texturas) igualmente usando-se sistemas com visualização com e sem estereoscopia, não tendo sido percebida diferença entre as abordagens. Em McMahan et al. (2006), a visão estereoscópica não se mostrou essencial para tarefas de manipulação de objetos (no qual os participantes tinham que mover objetos 3D até determinados alvos até que houvesse correspondência entre a posição e a orientação desses alvos e dos objetos movidos) e não

forneceu benefício significativo nos experimentos conduzidos. De acordo com Gadia et al. (2009), a estereoscopia parece não ser efetiva se avaliada por si só, mas revela melhores efeitos quando combinada com outros fatores, como sombra, cor, tamanho relativo e textura.

1.1 Motivação

A compreensão e a mensuração da percepção da tridimensionalidade são necessárias para implementar corretamente as aplicações de RV e escolher tecnologias adequadas com base no seu custo ou selecionar a melhor abordagem estereoscópica para um contexto. Portanto, neste cenário é discutida a eficiência de técnicas estereoscópicas para perceber a tridimensionalidade, a contribuição que a estereoscopia pode oferecer para a percepção de tridimensionalidade e como é possível avaliar tal percepção em tais técnicas.

Como mencionado nesta introdução, não há consenso sobre a utilização da estereoscopia em AVs baseados em RV na realização de algumas tarefas e tampouco consenso sobre quais técnicas são adequadas. É possível que, em alguns casos, técnicas de baixo custo tragam benefícios similares a técnicas mais dispendiosas. Assim, é necessário estabelecer modelos capazes de medir a sensação percebida de tridimensionalidade em sistemas de RV que oferecem estereoscopia, que possam ser aplicados para avaliar sistemas diversos dentro de um contexto.

Desta forma, a percepção de tridimensionalidade mencionada neste trabalho será analisada do ponto de vista visual, pois imersão, profundidade e distâncias podem também ser percebidas em casos nos quais a visão não necessariamente é um requisito. A partir do exposto, verifica-se que há uma lacuna a ser preenchida, ao se estudar a avaliação da percepção de tridimensionalidade, sob a ótica da visão, em ambientes estereoscópicos, a fim de se estabelecer um modelo aplicável a sistemas de RV dentro de um contexto.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste projeto é definir, implementar e validar um modelo capaz de avaliar a percepção de tridimensionalidade em sistemas de RV, usando diferentes técnicas de visualização estereoscópica, dentro do contexto de sistemas que envolvem

manipulação no AV por usuários de forma que possam ser coletados taxa de erros (ou acertos) e tempo para completar uma tarefa de manipulação.

Como objetivos específicos do trabalho, são estabelecidos os seguintes:

- disponibilizar um guia objetivo e sistemático que mensure a percepção de tridimensionalidade em AVs 3D estereoscópicos que permitam a interação de manipulação de objetos 3D;
- oferecer uma forma de comparar diferentes técnicas estereoscópicas em um mesmo sistema de RV;
- fornecer auxílio na escolha de uma técnica estereoscópica para um sistema de RV por meio de medição da percepção de distância, profundidade e imersão de usuários;

1.3 Organização do documento

Além desta Introdução, este trabalho está organizado da seguinte forma:

- no capítulo 2 são apresentados os principais tópicos que compõem a base conceitual relacionados à estereoscopia para o desenvolvimento deste trabalho: ambientes virtuais imersivos, princípios da visão tridimensional e as técnicas estereoscópicas atualmente existentes;
- o capítulo 3 contém uma revisão bibliográfica sistemática, elucidando assuntos relativos aos métodos, efeitos, métricas e parâmetros atualmente empregados para avaliar a percepção de tridimensionalidade;
- no capítulo 4 é apresentada a metodologia do trabalho, relatando o procedimento utilizado para definição do modelo de avaliação;
- no capítulo 5 é apresentado o modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade como resultado principal do presente trabalho, explicando as diretrizes para sua aplicação;
- o capítulo 6 apresenta os resultados alcançados;
- o capítulo 7 contém discussões sobre os resultados, evidenciando vantagens e limitações do modelo criado;
- por fim, o capítulo 8 apresenta as considerações finais sobre o trabalho e indica direcionamentos para trabalhos futuros.

2 Estereoscopia

Segundo Slater e Usoh (1993), um Ambiente Virtual Imersivo (AVI) é um ambiente desenvolvido para a interação de um usuário humano com um mundo exibido pelo computador, que fornece, idealmente, todos os insumos sensoriais do mundo externo aos usuários. Existem dispositivos que podem fornecer informações visuais, auditivas e cinestésicas (tato e retorno de força). O usuário humano constrói o mundo ao seu redor por meio da percepção fornecida por esses dispositivos e opera em um espaço virtual estendido, criado para a interação humano-computador. Isso contribui para que o ser humano tenha a sensação de estar em um mundo diferente do que seus corpos reais estão fisicamente localizados. Essa é uma característica indispensável para que muitos sistemas de RV atinjam seus objetivos.

Existem alguns componentes que fornecem informação visual em AVIs, como campo de visão, tamanho e resolução do *display*, estereoscopia, realismo de iluminação, sombra etc. Estereoscopia, em especial, é um mecanismo que propicia o ser humano enxergar tridimensionalmente o mundo ao seu redor (SISCOUTTO et al., 2006). Existem diversas técnicas por meio das quais é possível simular a estereoscopia no computador. De acordo com Tomoyose (2010), estereoscopia é a área do conhecimento que aborda a visão em três dimensões, mas se limita, por definição, apenas às técnicas que possibilitam a reconstituição de uma cena tridimensional observada através de pelo menos dois pontos de vistas distintos, que é a cena reconstituída no cérebro a partir das imagens obtidas pelos olhos. Para melhor entender esta definição, as próximas seções explicam o funcionamento da estereoscopia desde conceitos base à técnicas existentes.

2.1 Princípios da visão tridimensional

Os seres humanos possuem dois olhos que enxergam o mundo a partir de pontos de vista diferentes, pois estão separados por uma distância média de 65 milímetros. Cada olho capta, a partir do seu ponto de vista, uma imagem bidimensional (2D) do mundo. Os olhos humanos podem convergir, de modo a cruzarem seus eixos em qualquer ponto a poucos centímetros à frente do nariz. Podem também divergir ou ficar em paralelo quando se foca algo no infinito (SISCOUTTO et al., 2006). O deslocamento entre as duas imagens (par estéreo) capturadas pelos olhos é processado pelo cérebro, que faz a fusão

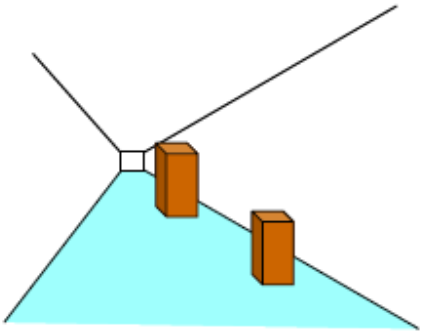
das imagens, de forma a compor uma visão estereoscópica, também chamada de visão binocular, possibilitando a percepção de profundidade.

Contudo, segundo Raposo et al. (2004), a noção de perspectiva, por exemplo, decorre de características próprias do espaço como ângulo de abrangência do campo visual, não sendo condicionada significativamente pela fusão do par estereoscópico. A oclusão facilita a identificação da posição relativa de objetos e, consequentemente, permite perceber qual objeto está mais próximo do ponto de vista. Por meio da iluminação e das sombras é possível perceber a forma e o tamanho dos volumes.

A visão binocular permite que o indivíduo obtenha informações adicionais, como a identificação instantânea da relação espacial entre objetos, concentração do cérebro nos objetos posicionados a uma certa distância de forma a ignorar outras profundidades, possibilidade de reconhecer objetos camuflados sem a necessidade de se mover, percepção da superfície dos materiais e reconhecimento de superfícies curvas. A visão monocular não permite a aferição precisa de distâncias. O sistema visual utiliza vários sinais para inferir a dimensão de profundidade, no entanto, a principal contribuição para esse processo vem da visão estereoscópica (BICAS, 2004; BELTRÃO, 2007; TOMOYOSE, 2010).

Alguns dos sinais que fornecem características tridimensionais em uma cena são explicados por Siscoutto et al. (2006). O primeiro deles é a perspectiva, mecanismo que produz a representação de objetos de mesmo tamanho com tamanhos diferentes em uma imagem plana, dependendo da proximidade do objeto ao observador, fazendo com que objetos fiquem maiores quanto mais próximos do observador estiverem. Pode-se observar na figura 1 que elementos que estão no "fundo" da imagem, que na verdade são maiores que os elementos "mais a frente", são vistos com tamanhos menores na projeção.

Figura 1 – Representação de perspectiva



Fonte: Siscoutto et al. (2006)

A iluminação, aplicada a uma cena, adiciona à imagem uma visualização melhor da forma dos objetos, contribuindo com o aumento do grau de realismo. A figura 2 refere-se à iluminação mostrando dois objetos sem iluminação (Figura 2a) e com a iluminação aplicada sobre eles (2b).

Figura 2 – Representação de iluminação

(a) Sem iluminação (b) Com iluminação

Fonte: Siscoutto et al. (2006)

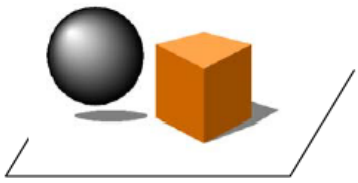
A oclusão esconde partes do objeto ou o objeto inteiro que está atrás de outro e, assim, é possível identificar a ordem dos objetos em termos de distância ao observador. Na figura 3 percebe-se que o cubo está na frente da esfera graças a oclusão na cena.

Figura 3 – Representação de oclusão

Fonte: Siscoutto et al. (2006)

A sombra permite identificar a distância de um objeto a uma superfície. Na figura 4, nota-se que a esfera está a uma distância da sombra, portanto conclui-se que o objeto não está na superfície de apoio. Já o cubo parece estar apoiado na superfície.

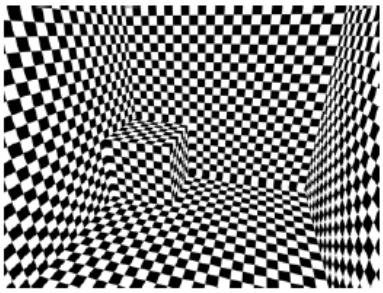
Figura 4 – Representação de sombra



Fonte: Siscoutto et al. (2006)

Há também o gradiente de textura, que está exemplificado na figura 5, na qual pode-se observar que os quadrados brancos e pretos indicam um decrescimento nos tamanhos, indicando pontos onde se projetam algumas direções, definidos como pontos de fuga, fornecendo uma noção de profundidade na imagem.

Figura 5 – Representação de textura

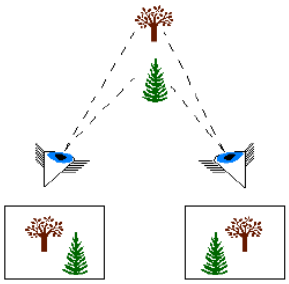


Fonte: Siscoutto et al. (2006)

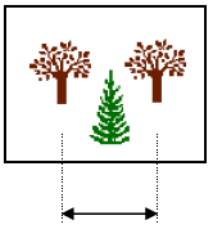
Uma característica da visão tridimensional é a disparidade na retina (Figura 6). Segundo Raposo et al. (2004), a disparidade é o espaçamento entre o mesmo ponto projetado nas duas retinas, consequência imediata da diferença das imagens capturadas pelos dois olhos. Na figura 6a, o olho da esquerda vê a árvore à esquerda do pinheiro, enquanto o olho direito a vê à direita. É feita uma superposição das duas imagens no cérebro, resultando no fenômeno ilustrado na figura 6b.

Figura 6 – Representação de disparidade

(a) Visão da mesma cena pelos dois olhos



(b) Superposição das imagens e a disparidade na retina indicada pelas setas



Fonte: Siscoutto et al. (2006)

Em aplicações de RV, processos artificiais podem contribuir para fornecer ao observador essa sensação de profundidade, descritos na próxima seção.

2.2 Técnicas estereoscópicas

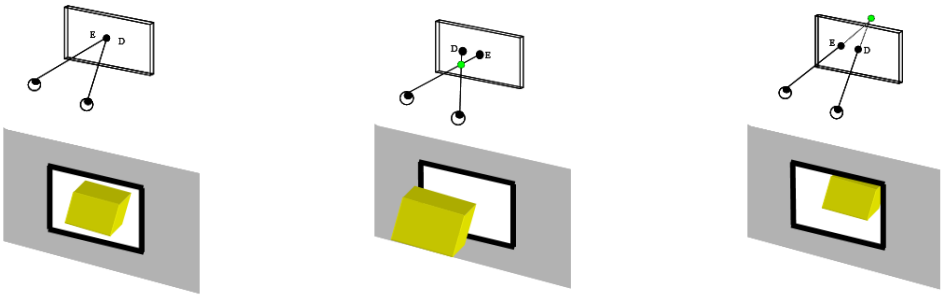
Complementarmente à disparidade, para a geração de estereoscopia, é importante definir o conceito de paralaxe que, para Raposo et al. (2004), é a distância entre os pontos correspondentes das imagens do olho direito e do esquerdo na imagem projetada na tela. Paralaxe e disparidade são similares com a diferença de que a paralaxe é medida na tela

do computador e disparidade, na retina. Portanto, é a paralaxe que produz a disparidade que, por sua vez, produz a estereoscopia.

Existem três tipos de paralaxe: paralaxe zero, paralaxe positiva e paralaxe negativa. Um ponto com paralaxe zero se encontra no plano de projeção, tendo a mesma projeção para os dois olhos (Figura 7a). Paralaxe negativa indica que o cruzamento dos raios de projeção para cada olho encontra-se entre os olhos e a tela de projeção, a ilusão de o objeto estar saindo da tela (Figura 7b). O ponto com paralaxe positiva está atrás do plano de projeção, gerando a sensação de que o objeto está atrás da tela de projeção (Figura 7c).

Figura 7 – Paralaxe

(a) Paralaxe zero (b) Paralaxe negativo (c) Paralaxe positivo



Fonte: Siscoutto et al. (2006)

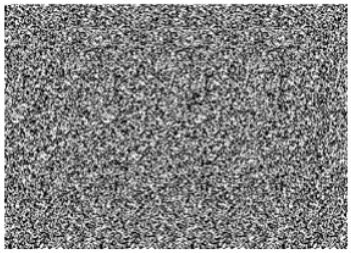
Um par estéreo, de acordo com Tomoyose (2010), é a apresentação de duas imagens lado a lado, que pode ser observado sem auxílio de equipamento. Para visualizar o efeito estereoscópico em um par estéreo é necessário observar as duas imagens convergindo (visão cruzada) ou divergindo (visão paralela) os olhos. Segundo o mesmo autor, estereogramas são imagens 2D que contêm informação estereoscópica oculta nelas. Para encontrar a informação oculta, é necessário juntar a visão dos olhos esquerdo e direito em uma única imagem reajustando as cores dos pixels de modo a manter a coerência entre um pixel de um ponto visto na imagem esquerda com o pixel do mesmo ponto visto na imagem direita. Tomoyose (2010) explica que o resultado final do estereograma torna-se uma imagem com pontos aleatórios ou alguma espécie de textura, como os exemplos nas figuras 8a e 8b, respectivamente.

Portanto, o princípio de funcionamento da maioria das abordagens estereoscópicas é o oferecimento de duas imagens distintas aos olhos esquerdo e direito do observador (SISCOUTTO et al., 2006).

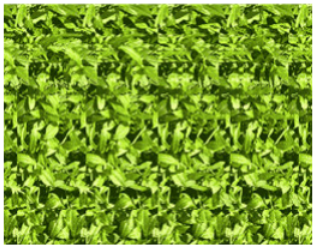
Raposo et al. (2004) e Swan et al. (2006) mostram que as abordagens estereoscópicas existentes podem ser classificadas em estéreo passivo e ativo. Em uma técnica com estéreo

Figura 8 – Estereograma

(a) Estereograma de pontos aleatórios com o texto 3D



(b) Estereograma de textura com um ponto de interrogação



Fonte: Tomoyose (2010)

passivo, duas imagens são multiplexadas no espaço e são mostradas simultaneamente, com óculos atuando como filtros. São exemplos de uso desta técnica, óculos anaglifos, com separação em filtro de cores; óculos polarizados, com separação em filtro polarizado; a serem abordados nas subseções 2.2.1 e 2.2.2, respectivamente.

Em uma técnica com estéreo ativo, as imagens são multiplexadas no tempo e duas imagens são alternadamente projetadas aos olhos, em frequência elevada, com óculos atuando sincronizadamente com a projeção, abrindo e fechando lentes. O principal dispositivo que implementa esta técnica são os *shutter glasses* (óculos obturadores), que contém lentes LCD (do inglês *Liquid Crystal Display* - Visor de Cristal Líquido) em sincronização com a taxa de atualização do monitor, que será abordado na subseção 2.2.3.

2.2.1 Filtragem de cores

Simular estereoscopia por filtragem de cores requer a utilização de lentes que filtram a passagem de cores para visualização tridimensional de uma imagem. Os dispositivos que utilizam essa técnica são do tipo estéreo passivo, tendo os óculos anaglifos, chromaDepth e colorCode 3D como os principais exemplos.

Para visualizar cenas com óculos anaglifos é necessário produzir duas imagens de uma mesma cena ligeiramente afastadas horizontalmente uma da outra, cada uma com uma cor diferente: vermelho e azul para o anaglifo verdadeiro e vermelho e ciano para o anaglifo colorido (FAUSTER; WIEN, 2007). De acordo com Fauster e Wien (2007), as lentes dos óculos contêm cores diferentes (uma para cada olho) atuando como filtros.

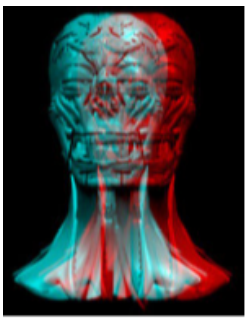
Se as lentes possuírem o par de cores azul e vermelho, a parte vermelha da imagem é filtrada pela lente vermelha dos óculos enquanto a parte azul da imagem só é filtrada

pela parte azul dos óculos. A figura 9a ilustra um exemplo de imagem gerada para os óculos anaglifo verdadeiro e a figura 10a é um exemplo de óculos para sua visualização. Já a figura 9b mostra uma outra imagem gerada para os óculos anaglifo colorido e a figura 10b, um exemplo de óculos para sua visualização.

Figura 9 – Imagens para a técnica filtragem de cores

(a) Exemplo de imagem em anaglifo verdadeiro

(b) Exemplo de imagem em anaglifo colorido



Fonte: Tori et al. (2009)

Figura 10 – Óculos para técnica filtragem de cores

(a) Óculos com filtro de cores vermelho e azul

(b) Óculos com filtro de cores vermelho e ciano

Fonte: 3Dgraf (2016)

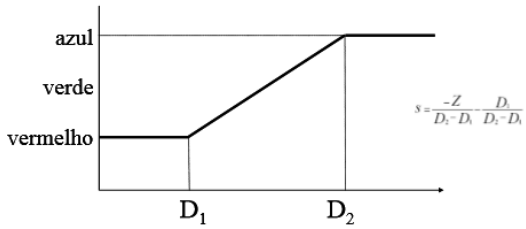
A utilização dos anaglifos coloridos possibilitam a minimização da perda de cores de uma imagem. Além dos tipos de anaglifos mencionados, existem também anaglifo em escala de cinza e anaglifo semicolorido. O anaglifo em escala de cinza consiste em produzir uma imagem em escala de cinza acrescentada de um componente no canal verde. O anaglifo semicolorido é similar ao anaglifo colorido, porém gera uma imagem em que há uma reprodução parcial das cores.

Os óculos *chromaDepth* permite a visualização tridimensional e é uma alternativa à perda de qualidade que a coloração impõe com os óculos anaglifos. Esses óculos, exemplificados na figura 12b, possuem lentes que desviam a luz de acordo com a sua cor, proporcionando a disparidade necessária para gerar o efeito tridimensional (RAPOSO et al., 2004).

A figura 11 mostra o gráfico que indica quais objetos ou partes que tenham cores quentes (próximas ao vermelho) estarão mais próximas do observador do que as cores frias

(próximas ao azul). É como se as lentes puxassem para o primeiro plano o vermelho da cor e classificassem o restante das cores de acordo com suas posições no arco-íris. A figura 12a ilustra um exemplo de imagem gerada para o *chromaDepth* e a figura 12b, um exemplo de óculos para sua visualização.

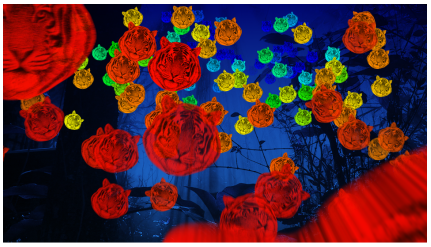
Figura 11 – Distância por espectro de cores



Fonte: Raposo et al. (2004)

Figura 12 – Técnica chromaDepth

(a) Exemplo de imagem chromaDepth



(b) óculos com filtro chromaDepth

Fonte: Chromatek (2016)

O *chromaDepth* funciona apenas para imagens estáticas (cenas e câmera sem alterações), porém a vantagem é possibilidade de impressão. Existem dois tipos de óculos, o *ChromaDepth 3D High Definition* (HD), para visualização em monitores; e o *ChromaDepth 3D Standard Glasses*, para visualização em impressos (RAPOSO et al., 2004).

Os óculos *colorCode 3D* separa a imagem que cada olho recebe isolando uma faixa do espectro de cores para o olho esquerdo e a outra faixa do espectro para o olho direito. Porém, segundo Tomoyose (2010), ao invés de dividir a amplitude de cores que cada olho recebe de forma equilibrada, os filtros *colorCode* separam de maneira desbalanceada, deixando uma pequena parcela de frequências para um dos olhos e todas as frequências restantes para o outro olho, complementando com informação de profundidade, como se estivesse vendo em escala de cinza.

A figura 13a ilustra um exemplo de cena baseada no *colorCode* e a figura 13b mostra seus respectivos óculos para visualização da imagem em três dimensões.

Figura 13 – Técnica colorCode

(a) Imagem em colorCode

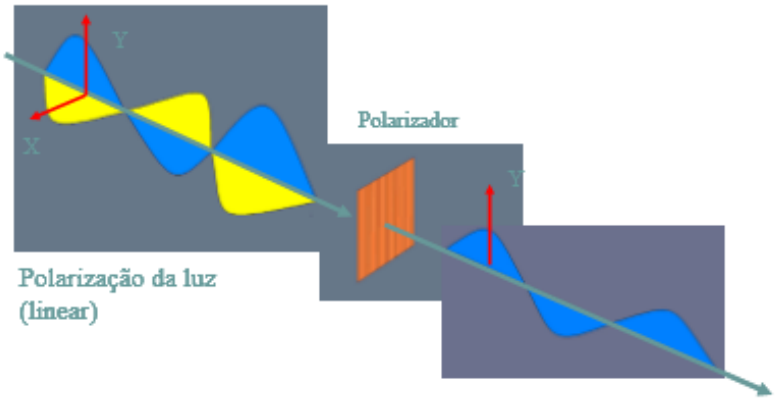
(b) Óculos para visualização da técnica *colorCode*

Fonte: Ogon3D (2016)

2.2.2 Polarização da luz

Na técnica polarização da luz ocorre a separação em filtros polarizadores, restringindo a passagem da luz que é transmitida de forma ondulatória (MACHADO, 1997). Com este filtro, as ondas de luz deixam de vibrar em todas as direções perpendiculares e passam a vibrar em apenas um plano, conforme apresentado na figura 14.

Figura 14 – Polarização vertical da luz



Fonte: Raposo et al. (2004)

A imagem pode parecer borrada, pois a luz projetada tende a perder um pouco de sua polarização. Por isso, uma tela prateada é usada para manter a polarização desejada, mas mesmo assim a resolução é reduzida pela metade. Esta técnica sofre perda de intensidade da luz devido aos filtros de polarização e um efeito fantasma (*ghosting*) pode ocorrer, caso a posição da cabeça do observador esteja incorreta (FAUSTER; WIEN, 2007). O principal dispositivo que utiliza esta técnica são os óculos polarizados, classificado como do tipo estéreo passivo.

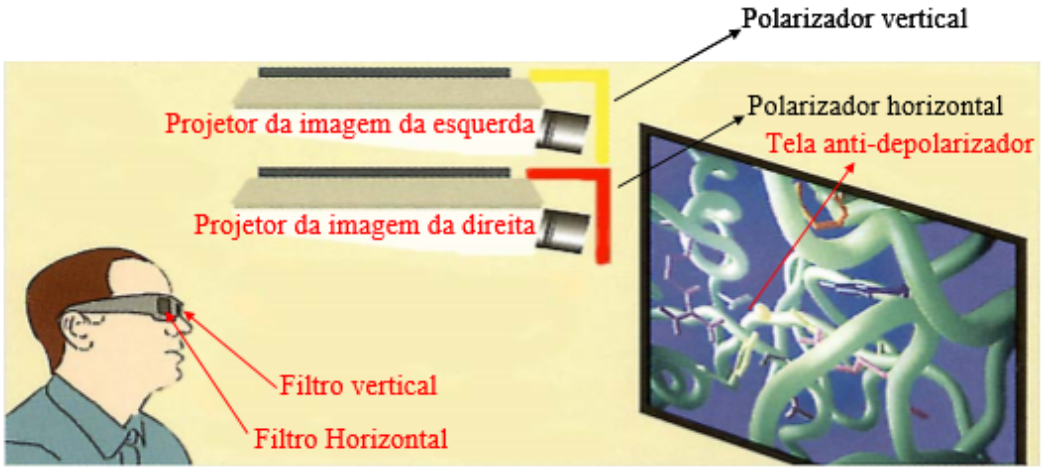
Os óculos polarizados (Figura 15) possuem em uma de suas lentes um filtro polarizador vertical, e na outra um filtro polarizador horizontal. Para visualização tridimensional de

uma cena com estes óculos, duas imagens com ângulos de captura diferentes são projetadas em um mesmo anteparo, através de dois filtros polarizadores posicionados ortogonalmente na frente das lentes de dois projetores. Cada olho visualiza apenas a imagem projetada por um dos projetores, conforme esquema ilustrado na figura 16.

Figura 15 – Exemplo de óculos polarizado

Fonte: Xpand (2016a)

Figura 16 – Esquema para visualização com óculos polarizados



Fonte: Raposo et al. (2004)

2.2.3 Obturação da luz

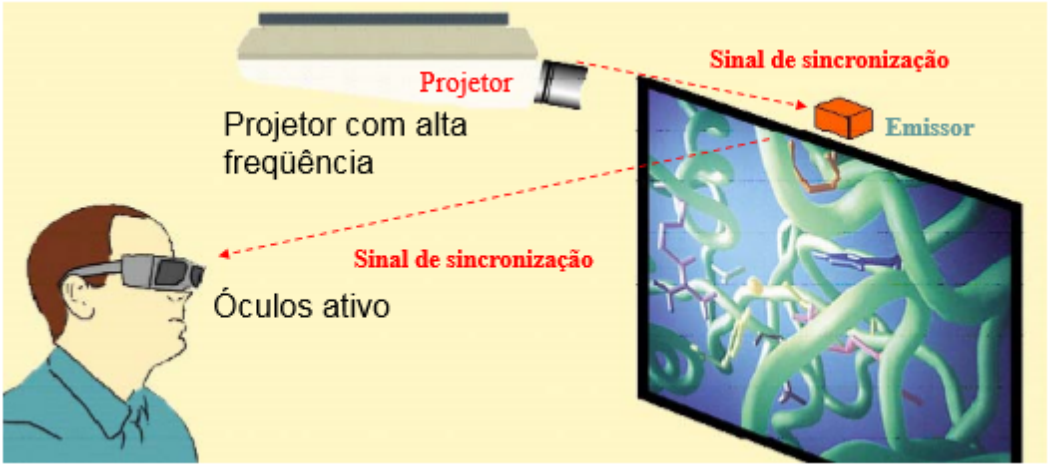
A técnica obturação da luz consiste em um controle eletrônico de lentes, geralmente feitas de cristal líquido, de forma a ficarem transparentes ou opacas, sincronizando com um sinal de vídeo. Enquanto uma das lentes fica opaca, a outra fica transparente em sincronia com a exibição da cena referente a cada um dos olhos, pois o sinal de vídeo deve apresentar, na sequência, as imagens esquerda e direita em sincronismo (SISCOUTTO et al., 2006). O principal dispositivo que implementa essa técnica são os óculos obturadores ou *shutter glasses*. Porém, a técnica obturação da luz pode também ser utilizada em *Head Mounted Displays* (HMD) binoculares.

Os *shutter glasses* (Figura 17) são do tipo estéreo ativo e trabalham em conjunto com um emissor infravermelho e um projetor (ou monitor) com uma frequência mínima de 120 Hertz para que a alternância de exibição não seja perceptível ao usuário (FAUSTER; WIEN, 2007). O esquema da figura 18 mostra que, quando é projetada a imagem destinada ao olho direito, o projetor emite um sinal de sincronização para o emissor, que é repassado para os óculos, fechando a visão do olho esquerdo e mantendo aberta a visão do olho direito, assim como para a visão destinada ao olho esquerdo, onde os óculos só permitem a visão para o olho esquerdo, bloqueando assim o direito (RAPOSO et al., 2004).

Figura 17 – *Shutter glasses*

Fonte: Xpand (2016b)

Figura 18 – Esquema para visualização com *shutter glasses*

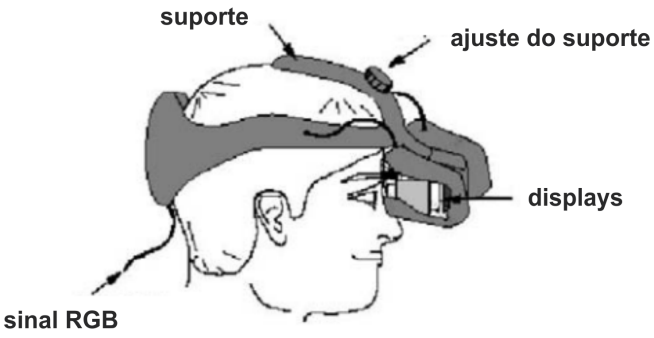


Fonte: adaptado de Raposo et al. (2004)

O *Head Mounted Display* (HMD) é um dispositivo classificado como estéreo ativo quando em sua versão binocular, constituído de dois *displays* canônicos de cristal líquido (Figura 19), tubos de raios catódicos ou tela de OLED (do inglês *Organic Light-Emitting Diode* - Diodo Orgânico Emissor de Luz). Os monitores são montados em um capacete.

Segundo Fauster e Wien (2007), o HMD contém sensores de rastreamento que medem a posição e orientação da cabeça, transmitindo esses dados para o computador. A montagem pode ser monocular, mostrando a mesma imagem em ambos os olhos, ou

Figura 19 – Esquema de um HMD



Fonte: adaptado de Burdea e Coiffet (2003)

binocular (estereoscópica), mostrando imagens diferentes para cada olho. Vale ressaltar que outras técnicas estereoscópicas podem ser implementadas, acoplando, por exemplo, lentes com filtros de cores ao HMD, tornando-o do tipo estéreo passivo. A figura 20 exemplifica o dispositivo.

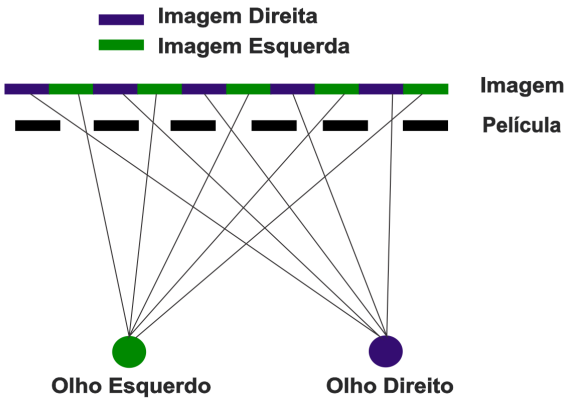
Figura 20 – Exemplo de HMD: Oculus Rift

Fonte: Oculus (2016)

2.2.4 Autoestereoscopia

Ao contrário das técnicas estereoscópicas, a autoestereoscopia não necessita de óculos de visualização ou capacetes, pois cada imagem é "fatiada" e reside sobre as colunas pares e ímpares do monitor, que são direcionadas para o olho do observador por meio de uma película lenticular colocada na superfície do monitor, como mostra o esquema da figura 21 (SISCOUTTO et al., 2006). A figura 22 apresenta um monitor autoestereoscópico.

Figura 21 – Esquema de autoestereoscopia



Fonte: Siscoutto et al. (2006)

Figura 22 – Monitor 3D autoestereoscópico

Fonte: Philips (2016)

2.3 Considerações finais do capítulo

Neste capítulo foram elucidados conceitos relacionados à estereoscopia: princípios que possibilitam a visão em três dimensões no ser humano e funcionamento das técnicas existentes. Os conceitos evidenciados neste capítulo servirão como base para a compreensão de um levantamento bibliográfico conduzido para embasar o desenvolvimento do presente trabalho, conforme será apresentado no capítulo a seguir.

3 Avaliação da percepção de tridimensionalidade

Resultados obtidos a partir de uma Revisão Sistemática (RS), que foi realizada com o propósito de investigar quais são os efeitos, parâmetros, métodos, métricas e técnicas estatísticas empregados para avaliar a percepção de tridimensionalidade em sistemas de RV com estereoscopia, são apresentados neste capítulo.

De acordo com Sampaio e Mancini (2007), ao viabilizar, de forma clara e explícita, um resumo dos estudos sobre determinada intervenção, uma RS permite incorporar um espectro maior de resultados relevantes, ao invés de limitar conclusões à leitura de somente alguns artigos.

Para elaboração da presente RS, três fases foram executadas: fase de planejamento, que consistiu na condução de uma análise exploratória e na consequente elaboração de um protocolo para a execução da RS; fase de condução, na qual os trabalhos foram identificados e selecionados de acordo com critérios de inclusão e exclusão; e fase de extração de dados, quando as informações dos artigos incluídos foram extraídas para análise.

3.1 Planejamento da revisão sistemática

Após uma análise exploratória da literatura com a finalidade de definir palavras-chaves e fontes a serem pesquisadas, foi elaborado um protocolo utilizando a ferramenta StArt (*State of the Art through Systematic Review*) (ZAMBONI et al., 2010), com as seguintes questões de pesquisa: "Quais são os efeitos e parâmetros mensurados para avaliar a percepção de tridimensionalidade em AVs 3D com estereoscopia?" e "Quais métodos são utilizados para avaliar esses efeitos e parâmetros?".

Os critérios de inclusão (I) e exclusão (E) listados a seguir foram definidos:

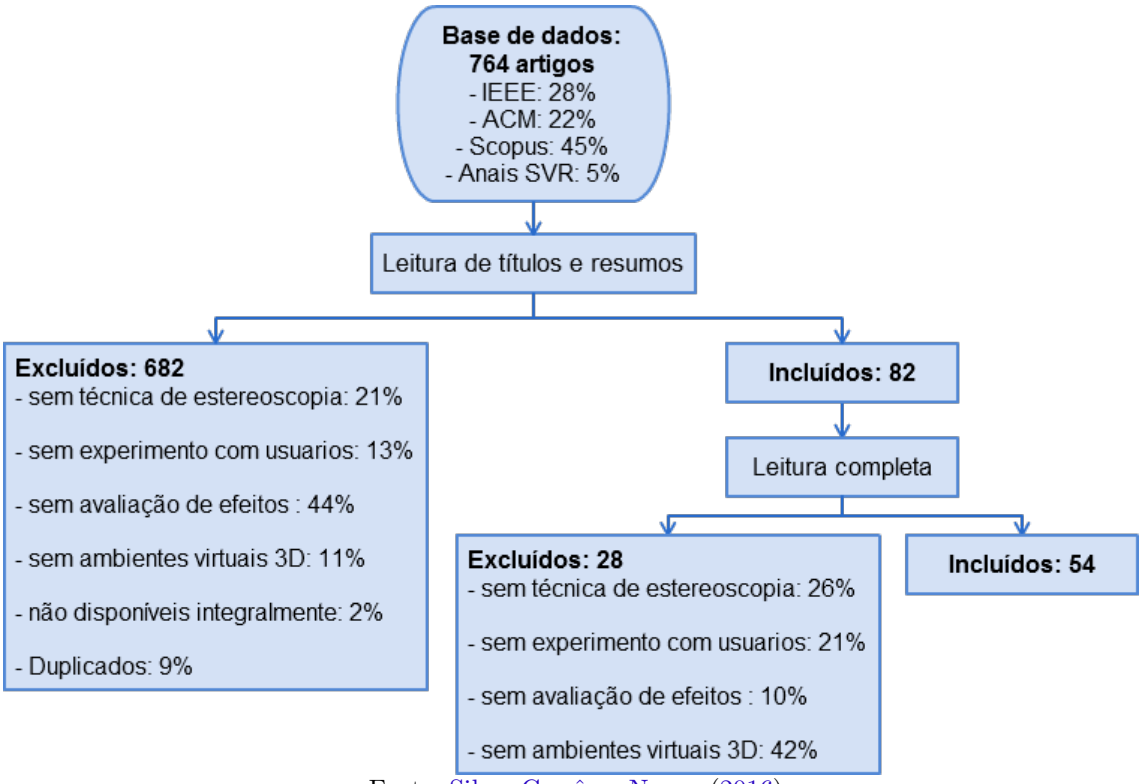
- (I) Trabalhos que avaliam efeitos de tridimensionalidade em AVs 3D com estereoscopia;
- (E) Trabalhos que não especificam a técnica estereoscópica utilizada;
- (E) Trabalhos que não realizam experimentos com usuários;
- (E) Trabalhos que não apresentam avaliação de efeitos;
- (E) Trabalhos que não apresentam AVs 3D;
- (E) Trabalhos não disponíveis integralmente na Internet.

3.1.1 Condução e extração de dados

Para responder as questões especificadas, foram utilizadas as palavras-chaves *virtual reality*, *stereo*, *3D displays*, *immersive applications*, *immersive systems*, *immersive environments*, *human factors*, *presence*, *immersion*, *perception*, *experiment*, *assessment*, *measurement* e *evaluation* nas fontes: *IEEE Xplore* (IEEE, 2016), *ACM Digital Library* (ACM, 2016), *Scopus* (SCOPUS, 2015) e Anais do Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (*SVR*) disponíveis na biblioteca digital do *IEEE* (IEEE, 2016) e na Biblioteca Digital Brasileira de Computação (BDBComp) (BDBCOMP, 2015).

As buscas foram feitas considerando títulos, resumos e palavras-chave nas bases de dados e foram encontrados, no total, 764 trabalhos. Dos 764 artigos identificados nas bases, 54 foram aceitos para a fase de extração de dados, de acordo com os critérios de inclusão e exclusão citados na seção 3.1. Nesta última fase, os trabalhos foram lidos na íntegra e foi tecida uma análise apresentada nas próximas seções, o que possibilitou a geração de um artigo publicado no XVIII Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (*SVR*).

Figura 23 – Seleção dos trabalhos



Fonte: Silva, Corrêa e Nunes (2016)

No contexto do presente trabalho, **efeito** é produto da percepção de tridimensionalidade; **parâmetros** são fatores que podem influenciar na percepção de um efeito; **método** é uma forma de avaliação composta por uma tarefa a ser executada por usuários humanos, podendo incluir métricas e técnicas; **métricas** são dados coletados durante a execução de um método para indicar resultados qualitativos e quantitativos; e **técnica** é um conjunto de procedimentos, geralmente estatístico, para análise de dados.

Os 54 artigos incluídos foram agrupados de acordo com o efeito avaliado. "Distância", "imersão" e "profundidade" foram os efeitos que os trabalhos incluídos tiveram interesse em avaliar. As avaliações dos efeitos encontrados foram conduzidas considerando parâmetroscomo tamanho e sombra, e as técnicas estereoscópicas utilizadas. Vale ressaltar que, em diversos trabalhos, mais de um parâmetro foi considerado na avaliação de um efeito.

Para avaliação do conjunto "efeito + parâmetro(s)", foi identificada a utilização de diferentes métodos de avaliação como *caminhada cega* e *manipulação*. Nos trabalhos encontrados, observou-se que, para a análise de métricas, tais como taxa de erros e acertos, coletadas por meio dos métodos de avaliação, foram usadas técnicas de análise de dados, na maioria das vezes estatísticas, como teste *cochran q* e teste *student t*. Uma discussão a respeito dos achados, identificando tendências e oportunidades foi tecida, conforme apresentado na Seção 3.3.

A descrição dos parâmetros encontrados é apresentada na tabela 1. Os parâmetros foram identificados como possíveis influenciadores na percepção dos efeitos de tridimensionalidade em estudo.

Tabela 1 – Parâmetros selecionados pelos trabalhos incluídos na RS

Parâmetro	Descrição	Trabalhos
avatar	representação virtual de si mesmo ou de um indivíduo	(MCMANUS et al., 2011; PHILLIPS et al., 2010; RIES et al., 2008; LEYRER et al., 2011; SLATER; SPANLANG; COROMINAS, 2010)

continua

continuação

Tabela 1 - Parâmetros selecionados pelos trabalhos incluídos na RS

Parâmetro	Descrição	Trabalhos
campo de visão	extensão angular alcançada por um observador no AV	(JONES; SWAN; BOLAS, 2013; LI; ZHANG; KUHL, 2014; SOUZA; SANTOS, 2015; BODENHEIMER et al., 2007)
conforto	comodidade experimentada por um indivíduo no AV	(LIVATINO; MUSCATO; PRIVITERA, 2009; LIVATINO et al., 2010)
declinação angular	diferença angular do horizonte ao chão observada por um indivíduo no AV	(LEYRER et al., 2011; WILLIAMS; RASOR; NARASIMHAM, 2009; MESSING; DURGIN, 2005; KUHL; THOMPSON; CREEM-REGEHR, 2008)
desconforto	ausência de comodidade experimentada por um indivíduo no AV	(BIGOIN et al., 2007)
disparidade binocular	ligeira diferença de imagens no AV que atingem os olhos, devido a diferença da posição de cada olho	(HU et al., 2000)
distância	intervalo de espaço medido de um objeto ao observador ou de um objeto a outro objeto no AV	(NACERI et al., 2009; ALTENHOFF et al., 2012; NACERI; CHELLALI, 2010; EBRAHIMI et al., 2014; GOOCH; WILLEMSEN, 2002; LIN et al., 2011; WILLEMSEN et al., 2008; LIVATINO et al., 2015; GADIA et al., 2009; KELLY et al., 2013a)

continua

continuação

Tabela 1 - Parâmetros selecionados pelos trabalhos incluídos na RS

Parâmetro	Descrição	Trabalhos
distorção geométrica	é a distorção gerada pela geometria das projeções em perspectiva no AV	(KELLY et al., 2013b; KUHL; THOMPSON; CREEM-REGEHR, 2006)
feedback visual	resposta visual informada por um indivíduo no AV	(MOHLER; CREEM-REGEHR; THOMPSON, 2006; KUNZ et al., 2009)
iluminação	quantidade de luz existente em determinado espaço no AV	(NAPIERALSKI et al., 2011; SLATER; SPANLANG; COROMINAS, 2010; TRIPICCHIO et al., 2014; GRUCHALLA, 2004)
ponto de vista	panorama do AV observado por um indivíduo a partir de sua posição	(TRIPICCHIO et al., 2014)
posição	localização de um objeto no AV	(RAGAN et al., 2013; POLLOCK et al., 2012; GRUCHALLA, 2004; MILES et al., 2014; REIS et al., 2011; SILVA; NUNES, 2015; INTERRANTE et al., 2008)
presença	sensação de estar presente em um ambiente real ou virtual experimentada por um indivíduo	(LIVATINO; MUSCATO; PRIVITERA, 2009; LIVATINO et al., 2010; INTERRANTE et al., 2008; BAñOS et al., 2008)
profundidade	impressão tridimensional de uma cena observada por um indivíduo no AV	(LIVATINO; MUSCATO; PRIVITERA, 2009; LIVATINO et al., 2010)

continua

continuação

Tabela 1 - Parâmetros selecionados pelos trabalhos incluídos na RS

Parâmetro	Descrição	Trabalhos
realismo	tendência de ver cenas do AV como elas realmente são no mundo real	(YOUNG et al., 2014)
reflexão	processo de refexão da luz de um objeto para outro no AV	(NAPIERALSKI et al., 2011; LIVATINO; MUSCATO; PRIVITERA, 2009; LIVATINO et al., 2010; MESSING; DURGIN, 2005; PHILLIPS; INTERRANTE, 2011; LIVATINO et al., 2008; VINNIKOV; ALLISON, 2014)
sombra	região escura formada pela ausência parcial da luz incidida em um objeto no AV	(HU et al., 2000; GADIA et al., 2009)
tamanho	dimensão de um objeto no AV	(NAPIERALSKI et al., 2011; RAGAN et al., 2013; KUHL; THOMPSON; CREEM-REGEHR, 2008; KUNZ et al., 2009; KELLY et al., 2013a; KUHL; THOMPSON; CREEM-REGEHR, 2006; INTERRANTE et al., 2008; BRUDER; PUSCH; STEINICKE, 2012; GEUSS et al., 2010; GEUSS et al., 2012; INTERRANTE; RIES; ANDERSON, 2006; KELLY et al., 2014; KUNZ; CREEM-REGEHR; THOMPSON, 2015; MOEHRING; GLOYSTEIN; DOERNER, 2009; PHILLIPS et al., 2009; SAHM et al., 2005)

continua

continuação

Tabela 1 - Parâmetros selecionados pelos trabalhos incluídos na RS

Parâmetro	Descrição	Trabalhos
textura	aspecto da superfície de um objeto no AV	(NAPIERALSKI et al., 2011)
tipo de dispositivo	dispositivo estereoscópico utilizado no AV	(SLATER; SPANLANG; COROMINAS, 2010)

conclusão

Fonte: Silva, Corrêa e Nunes (2016)

Métricas, como taxa de acertos e tempo, foram consideradas durante a execução dos métodos com o objetivo de permitir a avaliação dos efeitos de percepção de tridimensionalidade. A tabela 2 apresenta as métricas que foram consideradas nos métodos de avaliação para medir os parâmetros nos experimentos.

Tabela 2 – Métricas selecionadas pelos trabalhos incluídos na RS

Métrica	Descrição	Trabalhos
Taxa de erros	quantidade de erros cometidos	(RAGAN et al., 2013; MCMANUS et al., 2011; PHILLIPS et al., 2010; RIES et al., 2008; BODENHEIMER et al., 2007; WILLIAMS; RASOR; NARASIMHAM, 2009; KUHL; THOMPSON; CREEM-REGEHR, 2008; HU et al., 2000; EBRAHIMI et al., 2014; GOOCH; WILLEMSEN, 2002; LIN et al., 2011; WILLEMSEN et al., 2008; LIVATINO et al., 2015; KELLY et al., 2013a; REIS et al., 2011; INTERRANTE et al., 2008; PHILLIPS; INTERRANTE, 2011; BRUDER; PUSCH; STEINICKE, 2012; GEUSS et al., 2010; GEUSS et al., 2012; INTERRANTE; RIES; ANDERSON, 2006; KELLY et al., 2014; KUNZ; CREEM-REGEHR; THOMPSON, 2015; MOEHRING; GLOYSTEIN; DOERNER, 2009; PHILLIPS et al., 2009; SAHM et al., 2005)
Taxa de acertos	quantidade de acertos obtidos	(NAPIERALSKI et al., 2011; POLLOCK et al., 2012; NACERI et al., 2009; LEYRER et al., 2011; JONES; SWAN; BOLAS, 2013; LI; ZHANG; KUHL, 2014; LIVATINO et al., 2010; MESSING; DURGIN, 2005; ALTENHOFF et al., 2012; NACERI; CHELLALI, 2010; GADIA et al., 2009; KELLY et al., 2013b; KUHL; THOMPSON; CREEM-REGEHR, 2006; MOHLER; CREEM-REGEHR; THOMPSON, 2006; KUNZ et al., 2009; GRUCHALLA, 2004; MILES et al., 2014; SILVA; NUNES, 2015; SOUZA; SANTOS, 2015; YOUNG et al., 2014)

continua

continuação

Tabela 2 - Métricas selecionadas pelos trabalhos incluídos na RS

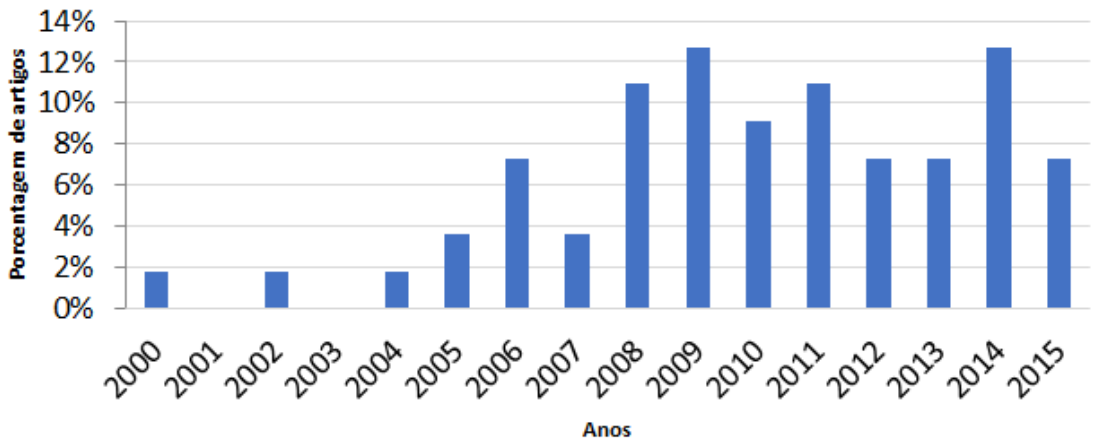
Métrica	Descrição	Trabalhos
Taxa de colisões	número de colisões cometidas durante o percurso no AV	(LIVATINO; MUSCATO; PRIVITERA, 2009; LIVATINO et al., 2015; LIVATINO et al., 2008)
Comprimento	tamanho do percurso considerado ou atingido	(LIVATINO; MUSCATO; PRIVITERA, 2009; LIVATINO et al., 2010)
Velocidade	velocidade alcançada durante o percurso no AV	(LIVATINO; MUSCATO; PRIVITERA, 2009; LIVATINO et al., 2010)
Tempo	tempo estimado para completar uma tarefa	(LIVATINO; MUSCATO; PRIVITERA, 2009; LIVATINO et al., 2010; LIVATINO et al., 2015; GRUCHALLA, 2004; YOUNG et al., 2014; MCMAHAN et al., 2006)
Distância	distância alcançada na realização de uma tarefa	(LIVATINO; MUSCATO; PRIVITERA, 2009; LIVATINO et al., 2010)
Escala de opinião	nível de percepção informado em uma escala	(BIGOIN et al., 2007; TRIPICCHIO et al., 2014; BAñOS et al., 2008)
Preferência	porcentagem de preferência de uma configuração	(VINNIKOV; ALLISON, 2014)
Paradas	número de paradas em uma configuração	(SLATER; SPANLANG; COROMINAS, 2010)

conclusão

Fonte: Silva, Corrêa e Nunes (2016)

A figura 24 mostra a evolução quantitativa das publicações nos últimos anos. A partir do ano de 2008 observa-se um aumento de publicações no cenário pesquisado. É crescente o interesse por AVs estereoscópicos, que permitem a simulação de cenários imersivos, abrindo oportunidades de aprendizagem e treinamento, o que leva à necessidade da compreensão da percepção humana de tridimensionalidade nesses ambientes. Além disso, avanços recentes na tecnologia e sua facilidade de acesso têm aumentado o desenvolvimento e o uso de AVs 3D. Pode-se encontrar no apêndice B uma tabela que mostra informações extraídas de tais publicações, com dados considerados relevantes para o presente estudo, como efeitos, parâmetros, métodos de avaliação, métricas, técnicas de análise de dados, tecnologias estereoscópicas e quantidade de participantes nos experimentos executados. As seções a seguir apresentam análises dos trabalhos incluídos considerando diferentes pontos de vista.

Figura 24 – Porcentagem de artigos publicados em cada ano



Fonte: Silva, Corrêa e Nunes (2016)

3.2.1 Efeitos avaliados

Esta subseção analisa os efeitos avaliados nos trabalhos incluídos, a saber: “distância”, “imersão” e “profundidade”. O objetivo de avaliar tais efeitos quase sempre refere-se a verificar o quanto um AV está sendo realista ou útil para a finalidade para a qual foi proposto. O efeito “distância” refere-se ao intervalo de espaço medido de um objeto ao observador (egocêntrica) ou de um objeto a outro objeto (exocêntrica) (GEUSS et al., 2012). Por imersão entende-se o quanto uma tecnologia fornece de ilusão inclusiva, extensa, envolvente e vívida da realidade para os sentidos de um participante humano (SLATER;

USOH, 1993). Já profundidade é o efeito que, combinado com determinados parâmetros, fornece ao observador a percepção 3D de uma cena (ARMBRÜSTER et al., 2008).

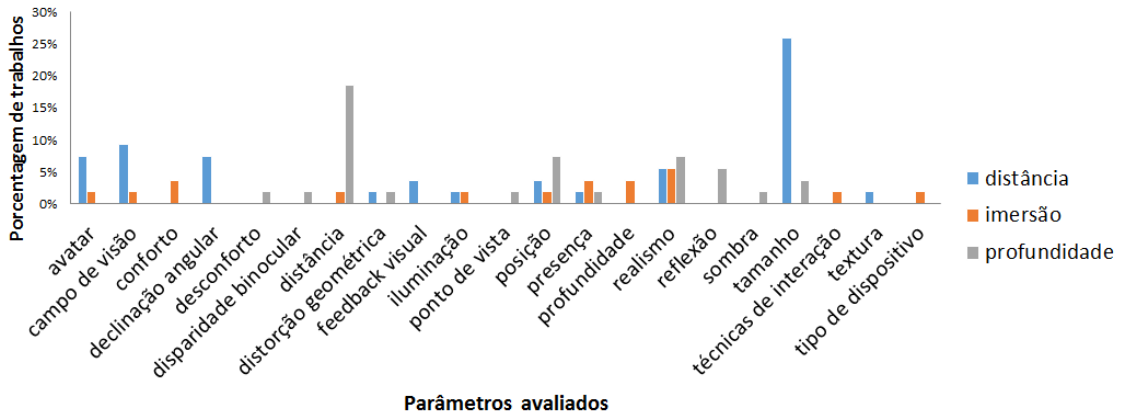
O efeito "distância" é avaliado pela metade dos trabalhos. Distâncias são geralmente superestimadas ou subestimadas em ambientes virtuais imersivos (AVIs) (SWAN et al., 2006; INTERRANTE et al., 2008), razão pela qual muitas pesquisas acerca deste problema foram realizadas nos últimos anos no sentido de compreender e buscar soluções.

O efeito "profundidade", avaliado por 39% dos trabalhos, geralmente pode ser influenciado por parâmetros, como **sombra**, **textura**, **iluminação**, **disparidade binocular**, **tamanho relativo**, até mesmo a própria **distância**. Porém, apesar de alguns desses parâmetros terem sido bem explorados, há muitos que necessitam de profunda investigação.

Ainda é uma questão em discussão entre pesquisadores como parâmetros (exemplo: sombra, textura, iluminação, tamanho etc.) trabalham para fornecer um AV realista e com uma interação natural, pois realismo e naturalidade de interação são componentes que reforçam a percepção do efeito "imersão", avaliado por 11% dos artigos encontrados.

Na figura 25 é possível avaliar a porcentagem de trabalhos considerando parâmetro e efeito avaliado. Essa distribuição revela diversos parâmetros que podem influenciar na percepção do efeito avaliado. Por exemplo, o parâmetro **tamanho**, que pode referir-se tanto aos objetos quanto ao próprio AV, foi considerado na avaliação da percepção de "distância" e "profundidade". Os parâmetros **posição**, **presença** e **realismo** foram considerados na avaliação tanto de "distância" quanto de "imersão" e "profundidade".

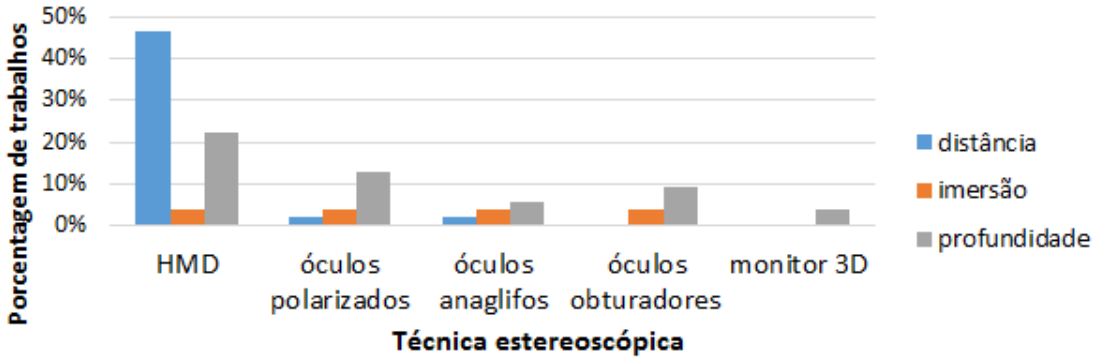
Figura 25 – Porcentagem de trabalhos considerando parâmetro e efeito avaliado



Fonte: Silva, Corrêa e Nunes (2016)

A relação entre os efeitos avaliados e as técnicas estereoscópicas pode ser observada na figura 26. A técnica do HMD foi a mais utilizada nos trabalhos que avaliaram "distância" e "profundidade". O efeito "imersão" foi avaliado balanceadamente empregando a maioria das técnicas, exceto pela técnica autoestereoscópica, representada pelo monitor 3D, que, por sua vez, foi utilizada em 4% dos artigos para avaliar apenas "profundidade".

Figura 26 – Porcentagem de trabalhos considerando técnica e efeito avaliado



Fonte: Silva, Corrêa e Nunes (2016)

Avaliação de distância

De acordo com os trabalhos incluídos, há alguns possíveis métodos que podem ser usados para avaliar a percepção de "distância" de um indivíduo ao usar um AV. A avaliação da percepção de "distância" é majoritariamente (37%) feita pelo método *caminhada cega*. Trinta e sete por cento dos trabalhos utilizam HMD para avaliar este efeito (PHILLIPS et al., 2010; RIES et al., 2008; JONES; SWAN; BOLAS, 2013; LI; ZHANG; KUHL, 2014; BODENHEIMER et al., 2007; KUHL; THOMPSON; CREEM-REGEHR, 2006; INTERRANTE et al., 2008; PHILLIPS; INTERRANTE, 2011).

Embora muitas vezes o propósito de utilizar AVs 3D estereoscópicos é imergir usuários em um espaço diferente do ambiente físico, a tendência dos usuários em perceber as distâncias de forma comprimida em AVIs encoraja o desenvolvimento de espaços virtuais idênticos aos reais. De acordo com Interrante et al. (2008), o problema da percepção da distância de forma comprimida em AVIs pode advir de problemas cognitivos de nível mais elevado na interpretação do estímulo visual apresentado e não necessariamente decorrente da técnica estereoscópica utilizada para construir o AV.

Alguns trabalhos mostraram que usuários que avaliam “distância” com o método *caminhada cega* usando um HMD tendem a superestimar ou subestimar essas distâncias em relação ao espaço real medido entre o próprio participante e um objeto, percebendo-as de uma maneira comprimida ou estendida. Contudo, quando a mesma tarefa é realizada em um ambiente real, os participantes percebem a distância com mais precisão (JONES; SWAN; BOLAS, 2013; WILLEMSEN et al., 2008; INTERRANTE; RIES; ANDERSON, 2006). Em uma simulação, usuários costumam acertar a distância egocêntrica quando o ambiente virtual imersivo (AVI) representa identicamente o ambiente real que eles estão ocupando fisicamente (INTERRANTE et al., 2008).

Avaliação de profundidade

A maioria dos artigos que avaliou o efeito “profundidade” utilizou o método *relato verbal*. Apesar disso, a profundidade pode ser avaliada por diferentes métodos. Bigoin et al. (2007) avaliaram o efeito profundidade utilizando também a **profundidade** como parâmetro em um ambiente 3D de simulação com o método *exploração*. Já em Hu et al. (2000) foi investigada a influência dos parâmetros **disparidade binocular**, **sombra** e **reflexão** na percepção do efeito “profundidade” de objetos virtuais situados no espaço por meio do método *manipulação*, na qual o participante deveria abaixar um cilindro elevado à altura de uma mesa de xadrez de forma que ficasse o mais próximo possível da mesa.

Muitas vezes usuários e desenvolvedores almejam a aquisição de dispositivos estereoscópicos com alto custo para garantir a qualidade da aplicação de RV sem, contudo, aprofundar a análise da relação “custo versus benefício” das diferentes técnicas estereoscópicas. Pode-se, assim, provocar um desperdício de recursos devido à falta de avaliação de objetivos, benefícios e características das técnicas (SILVA; NUNES, 2015). Em vista disso, Livatino, Muscato e Privitera (2009), Naceri e Chellali (2010), Silva e Nunes (2015) preocuparam-se em avaliar diferentes abordagens estereoscópicas.

Em um experimento executado em Silva e Nunes (2015), a percepção de “profundidade” não mostrou-se afetada significativamente pela técnica estereoscópica utilizada. Com a aplicação do método *relato verbal*, os pesquisadores verificaram que aplicações imersivas, nas quais perceber somente “profundidade” é importante para a execução da tarefa, podem ser desenvolvidas com custo baixo, sem prejudicar a compreensão de usuários.

Avaliação de imersão

Em 11% dos trabalhos incluídos foi mencionada “imersão” também como efeito de percepção de tridimensionalidade a ser avaliado (SLATER; SPANLANG; COROMINAS, 2010; LIVATINO; MUSCATO; PRIVITERA, 2009; LIVATINO et al., 2010; GRUCHALLA, 2004; YOUNG et al., 2014; MCMAHAN et al., 2006). Para avaliação de imersão pode-se verificar o uso dos métodos *locomoção*, *busca*, *exploração*, *manipulação*, *caminhada cega* e *ordenação* de forma equilibrada. O nível de imersão é determinado por um número de componentes.

Além da estereoscopia, componentes como equipamentos para rastreamento da cabeça, campo de visão, realismo, iluminação, tamanho e resolução do *display* etc., podem ser incluídos como componentes que contribuem para que o usuário sinta-se imerso. Em vista disso, todos os trabalhos que investigaram o efeito “imersão”, o avaliaram sob a ótica de alguns desses componentes. Em Slater, Spanlang e Corominas (2010) foi avaliado o efeito “imersão” sob a influência dos parâmetros **iluminação**, **campo de visão**, **avatar** e **tipo de dispositivo** em um AV. Os autores reportam que a capacidade tecnológica de um sistema de RV deve considerar esses parâmetros para determinar se um sistema é mais imersivo que outro.

Em Baños et al. (2008) destacou-se o estado de ânimo que usuários sentem em AVs, estudando o parâmetro **presença** na avaliação do efeito “imersão”, com a comparação de sistemas com visualização monoscópica (sem estereoscopia) e estereoscópica. Foi utilizado o método de avaliação *exploração*, não tendo sido percebida diferença entre os sistemas. Em McMahan et al. (2006), conclui-se que a visão estereoscópica não é essencial em uma tarefa que envolve o método *manipulação* e não fornece qualquer benefício significativo. Entender o efeito “imersão” é importante para pesquisadores, pois pode auxiliar na definição de técnicas que serão utilizadas em um projeto. Sistemas com um elevado nível de imersão podem ser complexos e de custo alto e, portanto, evidências dos benefícios da imersão são necessárias para escolher pelo uso de determinada técnica estereoscópica.

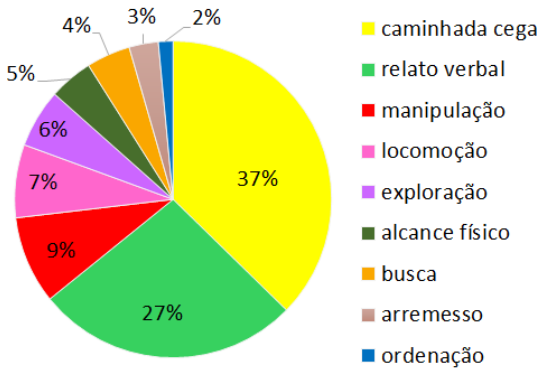
3.2.2 Métodos de avaliação

Os métodos utilizados para avaliar os efeitos “distância”, “imersão” e “profundidade” requerem a realização de tarefas no AV. No contexto do presente trabalho, os métodos

foram nomeados de acordo com o tipo de tarefas executadas, sendo divididos em: *caminhada cega*, *relato verbal*, *manipulação*, *locomoção*, *exploração*, *alcance físico*, *busca*, *arremesso*, *ordenação*.

A figura 27 apresenta a distribuição dos métodos utilizados para avaliação dos efeitos citados anteriormente. Foram identificados 10 diferentes métodos e pode-se observar o uso majoritário do método *caminhada cega*, que consiste em caminhar, sem obter qualquer informação visual, até a localização de um objeto na cena. Nas próximas subseções, tais métodos são detalhados.

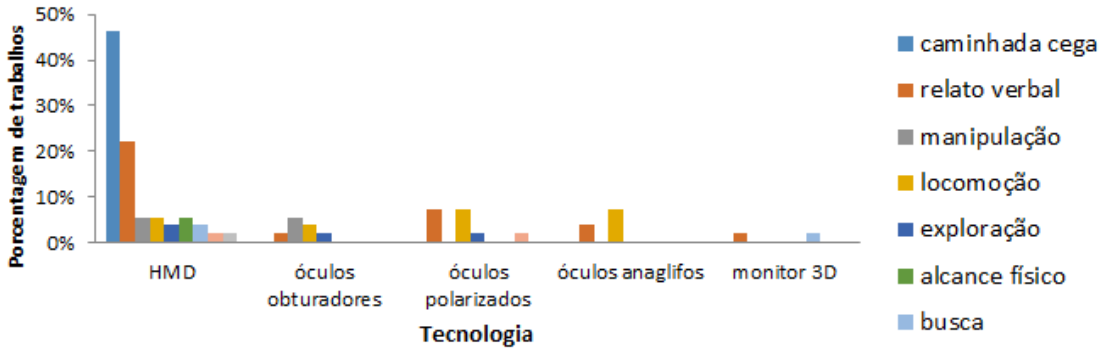
Figura 27 – Porcentagem de trabalhos por método de avaliação



Fonte: Silva, Corrêa e Nunes (2016)

A figura 28 apresenta o relacionamento entre método de avaliação e técnica estereoscópica utilizada. Pode-se perceber que o HMD foi utilizado na condução de todos os métodos de avaliação, em especial com o método *caminhada cega*, no qual 46% dos trabalhos utilizaram essa abordagem.

Figura 28 – Porcentagem de trabalhos considerando método de avaliação e técnica utilizada

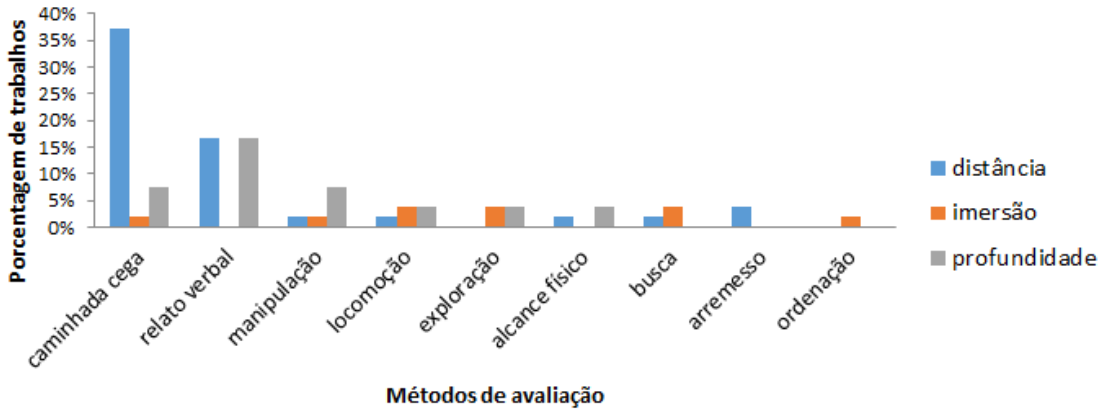


Fonte: Silva, Corrêa e Nunes (2016)

Os métodos definidos para avaliar os efeitos de percepção de tridimensionalidade são apresentados na figura 29. Na avaliação de "distância", os métodos mais utilizados

foram *caminhada cega* e *relato verbal*. Para avaliar "imersão", os métodos *manipulação* e *locomoção* foram os mais empregados. Para o efeito "profundidade", houve a aplicação principalmente dos métodos *relato verbal*, *manipulação* e *caminhada cega*.

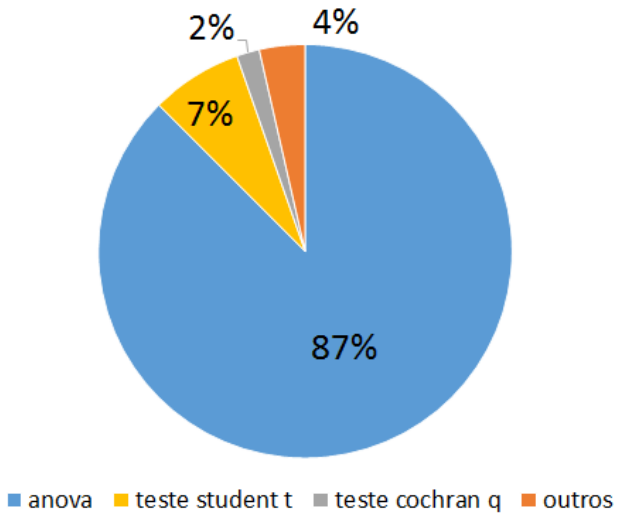
Figura 29 – Porcentagem de trabalhos considerando método de avaliação e efeito avaliado



Fonte: Silva, Corrêa e Nunes (2016)

Dentre técnicas – geralmente estatísticas – empregadas para análise dos resultados utilizando as métricas anteriormente citadas, pode-se observar na figura 30 o uso majoritário do teste estatístico ANOVA (do inglês *Analysis of Variance* - Análise de Variância) por 87% dos trabalhos. O teste *student t* (ou somente teste t) foi uma técnica identificada em 7% dos trabalhos. Dois por cento utilizaram o teste *conchran q* (ou somente teste q) e 4% utilizaram outras técnicas de avaliação.

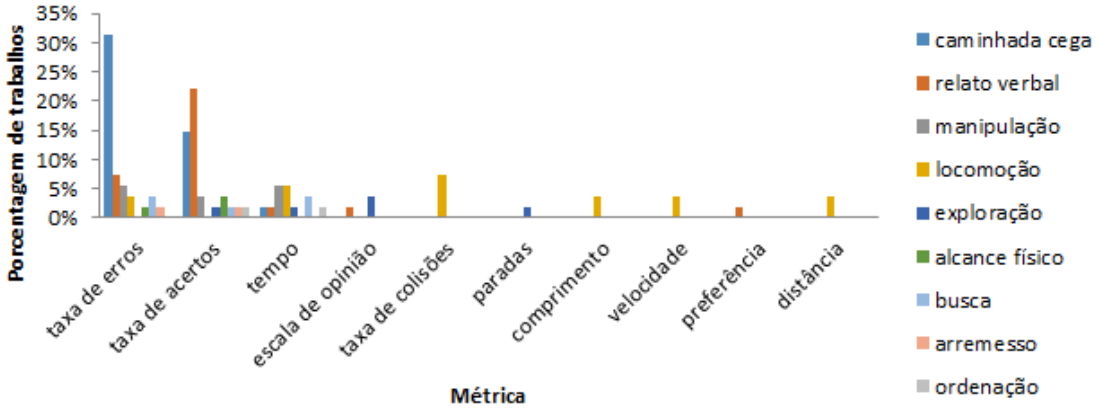
Figura 30 – Porcentagem de trabalhos por técnica de análise de dados



Fonte: Silva, Corrêa e Nunes (2016)

É importante também analisar a percentagem de trabalhos que consideram métrica e método de avaliação, como mostra a figura 31, na qual pode-se observar que a métrica taxa de erros foi bastante utilizada em conjunto com o método *caminhada cega* e, em segundo lugar, a métrica taxa de acertos com o método *relato verbal*.

Figura 31 – Porcentagem de trabalhos considerando métrica e método de avaliação



Fonte: Silva, Corrêa e Nunes (2016)

Caminhada cega

No método *caminhada cega* o observador visualiza um objeto a uma certa distância e, em seguida, caminha com os olhos vendados até onde ele acredita ser o local onde o objeto se encontra.

Uma variação desse método é a *caminhada cega imaginada*, no qual o observador fecha os olhos e imagina caminhar até um objeto, e para um cronômetro quando acredita ter atingido o local desejado. A distância pode ser então calculada multiplicando-se o tempo pela velocidade de caminhada do observador. Outra variação é a *caminhada triangulada* (WILLEMSEN et al., 2008), na qual o observador visualiza um objeto, fecha os olhos, caminha uma certa distância em uma direção oblíqua e, em seguida, indica a localização do objeto lembrado. A percepção da distância do objeto pode então ser recuperada por cálculos trigonométricos.

A caminhada cega foi aplicada em 37% dos trabalhos. Com esse método foram avaliados principalmente os efeitos "distância", em 37% dos trabalhos, e "profundidade", em 17% dos trabalhos. Ainda, 18% dos trabalhos incluídos considerou o parâmetro **tamanho** para avaliar o efeito "distância" (KUHL; THOMPSON; CREEM-REGEHR, 2008;

KUHL; THOMPSON; CREEM-REGEHR, 2006; KUNZ et al., 2009; INTERRANTE et al., 2008; GEUSS et al., 2012; INTERRANTE; RIES; ANDERSON, 2006; KELLY et al., 2014; KUNZ; CREEM-REGEHR; THOMPSON, 2015; PHILLIPS et al., 2009; SAHM et al., 2005) e 7% considerou o parâmetro **distância** na avaliação do efeito "profundidade" (GOOCH; WILLEMSEN, 2002; LIN et al., 2011; WILLEMSEN et al., 2008; NACERI; CHELLALI, 2010; KELLY et al., 2013a).

Relato verbal

O *relato verbal* é um método em que o participante, ao observar, comparar e/ou interagir com objetos e estruturas, responde oralmente perguntas relacionadas a sua percepção no AV 3D.

Este método foi utilizado em 27% dos trabalhos analisados, sendo que 9% considerou o parâmetro **distância** na avaliação dos efeitos "imersão" e "profundidade" (KELLY et al., 2013a; ALTENHOFF et al., 2012; NACERI et al., 2009; NACERI; CHELLALI, 2010; GADIA et al., 2009). Alguns estudos têm discutido sobre a precisão de tarefas que envolvem *relato verbal* em comparação com outros métodos como *caminhada cega* e *arremesso* (SOUZA; SANTOS, 2015; MESSING; DURGIN, 2005; KELLY et al., 2013a; MOHLER; CREEM-REGEHR; THOMPSON, 2006; KUNZ; CREEM-REGEHR; THOMPSON, 2015; SAHM et al., 2005).

Manipulação

O método *manipulação* envolve tarefas de interação do usuário com objetos em uma cena 3D durante a utilização do AV.

O participante pode, por exemplo, reposicionar um objeto no AV 3D de forma a igualar o posicionamento do mesmo a um outro objeto alvo (POLLOCK et al., 2012), ou ajustá-lo em cima de um outro objeto plano (HU et al., 2000).

O método *manipulação*, aplicado em 9% dos trabalhos incluídos, é o terceiro método mais utilizado. O efeito "profundidade" foi avaliado em 7% dos trabalhos utilizando este método.

Locomoção

Executar a tarefa sob o método *locomoção* evolve a navegação ou a movimentação do usuário no AV 3D.

Como exemplo, em (LIVATINO; MUSCATO; PRIVITERA, 2009), era dada aos participantes a tarefa de teledirigir um robô virtual pelo AV e em McManus et al. (2011) os participantes eram instruídos a saltarem de um quadrado para outro em um AV até chegar no último quadrado.

Esse método foi aplicado em 4% dos trabalhos, avaliando "imersão" (LIVATINO et al., 2010), e também em 4% avaliando "profundidade" (LIVATINO et al., 2015; LIVATINO et al., 2008). Em 6% dos trabalhos foi considerado o parâmetro **realismo** na avaliação dos efeitos de "imersão" e "profundidade" (LIVATINO; MUSCATO; PRIVITERA, 2009; LIVATINO et al., 2010; LIVATINO et al., 2008).

Exploração

O método *exploração* consiste em submeter o usuário a navegar pelo AV 3D, explorando cada espaço do ambiente.

Este método foi conduzido por Slater, Spanlang e Corominas (2010), Bigoin et al. (2007) e Baños et al. (2008), representando 6% dos trabalhos, o método *exploração*. Para avaliar os efeitos "imersão" e "profundidade" nos trabalhos mencionados, foram empregados questionários e equipamentos para rastreamento do comportamento do corpo humano. Parâmetros como **avatar**, **campo de visão**, **desconforto**, **iluminação**, **presença** e **tipo de dispositivo** foram considerados na avaliação do efeito "profundidade" (BAñOS et al., 2008; BIGOIN et al., 2007) e "imersão" (SLATER; SPANLANG; COROMINAS, 2010).

Alcance físico

Á tarefa estabelecida no método *alcance físico* consiste em observar um objeto localizado de 50% a 90% do alcance máximo do seu braço, fechar os olhos e então tentar alcançar fisicamente a localização percebida do objeto.

Este método foi encontrado em 5% dos trabalhos incluídos. Foi observado o uso desse método principalmente na avaliação do efeito "profundidade" em Altenhoff et al. (2012) e Ebrahimi et al. (2014).

Busca

O método *busca* consiste em procurar e identificar certos objetos ou estruturas em um ambiente 3D.

Por exemplo, no trabalho de Young et al. (2014), o participante tinha a tarefa de encontrar todas as bolas vermelhas o mais rápido que conseguisse. Já em Ragan et al. (2013), a tarefa era procurar e contar, em um sistema com vários tubos 3D, tubos verticais que estavam conectados a tubos horizontais. Nos trabalhos, o parâmetro **posição** foi considerado na avaliação do efeito "profundidade" por meio do método *busca*. Este método totaliza 4% dos trabalhos incluídos.

Arremesso

O método *arremesso* envolve a iniciação de movimento orientado pela visão, no qual o observador é instruído a arremessar um objeto para atingir um alvo.

Representando 3% dos trabalhos, o método arremesso foi utilizado para avaliar apenas o efeito "distância", considerando os parâmetros **tamanho** em Sahm et al. (2005) e **posição** em Miles et al. (2014).

Ordenação

O método *ordenação* consiste em classificar, agrupar ou ordenar objetos em um AV 3D, de acordo com algum critério.

Por exemplo, em Young et al. (2014), no qual é avaliado o efeito de "imersão", aos participantes foram apresentadas dez caixas numeradas de 0 a 9, aleatoriamente, e lhes foi dada a tarefa de ordenar as caixas no menor prazo de tempo que conseguissem. Os parâmetros **realismo** e **distância** foram considerados na avaliação. Este método foi o menos utilizado pelos trabalhos incluídos (apenas 2%).

3.3 Discussão sobre a revisão sistemática

Analisando os resultados da RS, nota-se que pesquisas acerca da percepção de tridimensionalidade, como os humanos percebem espaço e interagem em AVs, são cada vez mais necessárias para pesquisadores da área de RV. Estudos têm se preocupado particularmente com essa necessidade, investigando como componentes de sistemas imersivos afetam diferentes tipos de compreensão de espaço em RV. Essa percepção é importante para várias tarefas, como mover objetos e identificar estruturas, que requerem a interpretação e entendimento das informações do espaço. Além disso, um AVI é uma enorme promessa de ferramenta que possibilita aos usuários experimentarem um modelo 3D virtual de um ambiente real, antes que um espaço seja realmente construído.

É notável que o efeito mais avaliado pelos pesquisadores tem sido "distância" e a preferência de técnica estereoscópica tem sido o HMD. A maioria dos trabalhos que exploram o efeito "distância" a ser calculado em um AV tem usado *caminhada cega* como método de avaliação. É esperado que a utilidade de AVIs para muitas aplicações aumente a possibilidade dos usuários realizarem julgamentos espaciais no AV da mesma forma que em um ambiente real (KUNZ; CREEM-REGEHR; THOMPSON, 2015). Entretanto, pesquisadores têm observado que, em comparação com o desempenho no ambiente real, usuários superestimam sistematicamente distâncias relativas quando julgam um espaço virtual. No entanto, é importante analisar se as distâncias implementadas nos ambientes virtuais são adequadas para geração de efeitos que propiciem uma correta percepção de tridimensionalidade, de modo que o problema não seja exclusivamente atribuído aos usuários.

A avaliação do efeito "profundidade" é dificultada pela compressão do espaço de uma cena virtual observada pelo usuário humano. Apesar de muitas tentativas para simular uma profundidade realista, ainda há uma sensação de que o espaço simulado não coincide com a cena real. Em muitos casos, o espaço simulado parece comprimido em relação ao espaço original. Uma razão para isso é que, enquanto suporta algumas pistas de profundidade, ele omite outras, o que pode alterar significativamente a percepção do usuário. Uma deficiência comum é a impossibilidade de simular o foco do olho humano. No mundo real, a clareza da imagem de um objeto na retina depende de sua relação com a fixação na cena (VINNIKOV; ALLISON, 2014).

Com a percepção do efeito “imersão”, o usuário é capaz de visualizar e interagir com objetos 3D em um mundo virtual, mas, para isso, é necessária a compreensão do espaço de um ambiente 3D complexo e da localização precisa dos objetos nesse ambiente. Além disso, a interface 3D é um componente crítico para usabilidade do usuário (GRUCHALLA, 2004). Isso quer dizer que quanto mais o AVI é realista (com visualização 3D, sombras e texturas realistas, por exemplo) e a interação com o usuário é natural, similarmente ao mundo real, mais o efeito “imersão” é percebido.

Alguns trabalhos encontrados na RS buscaram avaliar sistemas específicos com experimentos dentro do contexto de cada sistema. Esses experimentos objetivavam a validação das hipóteses dos autores sobre a influência de efeitos de percepção de tridimensionalidade no desempenho dos usuários quando no uso dos AVs 3D estereoscópicos desenvolvidos. Outros trabalhos propuseram avaliações em sistemas direcionados a experimentos específicos. Nesses trabalhos, para os experimentos, AVs 3D estereoscópicos foram desenvolvidos estritamente para investigação de determinados efeitos de percepção de tridimensionalidade. A proposição de um modelo aplicável a sistemas diversos dentro de um contexto pré-determinado para a investigação da tridimensionalidade, que se fundamenta na avaliação dos efeitos de percepção de tridimensionalidade como um todo, torna-se uma oportunidade de pesquisa para a área. Essa avaliação remete à importância de se analisar se um ambiente é capaz de fornecer percepção de tridimensionalidade satisfatória.

A visualização 3D é importante por permitir ao usuário se sentir mais próximo do ambiente virtual, visto que o usuário está acostumado com o ambiente real, o qual é percebido em três dimensões. Adicionalmente, está ocorrendo a popularização de certos dispositivos de visualização, como o dispositivo *Oculus Rift*, com vantagens e desvantagens, além dos custos, o que também leva ao estudo de técnicas adequadas para cada tipo de aplicação.

3.4 Considerações finais do capítulo

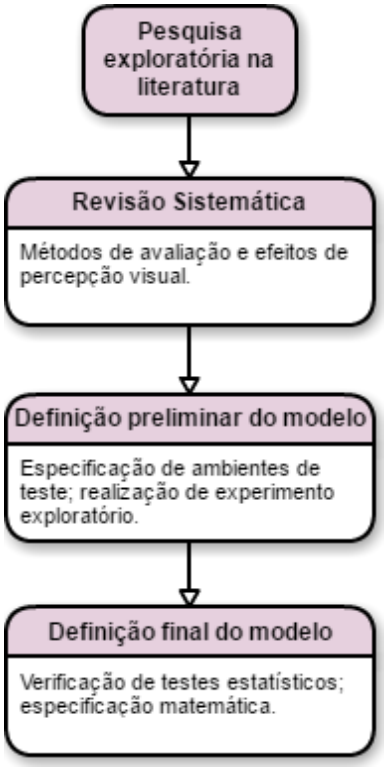
Esta RS trouxe resultados da busca por estudos experimentais com estereoscopia visando a categorização destes, considerando efeitos e parâmetros de percepção de tridimensionalidade de interesse de desenvolvedores e pesquisadores de RV, bem como métodos de avaliação. Dessa forma, oferece uma contribuição para a área de RV com uma revisão

que reúne e categoriza esses estudos, pois é importante também sistematizar o processo de avaliação da percepção de tridimensionalidade incorporando-se efeitos, parâmetros, métricas e técnicas de avaliação e as técnicas estereoscópicas disponíveis em um AV.

4 Desenvolvimento do modelo para avaliar a percepção de tridimensionalidade em AVs 3D estereoscópicos

O diagrama da figura 32 apresenta as etapas para o desenvolvimento do modelo proposto destinado a avaliar a percepção de tridimensionalidade em AVs 3D com estereoscopia.

Figura 32 – Estrutura da metodologia adotada



Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

Após a RS foi elaborada uma especificação de ambientes de teste como um modelo preliminar e, a partir dele, foi realizado um experimento exploratório, o qual permitiu ajustar o modelo. O experimento exploratório contou com dois sistemas de RV implementados na plataforma Unity: um jogo e um simulador de procedimento da área de saúde. Buscou-se verificar a percepção de tridimensionalidade na execução da tarefa determinada para cada um dos sistemas adotados. Esse experimento exploratório foi realizado mediante aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (CAAE: 54691916.3.0000.0065), disponibilizada no anexo B. A seção 4.1 descreve esta etapa e os resultados do experimento exploratório podem ser encontrados na seção 6.1.

A definição final do modelo inclui a verificação de testes estatísticos e uma especificação matemática. Esta etapa está descrita na seção 4.2. O modelo final proposto

possibilita comparar diferentes sistemas estereoscópicos dentro do mesmo contexto. Para tanto, julgou-se necessário definir fases a serem seguidas para prosseguimento da avaliação. Com isso, além dos equacionamentos desenvolvidos, o modelo proposto, principal resultado da presente dissertação, fornece um roteiro para sua aplicação, conforme apresentado no capítulo 5.

4.1 Definição preliminar do modelo de avaliação

Objetivando auxiliar em uma definição preliminar do modelo de avaliação, foi conduzido um experimento exploratório, que considerou parâmetros iniciais, tanto objetivos quanto subjetivos. Os parâmetros foram definidos a partir da RS (Capítulo 3), tendo sido escolhidos distância, tamanho de objetos e presença, devido esses parâmetros serem os mais avaliados pelos trabalhos. A proposta inicial era compor um equacionamento envolvendo tais parâmetros. Para isso, a significância de tais parâmetros deveria ser verificada a fim de decidir-se pela inclusão destes na composição do modelo final.

O experimento exploratório foi realizado com o uso de dois sistemas de RV: o simulador intitulado "VIDA Odonto" e o jogo intitulado "Esquilo Corredor 3D".

O simulador VIDA Odonto é uma ferramenta imersiva, baseada em interação tridimensional, para treinamento de anestesia odontológica. O referido simulador tem o objetivo de possibilitar aos estudantes de odontologia treinarem uma das etapas de formação pré e pós-clínica de procedimentos de anestesia de forma intuitiva, natural, com baixa sobrecarga cognitiva e alta percepção de presença, como se estivessem realizando-a em pacientes reais. Atualmente a ferramenta VIDA Odonto possibilita simular o procedimento de anestesia do nervo alveolar inferior. O melhor desempenho obtido no simulador ocorre quando o usuário atinge um menor número de erros no menor tempo. É um projeto em expansão do Laboratório de Tecnologias Interativas (Interlab) em parceria com o Laboratório de Aplicações de Informática em Saúde (LApIS) e com o Laboratório de Simulação e Treinamento (LaSiT) da Faculdade de Odontologia de Bauru (FOB-USP) para possibilitar treinamentos de outros procedimentos de rotina de uma clínica odontológica, que poderão englobar desde a obtenção e análise de imagens de radiografias até a esterilização e organização de instrumentos, passando por interações com o paciente e suas reações emocionais e físicas (TORI et al., 2016). A interface desse simulador pode ser observada na figura 33.

O Esquilo Corredor 3D é um jogo imersivo de corrida infinita. Com ele, o jogador pode perceber se é capaz de visualizar o efeito 3D no jogo medindo seu desempenho a partir do número de acertos e tempo decorrido. No contexto deste jogo, quanto maior o número de acertos e maior o tempo, melhor é o desempenho do jogador. A figura 34 mostra a interface do jogo.

No simulador, buscou-se avaliar a influência da percepção de tridimensionalidade do usuário em uma sessão de treinamento de aplicação de anestesia odontológica. O estudo considerou a hipótese de que é necessária a percepção da tridimensionalidade para que o alvo seja atingido sem erros, isto é, sem atingir outras estruturas anatômicas.

No jogo, objetivou-se avaliar a influência da percepção de tridimensionalidade no alcance de pontuações. Como hipótese, acredita-se que a noção de tridimensionalidade é um requisito para que o jogador obtenha melhores pontuações variando-se o tamanho e as distância dos objetos (o esquilo, nozes e o caminho).

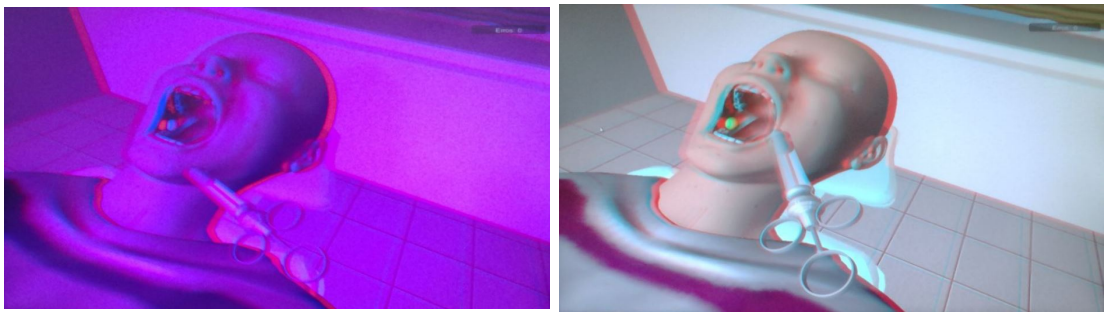
4.1.1 Preparação do experimento exploratório

Ambos os sistemas foram desenvolvidos na plataforma Unity com renderização das técnicas disponíveis em laboratório de teste. Foram avaliadas três técnicas: filtragem de cores por meio dos óculos anaglifo colorido, filtragem de cores por meio dos óculos anaglifo verdadeiro e obturação da luz por meio dos *shutter glasses*, que implementam essa técnica. As figuras 33 e 34 mostram as cenas virtuais de cada sistema a ser testado com as técnicas estereoscópicas citadas.

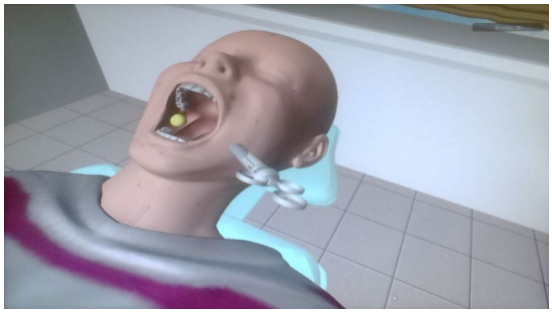
Para executar o procedimento oferecido pelo simulador “VIDA Odonto”, um dispositivo *Leap Motion* (letra G na figura 35) foi utilizado no modo de rastreamento de ferramentas. A ferramenta rastreada simula uma seringa no espaço virtual. Para representar tal ferramenta, um canudo comum foi utilizado (letra H da figura 35). Foram detectados problemas de reconhecimento no *Leap Motion* devido à interferência de raios infravermelhos quando na utilização do emissor (letra D da figura 35), necessário para utilização dos *shutter glasses*. Para resolver esse problema, um aparato, feito de papelão e folhas de Etil Vinil Acetílico (EVA) na cor preta (letra F da figura 35 foi construído para bloquear o sinal que causa a interferência.

Figura 33 – Ambientes de avaliação para o experimento exploratório com técnicas estereoscópicas no simulador

(a) Renderização com anaglifo verdadeiro (b) Renderização com anaglifo colorido



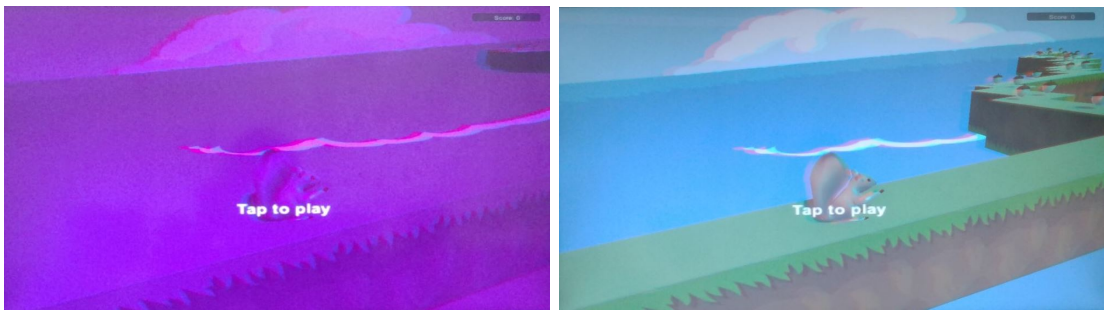
(c) Renderização com *shutter glasses*



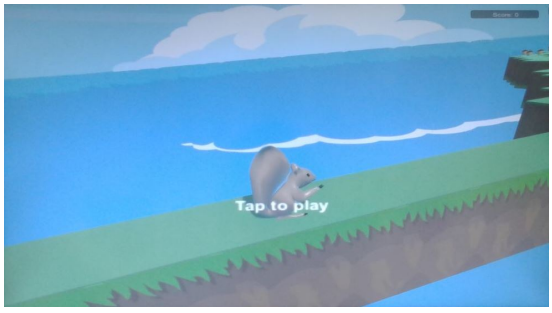
Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

Figura 34 – Ambientes de avaliação para o experimento exploratório com técnicas estereoscópicas no jogo

(a) Renderização com anaglifo verdadeiro (b) Renderização com anaglifo colorido



(c) Renderização com *shutter glasses*

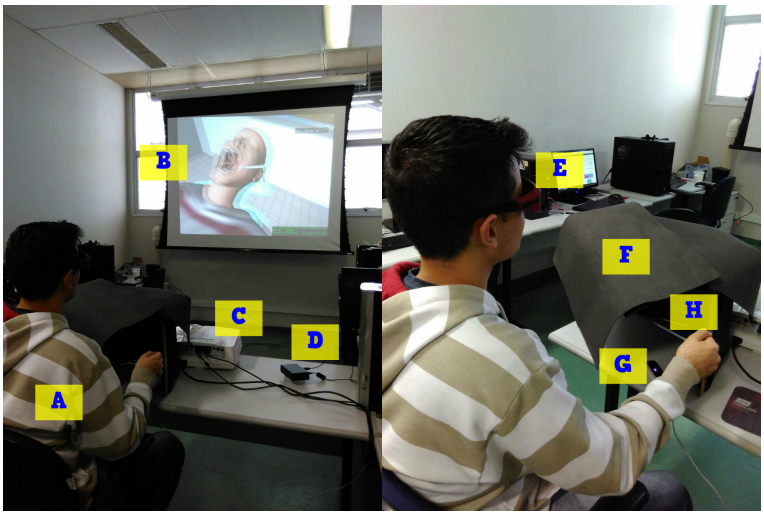


Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

O jogo “Esquilo Corredor 3D” foi empregado em sua versão para *desktop*, tendo o *mouse* letra J da figura 36) como dispositivo de interação usado para controlar as ações do esquilo no espaço virtual.

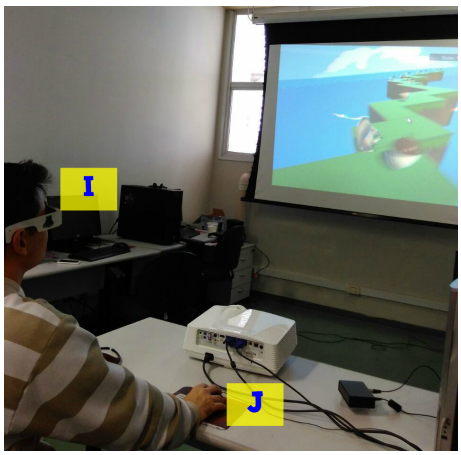
Ainda, equipamentos de projeção (letras B e C da figura 35) foram usados para possibilitar o funcionamento correto dos *shutter glasses*, que requerem que o dispositivo de visualização opere em uma taxa de atualização ou frequência de 120Hz. Para tal, o projetor da linha Mitsubishi de 120Hz acoplado a um computador com placa de vídeo Geforce da NVIDIA e tela de projeção foram utilizados. E, por fim, a letra A da figura 35 exemplifica um voluntário participando do experimento.

Figura 35 – Voluntário participando da avaliação do simulador com *shutter glasses*



Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

Figura 36 – Voluntário participando da avaliação do jogo com anaglifo colorido



Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

Foram construídos quatro cenários diferentes para cada uma das três técnicas estereoscópicas em cada um dos sistemas avaliados. No simulador, cada cenário foi obtido

com a variação da distância entre a câmera virtual e o paciente virtual e do tamanho do alvo, que consiste em uma esfera destacada na cor amarela e posicionada na região interna da boca do paciente que, seguindo-se em direção à mandíbula, onde situa-se o nervo alveolar inferior. A tabela 3 mostra essas configurações. No jogo, cada cenário consistiu na variação de distância e tamanho dos objetos virtuais: esquilo, nozes e caminho, conforme mostra a tabela 4. Desta forma, cada voluntário executou doze vezes a tarefa do simulador e doze vezes a tarefa do jogo, totalizando vinte e quatro cenas.

Tabela 3 – Configurações de parâmetros para o simulador

Cenário	**Descrição**
Distância maior Tamanho maior	A câmera virtual está distante do paciente e o alvo está em uma escala maior (Figura 37a)
Distância maior Tamanho menor	A câmera virtual está distante do paciente e o alvo está em uma escala menor (Figura 37b)
Distância menor Tamanho maior	A câmera virtual está próxima ao paciente e o alvo está em uma escala maior (Figura 37c)
Distância menor Tamanho menor	A câmera virtual está próxima ao paciente e o alvo está em uma escala menor (Figura 37d)

Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

Tabela 4 – Configurações de parâmetros para o jogo

Cenário	**Descrição**
Distância maior Tamanho maior	A câmera virtual está distante do esquilo e das nozes e o caminho está em uma escala maior (Figura 38a)
Distância maior Tamanho menor	A câmera virtual está distante do esquilo e das nozes e o caminho está em uma escala menor (Figura 38b)
Distância menor Tamanho maior	A câmera virtual está próxima ao esquilo e das nozes e o caminho está em uma escala maior (Figura 38c)
Distância menor Tamanho menor	A câmera virtual está próxima ao esquilo e das nozes e o caminho está em uma escala menor (Figura 38d)

Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

Figura 37 – Cenas das configurações de parâmetros no simulador

(a) Distância maior Tamanho maior (b) Distância maior Tamanho menor

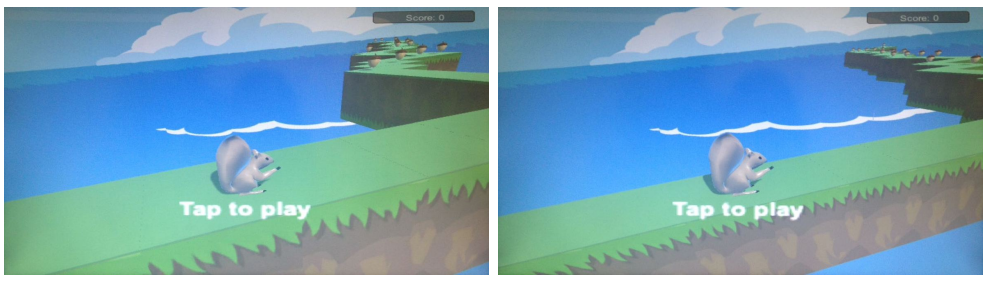
(c) Distância menor Tamanho maior (d) Distância menor Tamanho menor

Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

Figura 38 – Cenas das configurações de parâmetros no jogo

(a) Distância maior Tamanho maior (b) Distância maior Tamanho menor

(c) Distância menor Tamanho maior (d) Distância menor Tamanho menor



Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

4.1.2 Condução do experimento exploratório

O grupo de voluntários foi composto por 20 estudantes e professores da Graduação e Pós-graduação do curso de Sistemas de Informação da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, sendo 16 voluntários do sexo masculino e 4 voluntários do sexo feminino, com idade média de 29 anos. Sessenta e cinco por cento (65%) dos voluntários mencionaram ter algum problema de visão e, por isso, utilizaram correção visual com seus respectivos óculos de grau também durante os experimentos. Todos os voluntários afirmaram ter alguma experiência em ambientes 3D.

A tarefa no processo de avaliação no simulador consistiu em interagir com o sistema manipulando uma seringa no espaço virtual para atingir o alvo. Já a tarefa do jogo executada pelos participantes consistiu em controlar o esquilo que corre no espaço virtual de forma a capturar a maior quantidade de nozes, sem cair do caminho. Vídeos demonstrativos destas aplicações podem ser encontradas no site do LApIS, disponível em http://e.usp.br/7p1.

Os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) – ver apêndice C – e foram previamente instruídos sobre a condução das tarefas a serem executadas nos dois sistemas de RV e sobre os óculos estereoscópicos a serem usados. A ordem de experimentação das técnicas de estereoscopia foi escolhida pelos pesquisadores em cada sessão de testes, a fim de minimizar eventual viés. Após explicações prévias do avaliador, para toda técnica, cada usuário alternava-se entre executar a tarefa e responder um questionário em cada sistema. Durante todas as sessões de teste, o avaliador conduziu instruções ao participante sempre que necessário até a sua finalização. Cada sessão durou cerca de 40 minutos e foi testado primeiramente o simulador "VIDA Odonto" e, em seguida, o jogo "Esquilo Corredor 3D".

O participante era convidado a sentar-se à frente do monitor e registrar seus dados pessoais (Apêndice D). Em seguida, um par dos três óculos de visualização estereoscópica era fornecido, o participante posicionava-se próximo a uma mesa e eram iniciados os testes. Ao final da execução de cada tarefa em um bloco de quatro cenários (descritos anteriormente) respectivos à primeira técnica escolhida, o questionário era aplicado com o participante voltado ao monitor, que registrava sua percepção com relação à técnica recém avaliada no sistema recém testado. Ao final de cada bloco executado com a primeira

técnica, o processo se repetia com a segunda e com a terceira técnicas em ambos os sistemas.

Foram coletados dados de taxa de acertos (ou erros) e tempo de acordo com as interações de cada usuário nos sistemas, compondo assim dados objetivos a serem considerados no modelo de avaliação. A coleta de dados subjetivos, a ser também considerada no modelo, é proveniente da aplicação do questionário acerca da percepção do usuário quanto aos seus sentidos sobre desconforto e cansaço visual, no qual as respostas são compostas por valores na escala de Likert no intervalo de 1 a 10. De forma a complementar a avaliação do efeito de imersão proporcionado pelos ambientes, neste questionário foram acrescentadas algumas perguntas, extraídas e adaptadas de Witmer e Singer (1998), que visam a avaliar a sensação de presença (apêndice D).

A condução do experimento descrito nesta seção contribuiu para a definição de passos previstos (referentes a preparação e condução de testes) para a aplicação do modelo proposto nesta dissertação. A próxima seção apresenta a definição final do modelo de modo a determinar como serão tratados os dados provenientes da execução de experimentos.

4.2 Definição final do modelo de avaliação

Foram estudadas e verificadas diversas técnicas estatísticas de forma a identificar um teste adequado para ser incorporado ao modelo. Visto que há uma preocupação com o tamanho da amostra, ou seja, com o número de indivíduos considerados no experimento, e com a diferenças nos valores dos dados coletados no experimento, foi escolhido o teste de permutação de Fisher para o modelo, pois referido teste contribui para minimizar eventuais efeitos negativos devido à uma amostra pequena e dados com variabilidade acentuada (HESTERBERG et al., 2005), considerando que o experimento exploratório foi realizado com apenas 20 indivíduos e os dados provenientes do experimento realizado apresentarem diferenças acentuadas de valores de erros, acertos e tempo.

O teste de Permutação de Fisher requer calcular a diferença das médias entres dois tratamentos. Essa média é o valor verificado da estatística, que será comparado com novas médias geradas aleatoriamente a partir da permutação dos dados entre os dois tratamentos observados. A quantidade de vezes que os valores estatísticos gerados foi igual ou superior a média verificada inicialmente, compõe o p-valor resultante (HESTERBERG et al., 2005).

A principal contribuição do teste para o domínio evidenciado neste trabalho é ser menos sensível a pequenas amostras, uma vez que é desejável a realização de uma avaliação da percepção de tridimensionalidade com o menor número aceitável de indivíduos. Vale ressaltar que o teste de permutação de Fisher é uma opção, porém, pode ser que outros testes também sejam. Para que se possa observar verdadeiramente a adequabilidade do teste escolhido para o modelo são necessários estudos mais aprofundados e validações.

Auxiliando na definição final do modelo de avaliação, o teste de permutação de Fisher foi aplicado tanto nos dados objetivos quanto nos dados subjetivos. Uma vez que foram considerados diferentes cenários dos sistemas de RV para cada técnica estereoscópica, os valores das métricas em tais cenários foram analisados em forma de blocos, ou seja, as métricas foram agrupadas de modo que, durante as permutações, tais métricas fossem deslocadas em conjunto.

Esse processo possibilitou a definição final do modelo de avaliação, aplicando o referido teste estatístico no experimento exploratório. O resultado do teste para o simulador e o jogo está descrito no capítulo 6.

4.2.1 Especificação matemática

Para dar continuidade à análise estatística, procurou-se formular um equacionamento genérico e inteligível que permita atribuir uma nota de desempenho (no intervalo de zero a dez) ao objeto sob avaliação. Esta nota final pode ser usada como um veredicto sobre o desempenho de uma técnica estereoscópica com relação ao fornecimento de percepção de tridimensionalidade em um determinado contexto. Após a definição do teste de permutação de Fisher como teste estatístico a ser utilizado no modelo de avaliação, verificou-se a possibilidade de explorar o resultado do referido teste de forma a compor a nota citada, calculando-se o número de vezes em que uma técnica obtém melhor desempenho que a outra durante o teste de permutação de Fisher.

Assim, o modelo final de avaliação deveria: (1) ser capaz de especificar uma nota final no intervalo de zero a dez para cada técnica avaliada; e (2) usar, para gerar a nota final, duas notas para cada técnica estereoscópica avaliada: uma objetiva, resultante da coleta de dados objetivos (referentes a tempo, erros e acertos capturados durante o

experimento) e outra subjetiva, resultante da coleta de dados subjetivos (dados provenientes dos questionários respondidos pelos voluntários).

Uma análise baseada em regras matemáticas para o modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade foi definida e está detalhadamente descrita na seção 5.4.

4.3 Considerações finais do capítulo

Este capítulo apresentou a metodologia aplicada no desenvolvimento do modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade para sistemas de RV estereoscópicos, na qual foram conduzidos experimentos que serviram de base para definição do modelo. Os capítulos 5 e 6 apresentam os resultados alcançados nesta pesquisa, que incluem o modelo de avaliação proposto, além dos resultados do experimento exploratório descrito neste capítulo.

5 Modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade

O modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade para sistemas de RV estereoscópicos estabelece um roteiro para mensurar a percepção de tridimensionalidade em AVs 3D estereoscópicos que permitem a manipulação de objetos. Assim, oferece uma forma de comparar diferentes técnicas estereoscópicas aplicadas em um mesmo sistema de RV. Com isso, fornece auxílio na escolha de uma técnica estereoscópica para um sistema por meio da avaliação da percepção de distância, profundidade e imersão de usuários.

O referido modelo é um guia objetivo e sistemático composto por um roteiro de tarefas a serem executadas, agregado a um programa feito na linguagem R, ambos disponíveis em http://e.usp.br/7p1. De forma geral, a utilização do modelo proposto requer a execução de um experimento com um sistema de RV, seguida da análise dos dados por meio do programa fornecido. O sistema de RV deve cumprir os seguintes requisitos:

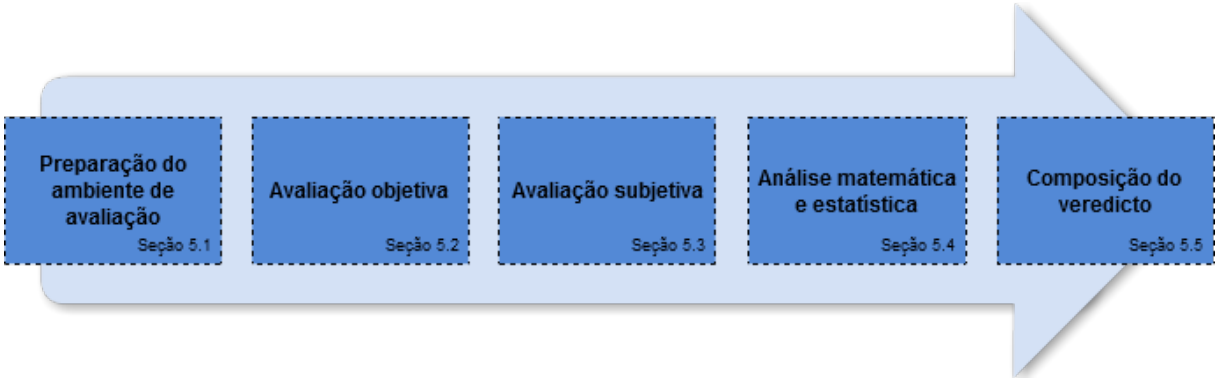
- possuir versões que usam diferentes técnicas de estereoscopia, sendo uma versão para cada técnica que se deseja avaliar;
- permitir a execução de pelo menos uma tarefa de manipulação de objetos no AV, de forma que sejam coletados taxa de erros ou acertos e tempo para completar a tarefa;
- permitir a geração de diferentes cenários, a partir de diferentes parâmetros inerentes ao sistema, tais como distância entre objetos ou tamanho dos objetos.

Considerando os requisitos apresentados, enfatiza-se que o modelo é voltado para desenvolvedores de sistemas da área de RV.

O programa disponível no modelo analisa dados objetivos e subjetivos gerados pelo experimento citado e fornece uma nota final comparativa entre as duas (ou mais) técnicas de estereoscopia sob avaliação.

Na figura 39 é apresentado o modelo proposto de avaliação da percepção de tridimensionalidade, considerando cinco módulos, descritos na sequência. Quando pertinente, exemplos são apresentados para facilitar a compreensão dos módulos do modelo.

Figura 39 – Estrutura do modelo de avaliação



Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

5.1 Preparação do ambiente de avaliação

Este primeiro módulo requer a preparação do sistema de RV que será usado no experimento, de forma a atender os requisitos listados anteriormente. Esta preparação envolve a geração de versões do sistema que atenda às especificações necessárias ao modelo.

Primeiramente, quatro ou mais cenários devem ser construídos com a modificação do tamanho de objetos e com a variação da distância de um objeto ao observador. Dois exemplos de versões com a variação de tais parâmetros foram apresentados na seção 4.1.1, nos quais foram geradas quatro versões diferentes para cada sistema apresentado, mudando-se a distância e o tamanho dos objetos nos cenários.

5.2 Avaliação objetiva

Esta avaliação consiste em duas etapas simultâneas:

- execução da tarefa – consiste na condução do experimento propriamente dito, no qual voluntários utilizam o AV 3D, considerando os cenários do sistema preparados no módulo anterior, visando a executar a tarefa de manipulação previamente definida. A seção 4.1.2 exemplifica a condução de experimentos com 20 usuários.
- coleta de dados – consiste em capturar interações do usuário no sistema, de tal forma que se identifique a taxa de erros (exemplo: colisão com objetos errados) – ou acertos (exemplo: posicionar objetos no local correto) – e o tempo (exemplo: tempo para completar uma tarefa), que compõem dados objetivos. Como exemplo, nos sistemas

apresentados na seção 4.1, a captura de interações foi implementada no AV com auxílio das ferramentas oferecidas pela plataforma de desenvolvimento citada no capítulo 4 (Seção 4.1.1). À medida que cada usuário finalizava a interação com um cenário, a taxa de erros (ou acertos) e o tempo eram apresentados na tela. Porém, a coleta de dados pode ser feita de forma manual, de modo que a medida que o usuário executa a tarefa, o avaliador registra manualmente tais dados.

5.3 Avaliação subjetiva

Na avaliação subjetiva, é necessária a realização de:

- coleta de dados – refere-se à coleta de dados na escala de um a dez referente a um questionário respondido pelos voluntários que participaram do experimento, a ser detalhado no próximo item. Por exemplo, no experimento exploratório apresentado na seção 4.1.2, o questionário foi aplicado para que os usuários registrassem suas respostas ao final de cada teste com uma técnica, em cada sistema;
- questionário – os voluntários respondem a um questionário (Apêndice D) relacionado à tridimensionalidade percebida no ambiente. O questionário foi elaborado para o modelo de avaliação proposto conforme um questionário da literatura (WITMER; SINGER, 1998), adicionalmente a questões relativas a cansaço e desconforto do usuário em relação a uma técnica estereoscópica.

5.4 Análise matemática e estatística

Esta fase refere-se à análise matemática e estatística realizada com auxílio do programa computacional (na linguagem de programação R) que compõe o modelo de avaliação. Vale ressaltar que esta análise foi definida após estudos de testes estatísticos (Seção 4.2).

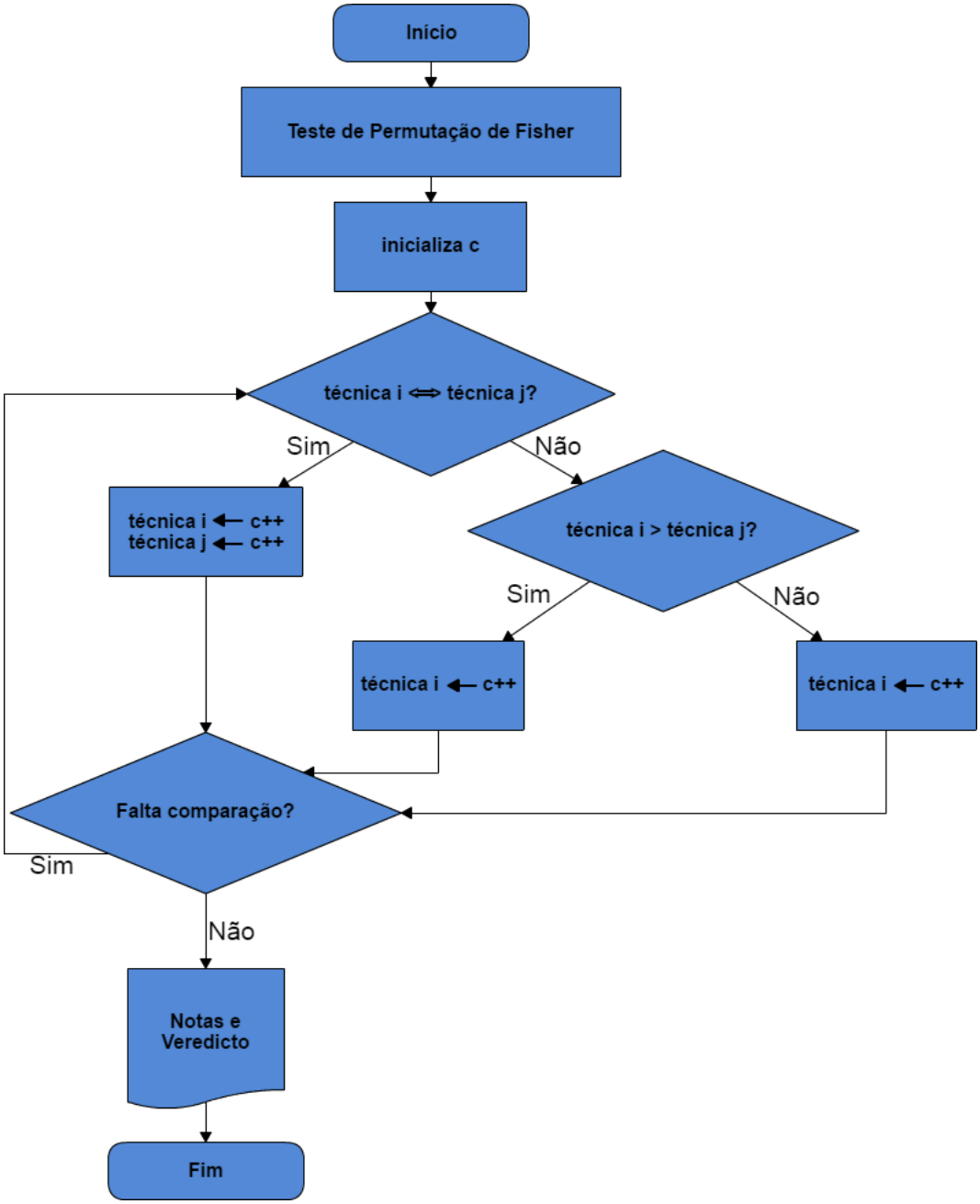
A figura 40 mostra o fluxo de processamento da análise matemática e estatística para os dados objetivos e subjetivos. Os termos técnica i e técnica j correspondem ao par de técnicas estereoscópicas comparadas por vez no teste de permutação de Fisher; $\boldsymbol{c}$ é um valor que trabalha como uma constante de normalização e é obtido por meio da equação 1,

em que t é a quantidade de técnicas estereoscópicas, m é a quantidade de métricas e s é a quantidade de sistemas.

$$c = \frac{10}{(t-1) \cdot m \cdot s} \tag{1}$$

Como exemplo, suponha um experimento que avalia duas técnicas estereoscópicas e considera duas métricas em um sistema. Assim, $t = 2$, $m = 2$ e $s = 1$. Aplicando a equação 1, é retornado o valor $c = 5$.

Figura 40 – Fluxograma para análise matemática e estatística do modelo de avaliação



Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

O processo mostrado no fluxograma da figura 40 se dá a partir da comparação entre a técnica i e a técnica j que, se forem equivalentes, ou seja, se não houver diferença estatística significativa entre elas (técnica $i \Leftrightarrow$ técnica j), ambas recebem o valor c, correspondente à constante de normalização. Uma vez que a técnica i é superior à técnica j, ou seja, mostra melhor desempenho (técnica $i >$ técnica j), a técnica i recebe o valor c, caso contrário, a técnica j recebe c. A etapa "Falta comparação" significa que, para um número k de técnicas a serem comparadas, o processo se repete após um total de $(\frac{k(k-1)}{2})m$ comparações. Por exemplo, se um experimento avalia duas técnicas estereoscópicas, então o número de comparações é 2; se avalia três técnicas, então são feitas 6 comparações. Ao final, tanto a técnica i quanto a técnica j obtém duas notas N (de zero a dez): uma nota objetiva e uma nota subjetiva, que podem então ser utilizadas para inferência de um veredicto. Tal veredicto é detalhado na seção 5.5.

Em resumo, tanto os dados objetivos como os dados subjetivos são analisados estatisticamente com o teste de permutação de Fisher, no intuito de identificar diferenças significativas entre as técnicas estereoscópicas em avaliação. Em seguida, regras são aplicadas com base no resultado do teste estatístico para que se produza duas notas N (de zero a dez): uma nota objetiva e uma nota subjetiva para cada técnica estereoscópica.

5.4.1 Uso do teste de permutação de Fisher

O teste de permutação de Fisher para o modelo aponta técnicas estereoscópicas como tratamentos a serem comparados, analisando os dados objetivos e subjetivos. Na análise com os dados objetivos, os valores de cada métrica são agrupados considerando os diferentes cenários do sistema, gerados no módulo 5.1. Ao fazer as permutações, esses grupos são deslocados. Na análise com os dados subjetivos, as notas do questionário são consideradas. Esse processo é feito no programa em R desenvolvido para o modelo.

Para exemplificar o processo de análise com o teste de permutação de Fisher, a partir do exemplo citado na definição da constante $\boldsymbol{c}$, suponha que se deseja testar no sistema a técnica 1 e a técnica 2 e que as métricas consideradas são taxa de erros e tempo. O modelo sugere avaliar objetivamente por meio do uso do AV estereoscópico e subjetivamente por meio do questionário previamente estabelecido. Assim, cinco usuários são submetidos a testar o ambiente e obtêm o desempenho mostrado na tabela 5 e, ao

final do teste com cada técnica estereoscópica, respondem o questionário, fornecendo notas mostradas na tabela 6.

Tabela 5 – Simulação de desempenho em um dado experimento

		técnica 1		técnica 2	
sujeito	**cenário**	**erros**	**tempo**	**erros**	**tempo**
1	A	21	17	8	4
	B	18	14	14	7
	C	8	9	9	4
	D	9	7	5	2
2	A	16	17	1	5
	B	19	27	8	21
	C	7	10	7	6
	D	6	19	12	5
3	A	25	21	0	4
	B	14	34	8	3
	C	12	6	9	19
	D	13	11	2	9
4	A	11	24	7	11
	B	15	13	3	18
	C	12	18	4	4
	D	9	14	2	2
5	A	30	18	2	3
	B	17	13	5	3
	C	3	8	2	3
	D	4	10	4	4

Tabela 6 – Simulação de notas do questionário para um dado experimento

	sujeito 1		sujeito 2		sujeito 3		sujeito 4		sujeito 5	
	técnica 1	**técnica 2**	**técnica 1**	**técnica 2**	**técnica 1**	**técnica 2**	**técnica 1**	**técnica 2**	**técnica 1**	**técnica 2**
questão 1	1	10	8	10	8	10	7	9	7	8
questão 2	4	10	9	10	10	10	8	7	7	6
questão 3	6	10	10	10	6	10	7	10	10	10
questão 4	4	10	1	1	8	9	8	8	6	8
questão 5	3	10	6	6	9	10	8	10	7	9
questão 6	2	10	1	4	9	10	8	8	7	7
questão 7	8	6	7	4	7	9	8	9	7	7
questão 8	2	10	9	10	7	10	7	8	8	9
questão 9	5	10	7	4	9	9	8	10	7	8
questão 10	5	10	1	1	10	9	8	8	7	7
questão 11	3	10	9	8	10	10	9	10	7	7
questão 12	8	10	8	10	10	10	8	9	7	8

Com auxílio do programa em R, esses dados são submetidos ao teste de permutação de Fisher. O programa retorna o resultado do teste para os dados objetivos, como mostrado na tabela 7. Os valores 7,85 para erros e 8,65 para tempo indicam a diferença das médias entre as técnicas, resultado em melhor desempenho para a técnica 2. O valor p encontrado no teste de permutação de Fisher indica uma diferença estatística significativa tanto para taxa de erros quanto para tempo a 90% de confiança, pois o p-valor $< 0{,}1$.

Tabela 7 – Resultado do teste de permutação de Fisher para os dados objetivos do exemplo

métrica	técnica 1 x técnica 2
Taxa de erros	7,85 (p = 0,0622)
Tempo	8,65 (p = 0,0638)

O teste de permutação de Fisher nos dados subjetivos é utilizado similarmente aos dados objetivos e o resultado está apresentado na tabela 8.

Tabela 8 – Resultado do teste de permutação de Fisher para os dados subjetivos do exemplo

	técnica 1 x técnica 2
questão 1	-3,2 (p = 0,0671)
questão 2	-1,0 (p = 0,1271)
questão 3	-2,2 (p = 1,0000)
questão 4	-1,8 (p = 0,0653)
questão 5	-2,4 (p = 0,7575)
questão 6	-2,4 (p = 0,0605)
questão 7	0,4 (p = 1,0000)
questão 8	-2,8 (p = 0,8684)
questão 9	-1,0 (p = 0,1272)
questão 10	-0,8 (p = 0,1897)
questão 11	-1,4 (p = 0,6283)
questão 12	-1,2 (p = 0,5020)

Após a análise estatística, o próximo passo refere-se à atribuição de uma nota objetiva e uma subjetiva para cada técnica estereoscópica avaliada. O processo estabelecido para cálculo das notas de uma técnica, a ser detalhado nas subseções 5.4.2 e 5.4.3, também é feito no programa em R desenvolvido para o modelo.

5.4.2 Cálculo da nota objetiva

Para calcular uma nota objetiva para cada técnica estereoscópica, considerando a comparação de tais técnicas a partir das métricas taxa de erros (ou de acertos) e tempo

coletadas na avaliação objetiva, a equação 2 é utilizada. Para m métricas e s sistemas, a nota objetiva final $N^{O}_{m,s}$ é dada por:

$$N^{O}_{m,s}(i) = c \cdot n_{eq} + c \cdot n_{sup} \tag{2}$$

Na equação 2, n_{eq} indica a quantidade de vezes que a técnica i é considerada equivalente à técnica j sob a métrica m no sistema s, resultado verificado quando o teste de permutação de Fisher retorna um p-valor$_{m,s}(i,j) > 0{,}1$; n_{sup} refere-se a quantidade de vezes que a técnica i é considerada superior à técnica j, ou seja, o teste de permutação de Fisher retorna um p-valor$_{m,s}(i,j) < 0{,}1$ e a média $\bar{x}_{\mathrm{m,s}}(i) > \bar{x}_{\mathrm{m,s}}(j)$.

Em suma, o objetivo da equação 1 é fornecer uma nota de no máximo dez para uma técnica, portanto a fórmula considera o número de técnicas, métricas e sistemas totais para possibilitar essa normalização. Reafirmando o processo descrito anteriormente com o fluxograma, a equação 2 soma um valor que ao ser acrescentado toda vez que uma técnica obtém melhor desempenho ou empata, de acordo com o resultado do teste de permutação de Fisher, que compara uma técnica com a outra, compondo sua nota final.

Retomando o exemplo do experimento comparação entre a técnica 1 e a técnica 2, a equação 2 é aplicada para atribuir a nota objetiva às técnicas estereoscópicas de acordo com o resultado do teste de permutação de Fisher. Após a constatação de que há uma diferença estatística significativa, o valor c foi somado todas as vezes que a técnica 1 foi superior à técnica 2 e vice-versa, obtendo as notas $N^{O}_{2,1}(1)$ para a técnica $1 = 0$ e $N^{O}_{2,1}(2)$ para a técnica $2 = 10$.

A nota objetiva da técnica 1 obteve resultado zero devido aos valores das diferenças entre as duas técnicas referentes à taxa de erros observados na tabela acima indicarem menor desempenho para a primeira técnica estereoscópica testada, assim como aos valores das diferenças entre as técnicas referentes à métrica tempo, portanto o valor de a ser somado relativo às comparações é zero. Enquanto que a nota objetiva da técnica 2 ser 10 está relacionado ao fato de que essa técnica é superior e portanto é somado o valor de $c = 5$ em ambas comparações.

5.4.3 Cálculo da nota subjetiva

Para calcular uma nota subjetiva para cada técnica estereoscópica, considerando a comparação de tais técnicas a partir de notas atribuídas pelos participantes no questionário de avaliação subjetiva, a constante de normalização $\boldsymbol{c}$ é calculada por meio da quantidade de técnicas (t), do número de questões do questionário (q) e de sistemas (s), como mostra a equação 3:

$$c = \frac{10}{(t-1) \cdot q \cdot s} \tag{3}$$

A equação 4 é então aplicada, similarmente à equação 2, empregada para a composição da nota objetiva, explicada anteriormente:

$$N^{S}_{q,s}(i) = c \cdot n_{eq} + c \cdot n_{sup} \tag{4}$$

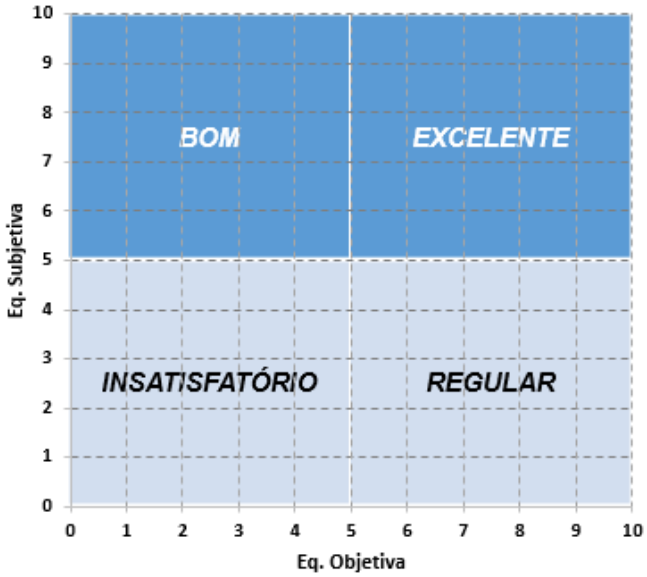
Reavendo o exemplo citado, a equação 4 é aplicada e resulta nas notas subjetivas $N^{S}_{12,1}(1)$ para técnica 1 = 7,5 e $N^{S}_{12,1}(2)$ para técnica 2 = 10,0, respectivamente, compostas pela constante de normalização $\boldsymbol{c}$ encontrada a partir da equação 3 ($\boldsymbol{c}$ = 0,83.) As notas objetiva e subjetiva para cada técnica são combinadas e classificadas como explicado na seção 5.5.

5.5 Composição do veredicto

Este módulo do modelo mostra o resultado da avaliação do sistema composto pelas suas notas com cada técnica estereoscópica, provenientes das avaliações objetiva e subjetiva. A nota medirá o desempenho que uma técnica estereoscópica em determinado sistema obtém em relação ao fornecimento de percepção de tridimensionalidade. A técnica estereoscópica poderá então ser classificada de acordo com a combinação das suas notas como ilustrado no gráfico da figura 41. O veredicto final é calculado da seguinte forma: (1) observa-se o valor atribuído à nota objetiva, verificando a sua posição no eixo horizontal do gráfico da figura 41; (2) observa-se o valor atribuído à nota subjetiva, verificando a sua posição no eixo vertical do gráfico da figura 41; e (3) observa-se em qual quadrante do gráfico as notas se cruzam, determinando assim o veredicto.

Os seguintes veredictos são possíveis:

Figura 41 – Gráfico do veredicto



Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

- Insatisfatório: não atende ou atende minimamente às expectativas quanto ao padrão esperado de desempenho definido para o fornecimento de percepção de tridimensionalidade;
- Regular: atende parcialmente às expectativas quanto ao padrão esperado de desempenho definido para o fornecimento de percepção de tridimensionalidade.
- Bom: atende às expectativas quanto ao padrão esperado de desempenho definido para o fornecimento de percepção de tridimensionalidade.
- Excelente: supera as expectativas quanto ao padrão esperado de desempenho definido para o fornecimento de percepção de tridimensionalidade.

No exemplo apresentado na seção anterior, ao combinar os resultados das notas objetiva e subjetiva, a técnica 1, com notas $N^{O}_{2,1}(1)$ para técnica 1 = 0 e $N^{S}_{12,1}(1)$ para técnica 1 = 7,5, respectivamente, se enquadra na classificação de "bom". Já a técnica 2 com notas $N^{O}_{2,1}(2)$ para técnica 2 = 10,0 e $N^{S}_{12,1}(2)$ para técnica 2 = 10,0 se classifica como "excelente".

O modelo de avaliação proposto fornece ao sistema de RV notas para cada técnica estereoscópica avaliada, cabendo ao avaliador decidir por qual técnica estereoscópica utilizar no sistema de acordo com sua classificação. Além disso, todas as rotinas implementadas no programa em R foram feitas para auxiliar a aplicação do modelo de avaliação, calculando resultados para o teste de permutação de Fisher e as notas objetivas e subjetivas para

as técnicas estereoscópicas. O exemplo descrito ajuda a compreender a aplicação do modelo, porém foi realizada uma análise dos resultados do experimento exploratório com o simulador e o jogo mencionados no capítulo 4, que estão apresentados no capítulo 6, no qual é possível observar a aplicação das equações em experimentos reais.

6 Resultados experimentais

6.1 Resultado do experimento exploratório

Para viabilizar a definição do modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade foi conduzido um experimento com a avaliação de dois sistemas de RV (simulador VIDA Odonto e jogo Esquilo Corredor 3D), conforme apresentado no capítulo 4. Durante o experimento houve a coleta dos dados provenientes da execução das tarefas e de um questionário respondido pelos voluntários. Com esses dados, foram experimentadas algumas análises estatísticas que poderiam fazer parte do modelo de avaliação.

A primeira análise foi uma análise inferencial, que consistiu em submeter tais dados ao teste de *Friedman* com a aplicação do *Wilcoxon-Signed Rank* como teste de comparações múltiplas (Apêndice E). Em seguida, foi conduzida uma análise estatística descritiva (Seção 6.1.1) e outra análise estatística inferencial com o teste de Permutação de Fisher, que faz efetivamente parte do modelo e é apresentada na seção 6.1.2. Para finalizar, as equações descritas no modelo de avaliação proposto (Seções 5.4.2 e 5.4.3) são aplicadas de forma a compor um veredicto para cada técnica estereoscópica avaliada, considerando os dados obtidos com os dois sistemas testados, que é apresentado na seção 6.1.3.

6.1.1 Análise descritiva

Inicialmente, uma análise descritiva dos dados foi realizada com as métricas tempo e taxa de erros na avaliação com o simulador "VIDA Odonto", e tempo e taxa de acertos na avaliação com o jogo "Esquilo Corredor 3D".

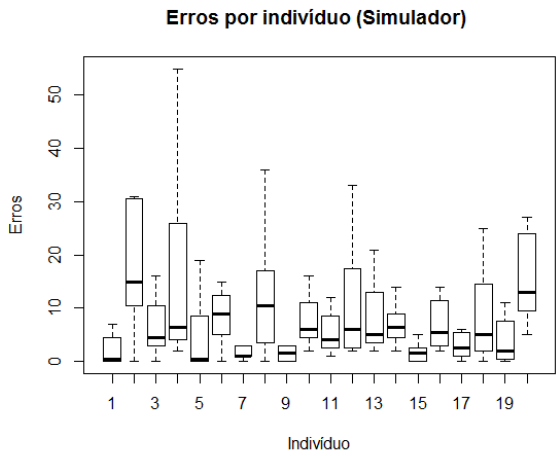
As figuras 42 e 43 apresentam o comportamento dos dados coletados na execução dos testes com o simulador. Os gráficos das figuras 42a, 42b, 43a e 43b apresentam diagramas de caixa (*boxplot*) que representam a distribuição dos conjuntos de dados englobando as métricas taxa de erros por indivíduo e tempo por indivíduo, respectivamente. Os conjuntos de dados consideram as quatro configurações de parâmetros e as três técnicas estereoscópicas, totalizando 12 ocorrências para cada indivíduo. As figuras 42c e 43c ilustram o diagrama de dispersão com relação aos mesmos dados, indicando a variabilidade acentuada das ocorrências.

A figura 44a mostra a quantidade de erros totais para cada técnica estereoscópica para o primeiro sistema de RV avaliado (simulador), verificando que a técnica implementada pelos *shutter glasses* registrou um menor número de erros. A figura 44b indica os tempos totais registrados para cada técnica, no qual os *shutter glasses* aparentam, de acordo com o gráfico, terem obtido melhor desempenho, ou seja, menor tempo.

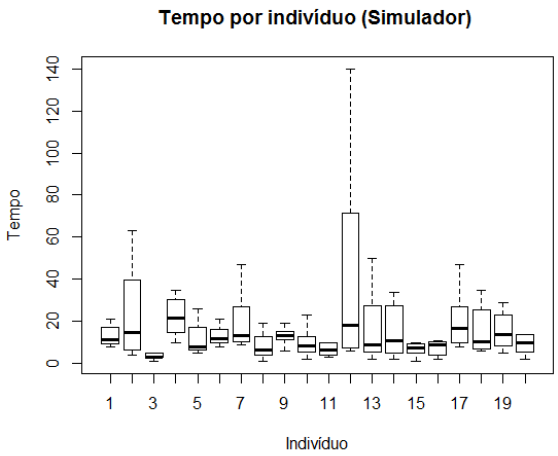
Os gráficos da figura 45a apresentam o número total de acertos para cada técnica estereoscópica no segundo sistema de RV avaliado (jogo). Aparentemente, os óculos anaglifo colorido não apresentam uma diferença significativa em comparação aos *shutter glasses*. Já o gráfico da figura 45b indica a métrica tempo para as três técnicas.

Figura 42 – Análise de métricas para o Simulador

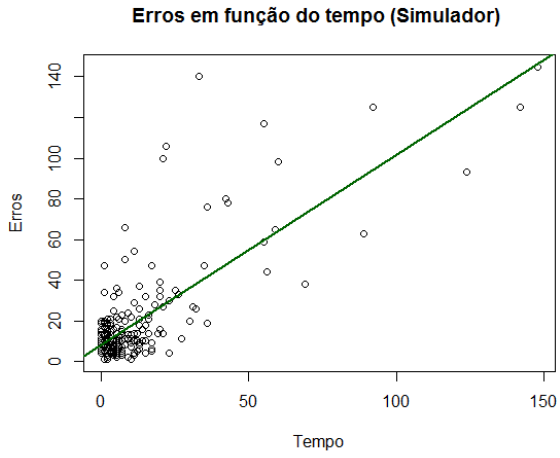
(a) Simulador: erros por indivíduo



(b) Simulador: tempo por indivíduo



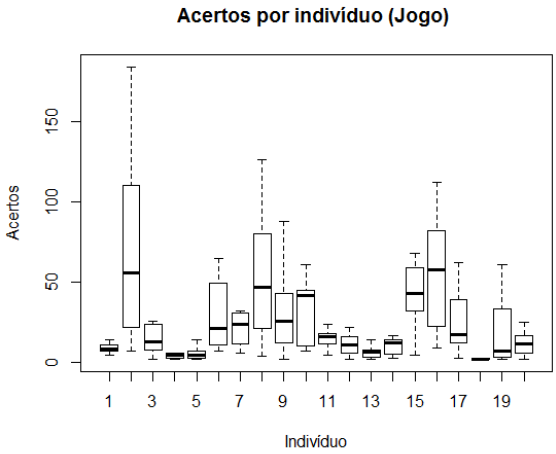
(c) Simulador: erros em função do tempo



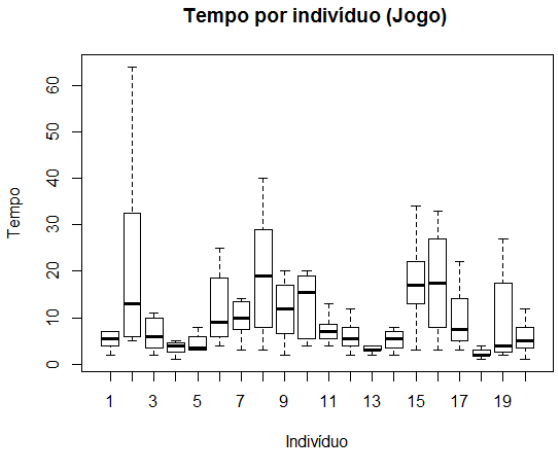
Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

Figura 43 – Análise de métricas para o Jogo

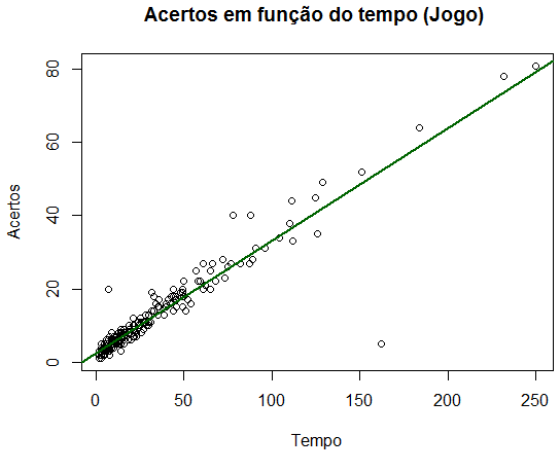
(a) Jogo: acertos por indivíduo



(b) Jogo: tempo por indivíduo



(c) Jogo: acertos em função do tempo



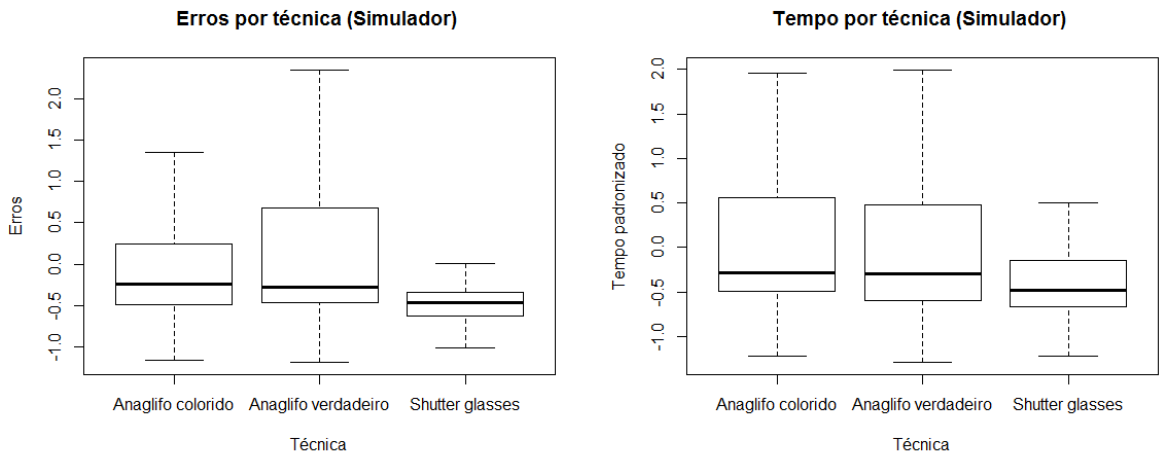
Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

6.1.2 Análise estatística inferencial para o modelo de avaliação

O teste de permutação de Fisher foi aplicado para verificar se havia diferenças estatísticas significativas entre as técnicas estereoscópicas nos dois sistemas. O teste de permutação de Fisher possibilita a análise das diferenças entre as amostras (técnicas estereoscópicas) considerando todas as configurações de parâmetros de uma vez, realizada na forma de blocos, pois, para cada técnica estereoscópica, existem quatro configurações de parâmetros no presente estudo. As tabelas 9, 10, 11 e 12 mostram os resultados do teste de permutação de Fisher comparando os óculos anaglifo colorido, anaglifo verdadeiro e *shutter glasses*.

Figura 44 – Métricas por técnica - Simulador

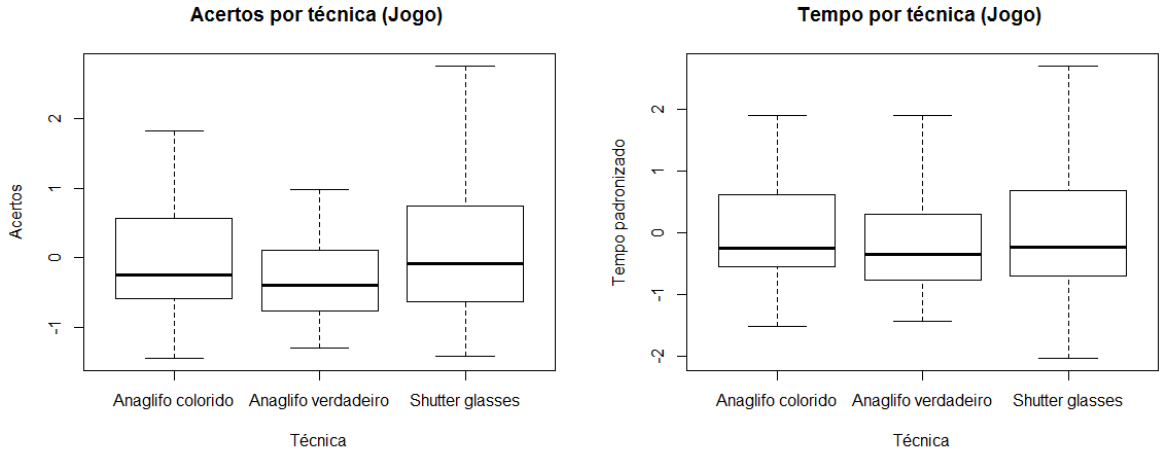
(a) Simulador: erros por técnica (b) Simulador: tempo por técnica



Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

Figura 45 – Métricas por técnica - Jogo

(a) Jogo: acertos por técnica (b) Jogo: tempo por técnica



Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

Os p-valores estão entre parênteses e são utilizados para indicar as diferenças estatísticas com α= 0,1 (90% de confiança). Já os valores registrados anteriormente aos *p*-valores dizem respeito a diferença de médias entre as amostras. Com relação às métricas taxa de erros e tempo, no simulador "VIDA Odonto" (Tabela 9), percebe-se que, entre os óculos anaglifo colorido e anaglifo verdadeiro, os p-valores encontrados não indicaram diferenças estatísticas significativas. As diferenças significativas encontradas nas comparações dos pares óculos anaglifo colorido *x shutter glasses* e óculos anaglifo verdadeiro *x shutter glasses*, revelam que os *shutter glasses* se sobressaem com melhor desempenho.

Tabela 9 – Resultados do teste de permutação de Fisher para os dados objetivos comparando técnicas estereoscópicas no Simulador

	anaglifo colorido x anaglifo verdadeiro	anaglifo colorido x *shutter glasses*	anaglifo verdadeiro x *shutter glasses*
taxa de erros	-3,5696 (p = 0,4109)	6,7922 (p = 0,0001)	10,6974 (p = 0,0022)
tempo	-5,5769 (p = 0,2558)	8,8077 (p = 0,0035)	14,3250 (p = 0,0008)

Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

No jogo "Esquilo Corredor 3D", os resultados do teste de permutação de Fisher (Tabela 10) mostram que os óculos anaglifo colorido, quando comparada aos óculos verdadeiro, não apresentam diferenças estatísticas significativas com relação às duas métricas (taxa de erros e tempo). Observando a métrica taxa de acertos, a comparação dos óculos anaglifo colorido e *shutter glasses* indica que há uma diferença estatística significativa, evidenciando os *shutter glasses* como aquele com melhor desempenho. Porém, observando a métrica tempo, a diferença não é significativa. Já entre os óculos anaglifo verdadeiro e *shutter glasses*, para ambas as métricas, há diferenças significativas, podendo-se concluir que os *shutter glasses* obtiveram desempenho melhor que os óculos anaglifo verdadeiro.

Tabela 10 – Resultados do teste de permutação de Fisher para os dados objetivos comparando técnicas estereoscópicas no Jogo

	anaglifo colorido x anaglifo verdadeiro	anaglifo colorido x *shutter glasses*	anaglifo verdadeiro x *shutter glasses*
taxa de acertos	5,8608 (p = 0,1525)	-10,1139 (p = 0,0509)	-16,4125 (p = 0,0153)
tempo	2,2875 (p = 0,1355)	-2,3038 (p = 0,2086)	-4,5949 (p = 0,0205)

Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

A tabela 11 mostra o resultado do teste de permutação de Fisher para os dados subjetivos coletados com o simulador "VIDA Odonto", comparando os dispositivos que

implementam as técnicas estereoscópicas em cada questão (q) referente ao questionário aplicado. os óculos anaglifo colorido, em relação aos óculos anaglifo verdadeiro, obtêm uma diferença estatística significativa na atribuição de suas notas apenas na questão 3, que refere-se à rapidez com que o usuário se ajusta à experiência do AV com o dispositivo estereoscópico (Apêndice D). Entre os óculos anaglifo colorido e *shutter glasses*, diferenças são encontradas em todas as questões em que o p-valor $< 0{,}1$, totalizando 83,3%. E, por fim, os óculos anaglifo verdadeiro se mostram com diferença significativa em 100% das questões em comparação aos *shutter glasses*, o que indica que os voluntários avaliaram mais positivamente os *shutter glasses*.

Tabela 11 – Resultados do teste de permutação de Fisher para os dados subjetivos comparando técnicas estereoscópicas no Simulador

	anaglifo colorido x anaglifo verdadeiro	anaglifo colorido x *shutter glassses*	anaglifo colorido x *shutter glasses*
questão 1	0,65 (p = 0,1738)	-2,85 (p = 0,0002)	-3,50 (p = 0,0001)
questão 2	0,65 (p = 0,2095)	-2,45 (p = 0,0002)	-3,10 (p = 0,0009)
questão 3	1,45 (p = 0,0201)	-0,70 (p = 0,2027)	-2,15 (p = 0,0002)
questão 4	0,10 (p = 0,9157)	-1,75 (p = 0,0004)	-1,85 (p = 0,0012)
questão 5	0,35 (p = 0,5484)	-1,70 (p = 0,0004)	-2,05 (p = 0,0011)
questão 6	0,05 (p = 1,0000)	-1,20 (p = 0,0093)	-1,25 (p = 0,0851)
questão 7	0,50 (p = 0,4956)	-0,70 (p = 0,1703)	-1,20 (p = 0,0569)
questão 8	0,90 (p = 0,1484)	-2,15 (p = 0,0056)	-3,05 (p = 0,0017)
questão 9	0,65 (p = 0,1413)	-1,15 (p = 0,0183)	-1,80 (p = 0,0004)
questão 10	0,15 (p = 0,6931)	-1,15 (p = 0,0067)	-1,30 (p = 0,0040)
questão 11	0,05 (p = 1,0000)	-1,10 (p = 0,0014)	-1,15 (p = 0,0063)
questão 12	0,10 (p = 0,9216)	-2,70 (p = 0,0014)	-2,80 (p = 0,0009)

Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

A tabela 12 exibe o resultado do referido teste estatístico para os dados subjetivos coletados sobre o jogo “Esquilo Corredor 3D”. Para os óculos anaglifo colorido, apenas as questões 3 e 10 mostram uma diferença significativa em relação aos óculos anaglifo

verdadeiro. Apenas com relação às questões 7 e 11 na comparação entre os óculos anaglifo colorido e *shutter glasses*, os p-valores indicam que não há diferença significativa entre tais técnicas, enquanto 83,3% das questões obtiveram p-valores que indicam que são diferentes significativamente. Já entre os óculos anaglifo verdadeiro e *shutter glasses*, apenas a questão 7, que refere-se a capacidade de prever o que acontece em resposta às ações do usuário, indica que não há diferença entre os dispositivos no quesito determinado pela questão. As demais apresentam diferença significativa, representando 90,8%.

Tabela 12 – Resultados do teste de permutação de Fisher para os dados subjetivos comparando técnicas estereoscópicas no Jogo

	anglifo colorido x anaglifo verdadeiro	anaglifo colorido x *shutter glasses*	anaglifo verdadeiro x *shutter glasses*
questão 1	-0,10 (p = 0,9389)	-3,40 (p = 0,0003)	-3,30 (p = 0,0001)
questão 2	0,40 (p = 0,5557)	-2,80 (p = 0,0007)	-3,20 (p = 0,0001)
questão 3	0,90 (p = 0,0748)	-1,55 (p = 0,0014)	-2,45 (p = 0,0001)
questão 4	0,05 (p = 1,0000)	-1,30 (p = 0,0367)	-1,35 (p = 0,0162)
questão 5	-0,50 (p = 0,3940)	-1,35 (p = 0,0189)	-0,85 (p = 0,0260)
questão 6	-0,45 (p = 0,2974)	-1,25 (p = 0,0126)	-0,80 (p = 0,0087)
questão 7	0,25 (p = 0,6456)	-0,10 (p = 0,9039)	-0,35 (p = 0,3719)
questão 8	0,70 (p = 0,1696)	-3,00 (p = 0,0009)	-3,70 (p = 0,0002)
questão 9	0,25 (p = 0,6008)	-1,25 (p = 0,0319)	-1,50 (p = 0,0097)
questão 10	0,50 (p = 0,0378)	-0,85 (p = 0,0469)	-1,35 (p = 0,0013)
questão 11	-0,05 (p = 1,0000)	-0,70 (p = 0,1895)	-0,65 (p = 0,0780)
questão 12	0,10 (p = 0,8899)	-2,75 (p = 0,0001)	-2,85 (p = 0,0001)

Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

6.1.3 Análise com equações matemáticas

Os resultados anteriormente apresentados foram analisados com a finalidade de compor o modelo de avaliação proposto neste trabalho. A análise tecida resultou no

equacionamento apresentado nas seções 5.4.2 e 5.4.3. O equacionamento definido foi aplicado aos dados apresentados, considerando-se os seguintes valores para as variáveis:

- quantidade de técnicas de estereoscopia (t): 3
- quantidade de sistemas avaliados (s): 2
- quantidade de métricas consideradas (m): 2
- quantidade de questões da avaliação subjetiva (q): 12

Aplicando a equação 1 (Seção 5.4.2), que faz o cálculo de uma constante de normalização (c), para o experimento exploratório, considerando as variáveis t, s e m, o valor de c encontrado resulta em $c = 1{,}25$. Aplicando a equação 2, que gera uma nota objetiva para uma técnica estereoscópica, verifica-se que os óculos anaglifo colorido obtêm nota $N^{O}_{2,2} = 6{,}3$. Esta nota é obtida conforme a análise descrita a seguir.

Analisando novamente as tabelas 9 e 10, em relação ao desempenho dos óculos anaglifo colorido e anaglifo verdadeiro em ambos os sistemas para todas as métricas consideradas (taxa de erros no simulador, tempo no simulador, taxa de acertos no jogo, tempo no jogo), os dispositivos empatam, pois os p-valores resultantes do teste de permutação de Fisher são maiores que 0,1. Ao se analisar os óculos anaglifo colorido e *shutter glasses* na avaliação com o simulador, para todas as métricas, os óculos anaglifo colorido perde para os *shutter glasses*, pois os p-valores são menores que 0,1. No jogo, com relação à métrica tempo, os dispositivos empatam, pois o p-valor encontrado é maior que 0,1. Assim, para se atribuir uma nota aos óculos anaglifo colorido, o valor de c é somado a quantidade de vezes que o dispositivo citado empatou ou foi superior em relação à outra em cada métrica, conforme estabelecido na equação 2. Portanto, o valor de c é somado cinco vezes na composição da nota dos óculos anaglifo colorido.

O mesmo procedimento é feito para gerar as notas os óculos anaglifo verdadeiro, que obtêm $N^{O}_{2,2} = 5{,}0$ e dos *shutter glasses*, que obtêm $N^{O}_{2,2} = 10{,}0$.

A partir do teste de permutação de Fisher utilizado para a análise subjetiva dos dados do experimento exploratório descrita na seção anterior, a equação subjetiva definida para o modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade é aplicada. Similarmente ao processo de atribuição da nota objetiva, para se calcular a nota subjetiva de uma técnica estereoscópica é somado o valor de $\boldsymbol{c}$ todas as vezes que um dispositivo que implementa a técnica obtém melhor desempenho ou empata com outro dispositivo, considerando os p-valores de cada questão, conforme as tabelas 11 e 12.

Assim, são obtidos os seguintes resultados: $N^S_{12,2} = 5{,}8$ para os óculos anaglifo colorido; $N^S_{12,2} = 4{,}6$ para os óculos anaglifo verdadeiro; e $N^S_{12,2} = 10{,}0$ para os *shutter glasses*.

Com base no gráfico de veredicto do modelo de avaliação estabelecido na seção 5.5, figura 41, combinam-se as notas $N^O_{m,s}$ e $N^S_{q,s}$ em cada técnica estereoscópica, obtendo assim o resultado geral mostrado na tabela 13.

Tabela 13 – Resultado geral

	$N^O_{m,s}$	$N^S_{q,s}$	classificação
filtragem de cores por meio dos anaglifo colorido	6,3	5,8	excelente
filtragem de cores por meio dos anaglifo verdadeiro	5,0	4,6	regular
obturação da luz por meio dos *shutter glasses*	10,0	10,0	excelente

Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

Conclui-se dessa forma, que a técnica filtragem de cores por meio dos óculos anaglifo colorido é "excelente", superando as expectativas em relação ao desempenho de fornecer percepção de tridimensionalidade ao usuário, assim como a técnica obturação da luz por meio dos *shutter glasses*. Já a técnica filtragem de cores por meio dos óculos anaglifo verdadeiro obteve o resultado "regular", atendendo parcialmente as expectativas.

Considerando o modelo proposto, os óculos anaglifo colorido e *shutter glasses* nos referidos sistemas de RV são considerados similares. Assim, se for escolhida a técnica de menor custo, filtragem de cores por meio dos óculos anaglifo colorido, como técnica a ser utilizada nos sistemas avaliados, não causará prejuízos a percepção de tridimensionalidade dos usuários e seus desempenhos na execução das tarefas, considerando-se as premissas utilizadas como base para a elaboração do modelo de avaliação apresentado nesta dissertação.

6.2 Considerações finais do capítulo

Este capítulo apresentou os resultados obtidos com a aplicação do modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade em dois sistemas de RV a partir de um experimento exploratório.

Os resultados mostraram que, para o tipo de tarefa conduzido no experimento, a técnica de maior custo, obturação da luz por meio dos *shutter glasses*, obteve melhor desempenho com relação a técnica de menor custo (filtragem de cores por meio dos óculos

anaglifo verdadeiro). Porém, a técnica de filtragem de cores por meio dos óculos anaglifo colorido obteve um desempenho similar à técnica obturação da luz por meio dos *shutter glasses*, considerando-se as bases conceituais estabelecidas para a definição do modelo.

A partir dos resultados obtidos, as premissas estabelecidas na definição do modelo, as bases de definição do veredicto final fornecido pelo modelo devem ser discutidas, responsabilidade cumprida pelo capítulo a seguir.

7 Discussões

As discussões apresentadas no presente capítulo estão embasadas nos resultados dos experimentos realizados no decorrer da pesquisa. Os referidos experimentos exploraram alguns métodos e parâmetros existentes para avaliação da percepção de tridimensionalidade em ambientes 3D, com a utilização de técnicas estereoscópicas disponíveis no LApIS.

7.1 Avaliação das técnicas de estereoscopia

Nos experimentos, a técnica de maior custo, implementada pelo *shutter glasses*, gerou melhores resultados. Este fato pode ser devido essa técnica possibilitar fidelidade na visualização de cores e texturas dos objetos da cena, ao contrário da técnica de menor custo, filtragem de cores por meio dos óculos anaglifo verdadeiro, cuja visualização causa perda das cores originais. O mesmo ocorre em relação aos óculos anaglifo colorido que, apesar de possibilitar a minimização da perda de cores, essa distorção ainda é perceptível. Porém, no contexto considerado durante os experimentos conduzidos, os óculos anaglifo colorido obtiveram resultados mais aproximados dos *shutter glasses*, e sua utilização pode então ser levada em consideração sem prejudicar a percepção de tridimensionalidade do usuário, visto que ainda tem a vantagem de não necessitar de equipamentos de alto custo como os *shutter glasses*.

Além das características e dos prós e contras de cada técnica estereoscópica avaliada, é importante salientar que alguns fatores podem ter influenciado os resultados alcançados na pesquisa, inerentes à condução de cada experimento realizado. Esses fatores serão discutidos nas próximas seções, assim como os aspectos que dificultaram a definição do modelo de avaliação proposto na presente pesquisa.

7.2 Considerações sobre o Modelo proposto

7.2.1 Escopo, parâmetros e experimentos

A partir da realização do estudo experimental exploratório verificou-se alguns aspectos que dificultaram a definição do modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade. Primeiramente, diretrizes foram estabelecidas para condução do experimento

exploratório, realizado com o propósito de auxiliar na definição do modelo de avaliação (Seção 4.1).

A primeira diretriz foi delimitar um escopo de sistemas de RV que seriam avaliados, a fim de que tarefas pudessem ser definidas para a condução do experimento. Foi definido que os sistemas de RV deveriam possibilitar a tarefa de manipulação de objetos. Além disso, a ordem de apresentação das técnicas estereoscópicas foi definida de forma aleatória e uma quantidade maior de usuários foi considerada no experimento, de forma a minimizar efeitos devidos à quantidade limitada de participantes.

Durante a avaliação, as diferentes configurações (versões dos sistemas de RV) foram apresentadas sequencialmente, o que pode ter causado alguma influência nos resultados das análises mencionadas na seção 4.2 (com detalhes disponíveis no apêndice E). Porém, como foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre tais configurações, acredita-se que uma apresentação aleatória não iria gerar resultados muito divergentes e, além disso, as diferenças encontradas reforçam a necessidade de se considerar tais configurações no modelo de avaliação.

No modelo proposto, foram considerados os parâmetros mais avaliados na literatura: distância e tamanho de objetos. Além disso, a renderização dos AVs 3D com estereoscopia estabelece a construção de diferentes cenários com variações nos tamanhos de objetos e distâncias entre objetos e observador, formando assim diferentes versões do mesmo sistema. Não há uma escala específica para configurar idealmente tais parâmetros, mas é interessante que o avaliador gere versões do sistema que possam exercer influência no desempenho do usuário, principalmente que possam facilitar ou dificultar a manipulação dos objetos. Um exemplo é considerar alterar o tamanho do objeto para a metade ou o dobro do tamanho original. Da mesma forma, pode-se adotar alterar a distância da câmera para a metade ou o dobro da distância original. Considerando que cada sistema de RV já foi devidamente estudado para definir tamanho do objeto e distância da câmera mais adequados para seu propósito, as alterações sugeridas poderiam, de fato, contribuir para que houvesse variação nos erros, acertos e tempos mensurados durante a avaliação. Tais variações permitiriam obter medidas para as diferentes versões do sistema, possibilitando verificar o comportamento da percepção do usuário quando os parâmetros são alterados. Essas variações e esses parâmetros são necessários no modelo proposto. Como mencionado, no modelo proposto foram considerados os parâmetros distância e tamanho dos objetos.

Embora tais parâmetros sejam os mais citados na literatura, o modelo poderia, em trabalhos futuros, ser expandido para considerar novos parâmetros.

O modelo considera o ponto de vista do usuário, por meio de questionário a ser respondido sobre as sensações percebidas durante a execução das tarefas. Dificuldades foram encontradas na elaboração de tal questionário pelo fato de existirem vários questionários na literatura que poderiam ser adaptados para o contexto. Optou-se, portanto, pela adaptação de algumas questões citadas na literatura, além do acréscimo de perguntas acerca da importância estabelecida em quesitos como desconforto e cansaço visual, resultando no questionário apresentado no apêndice D.

7.2.2 Limitações

O modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade proposto neste trabalho apresenta algumas limitações além da delimitação do escopo apontada na seção 1.2. O escopo apresentado restringe que o modelo seja aplicado apenas a sistemas de RV que envolvem manipulação no AV por usuários de forma que possam ser coletados taxa de erros (ou acertos) e tempo para completar uma tarefa.

Na experimentação que auxiliou a definição do modelo, foram testados dois sistemas de RV renderizados com técnicas estereoscópicas. O modelo de avaliação proposto limita a avaliação de sistemas meramente estereoscópicos, não comparando com os seus respectivos monoscópicos. Ainda que seja algo passível de realizar, apenas retirando a renderização de estereoscopia, essa validação não foi feita. Porém, esse tipo de comparação é válido e pode trazer o benefício de decidir pelo uso ou não da estereoscopia em um sistema de RV.

Para o modelo, foi estabelecido que são configurados parâmetros no AV mediante modificação das cenas 3D de uma aplicação, gerando-se diferentes versões do mesmo sistema, o que pode constituir uma limitação de aplicabilidade do modelo, visto que esta tarefa exige a presença de um programador capaz de gerar tais versões. Embora a validação tenha ocorrido dessa maneira, é possível configurar tamanhos e distâncias sob outras perspectivas. Considerando que o objetivo é verificar o quanto um usuário erra ou acerta e o tempo que ele gasta para completar uma tarefa sob diferentes tamanhos e distâncias, pode-se, por exemplo, configurar *tamanhos* para o campo de visão oferecido ao

usuário e *distâncias* com relação ao espaço medido do observador à projeção visual, sem a obrigatoriedade de se programar novas versões do sistema.

Com relação ao simulador "VIDA Odonto", um dos sistemas de RV utilizados para a definição do modelo, em um ambiente real de execução, o aprendiz necessita de noções de profundidade para realizar a tarefa proposta (atingir o local adequado para bloquear o nervo). A agulha deve ser inserida no ponto correto para um procedimento bem sucedido. Conduzir a agulha depende da distância entre esta e o ponto, e do tamanho do ponto correto de inserção. A identificação correta de tais características está relacionada com a percepção de tridimensionalidade. Dessa forma, percepção de tridimensionalidade pode aproximar o treinamento virtual do real. Um ambiente de simulação com visualização limitada pode levar a erros durante o treinamento devido ao sistema, e não relacionado ao desempenho do estudante.

No jogo "Esquilo Corredor 3D", com a adição da percepção de tridimensionalidade proporcionada pela estereoscopia, é esperado que a percepção de tridimensionalidade possibilite melhor visualização do momento certo de manipular o esquilo de forma a alcançar suas nozes e seguir corretamente o caminho por onde deve passar. Sem essa percepção, o desempenho no jogo pode ficar prejudicado, e menos acertos podem ser cometidos.

Assim, os resultados obtidos nesta pesquisa são válidos para o contexto dos experimentos realizados. Portanto, apesar de acreditar-se que o modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade possa ser aplicado em sistemas de RV que contenham características semelhantes aos sistemas de RV testados, não se pode afirmar isso categoricamente, pois o modelo foi definido e validado a partir do contexto verificado. Mas vale reforçar que, para se utilizar o modelo, a aplicação deve possibilitar a contagem de erros ou acertos e tempo, além do ajuste de cenas no intuito de considerar os parâmetros distância e tamanho de objetos.

Uma última limitação a ser citada é a formulação do veredicto final. Fornecido em forma de conceito (excelente, bom, regular e insatisfatório), tal veredicto é composto a partir das notas objetiva e subjetiva de cada técnica, considerando o gráfico apresentado na figura 41. Usando o modelo proposto no experimento conduzido, verificou-se que dois sistemas com notas relativamente diferentes (Tabela 13) obtiveram o mesmo conceito (excelente). Tal veredicto ocorreu porque os quadrantes foram definidos de forma simétrica no modelo. Se o usuário do modelo considerar a composição do veredicto inadequada, tais

quadrantes podem ser redefinidos, movendo-se os limiares de tal forma que atribua-se peso maior ou menor a qualquer uma das dimensões (objetiva ou subjetiva) da avaliação. Salienta-se, entretanto que se pode afirmar que houve coerência nos resultados encontrados nos experimentos, uma vez que as notas obtidas (objetiva e subjetiva) foram próximas, conforme pode ser conferido na tabela 13.

7.3 Vantagens e aplicações do modelo proposto

Os objetivos delineados no presente trabalho instigou a concepção do **Modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade para sistemas de RV estereoscópicos**, capaz de prover um guia objetivo, sistemático e inteligível, disponibilizado com um programa implementado na linguagem R em `http://e.usp.br/7p1`. O modelo considera a eficiência de uma técnica estereoscópica para perceber a tridimensionalidade em um determinado domínio.

Não foi encontrado na literatura um modelo de avaliação inteligível, aplicável a sistemas diversos, que determinasse a adequabilidade de técnicas estereoscópicas para um contexto. A literatura abrange trabalhos interessados em validar sistemas de RV estereoscópicos específicos, investigando profundidade, distância ou imersão, e trabalhos interessados em investigar tais efeitos a partir de ambientes 3D construídos exclusivamente implementados para isso, mas não propuseram uma metodologia que pudesse ser reaplicada em experimentos diversos.

É sabido que quanto mais voluntários para um experimento, maior poderá ser a consistência dos resultados. A partir da ideia de que se é desejável determinar uma técnica estereoscópica para um sistema, é importante o teste com muitos usuários. Todavia, com o modelo proposto é possível realizar o experimento com poucos usuários e verificar-se o nível de significância, dados pelo teste de Permutação de Fisher, inerente ao modelo. As notas serão calculadas e as técnicas avaliadas terão sua classificação final.

O modelo de avaliação proposto pode ser adaptado para avaliar quantas técnicas forem desejadas ou para considerar outros parâmetros. Para isso, basta adequar-se as versões dos sistemas usados no experimento e definir-se corretamente as variáveis da equação 1, pois o programa em R disponibilizado trabalha de forma genérica.

Como mencionado, o modelo proposto considera realizar uma avaliação tanto objetiva quanto subjetiva. A vantagem disso é que, ao avaliar objetivamente um sistema por meio da execução de tarefas, acredita-se que há uma maior confiabilidade no resultado sobre qual técnica proporcionou melhor desempenho do usuário. E ao se avaliar subjetivamente, embute-se no modelo a percepção do usuário em relação à técnica avaliada.

Com essas avaliações, é possível verificar se a percepção subjetiva do usuário está de acordo com seu desempenho objetivo, porém mais testes devem ser realizados sob essa perspectiva. Para o modelo proposto, convencionou-se que é importante analisar a contribuição que o resultado da avaliação subjetiva, combinada com a objetiva, proporciona a uma técnica estereoscópica, de acordo com um gráfico criado para o modelo, o gráfico de veredicto da figura 41, visto na seção 5.5.

O modelo proposto pode contribuir para que usuários e desenvolvedores de sistemas de RV escolham a técnica estereoscópica mais adequada para um domínio, que nem sempre será a técnica de maior custo ou de maior complexidade para implementação. Isso será possível a partir de toda a informação disponibilizada como resultado do modelo, contendo gráficos indicando comportamento de dados, pois o modelo fornece notas advindas de uma avaliação que considera fatores objetivos e subjetivos, além de descrições sobre o resultado final interpretado para cada técnica estereoscópica avaliada.

8 Conclusões

A estereoscopia apresenta um importante papel para a percepção de tridimensionalidade em um AV, fornecendo pistas espaciais com informações sobre distância, tamanho dos objetos, posição e orientação, além de proporcionar sensação de imersão, permitindo a representação de profundidade em uma cena 3D. No entanto, apesar da comunidade científica demonstrar interesse em conceber AVs imersivos diversos, percebe-se pela RS realizada que não foram encontradas propostas de modelos com equacionamentos e/ou gráficos para avaliar a percepção de tridimensionalidade em AVs 3D estereoscópicos e, comumente, ou a validação dos sistemas construídos é realizada restritamente à aplicação disponibilizada ou sistemas são construídos direcionados a experimentos que investigam efeitos específicos de tridimensionalidade.

Considerando essa lacuna, o objetivo do trabalho visou estabelecer um modelo aplicável a diversos sistemas dentro de um contexto pré-determinado para avaliar, de forma regular e sistemática, a percepção da tridimensionalidade para sistemas de RV estereoscópicos. Percebida a necessidade de delimitar o modelo de avaliação a um contexto, o referido modelo criado neste trabalho limita-se a sistemas de RV que envolvam manipulação no ambiente virtual por usuários, de forma que possam ser coletados taxa de erros (ou acertos) e tempo para completar uma tarefa.

A importância do modelo criado está na possibilidade de fornecer subsídios para profissionais da área de RV ou afins escolherem determinada técnica com base no seu custo ou selecionarem a melhor técnica para um domínio. Além disso, compreender como funciona a percepção de tridimensionalidade é necessário para implementar corretamente muitas aplicações de RV. Adicionalmente, os resultados alcançados contribuem para o estado da arte em relação a definição de metodologias aplicadas em diferentes sistemas imersivos.

O modelo proposto limita-se à comparação de ambientes meramente estereoscópicos, necessita da construção de diferentes versões do sistema e foi validado em sistemas de RV que justificam a necessidade da percepção de tridimensionalidade em uma cena. Além disso, o veredicto final pode ser considerado inadequado na ocorrência de notas estabelecidas nos extremos dos quadrantes do gráfico de veredicto.

As vantagens verificadas no modelo conferem um roteiro sistemático e inteligível, além de um programa em R para facilitar sua aplicação. Testes podem ser feitos com poucos usuários e conduz a realização de tarefas objetivas conferindo confiabilidade, além de considerar a percepção do usuário. A seleção de técnicas inadequadas pode elevar o custo do sistema, elevar a complexidade da implementação, levar à adoção de tecnologias que podem inviabilizar a interação ou a imersão, causando desconforto e dificuldade no uso. Portanto, o modelo de avaliação possibilita a escolha da técnica estereoscópica mais adequada, sem necessariamente ser a mais cara.

Para a área de Computação, a presente pesquisa estabeleceu um modelo de avaliação de técnicas estereoscópicas, as quais são relevantes em ambientes tridimensionais para proporcionar a imersão do usuário. É conferida uma análise objetiva de técnicas considerando sistemas com características diferentes e a condução de experimentos controlados para definição do modelo.

8.1 Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, sugere-se as seguintes propostas:

- realizar novos experimentos considerando outros parâmetros encontrados na literatura (exemplo: sombra, textura, iluminação) e outras métricas (exemplo: velocidade, comprimento etc.);
- adaptar o modelo para analisar outros sistemas de RV que utilizam técnicas estereoscópicas, ampliando sua aplicação em outros contextos, considerando que há diversos tipos de simuladores para treinamento, com procedimentos além de anestesia (biópsia, injeção celular, braquiterapia), assim como anestesias em outras regiões corporais, e considerando também que há diversos outros tipos de treinamento (outras áreas, como educação e militar) e jogos 3D;
- criar uma interface para incorporar o programa em R de forma a facilitar o uso do modelo de avaliação definido nesta pesquisa;
- utilizar lógica fuzzy para considerar os dados;
- propor um gráfico para um veredicto que possibilite flexibilidade;
- realizar testes adaptando o modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade de forma a mostrar que pode ser expansivo para comparações não só de técnicas

estereoscópicas, mas também de diferentes implementações, como por exemplo modelagem 3D de computação gráfica e posicionamento de câmera.

8.2 Trabalhos publicados e em elaboração

Foram produzidas contribuições científicas no decorrer da pesquisa, que incluem:

- S. K. Gomes-Silva, C. G. Corrêa and F. L. S. Nunes, "Three-Dimensionality Perception Evaluation in Stereoscopic Virtual Environments: A Systematic Review,"2016 XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR), Gramado, 2016, pp. 198-209. doi: 10.1109/SVR.2016.42.
- S. K. Gomes-Silva and F. d. L. d. S. N. Marques, "Depth Perception Evaluation with Different Stereoscopic Techniques: A Case Study,"Virtual and Augmented Reality (SVR), 2015 XVII Symposium on, Sao Paulo, 2015, pp. 52-60. doi: 10.1109/SVR.2015.15.

O artigo intitulado "*Three-dimensionality perception evaluation method to stereoscopic VR systems*" referente ao conteúdo desta dissertação encontra-se em elaboração.

Referências[1]

3DGRAF. *Óculos 3D Trioscopics*. 2016. Disponível em: <http://3dgraf.com.br/oculos-3d>. Acesso em: 20/07/2016. Citado na página 28.

ACM. *ACM Digital Library*. 2016. Disponível em: <http://dl.acm.org>. Acesso em: 06/07/2015. Citado na página 36.

ALTENHOFF, B. M.; NAPIERALSKI, P. E.; LONG, L. O.; BERTRAND, J. W.; PAGANO, C. C.; BABU, S. V.; DAVIS, T. A. Effects of calibration to visual and haptic feedback on near-field depth perception in an immersive virtual environment. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception*. New York, NY, USA: ACM, 2012. (SAP '12), p. 71–78. ISBN 978-1-4503-1431-2. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2338676.2338691>. Citado 5 vezes nas páginas 38, 42, 52, 54 e 114.

ANTLEY, A.; SLATER, M. The effect on lower spine muscle activation of walking on a narrow beam in virtual reality. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 17, n. 2, p. 255–259, 2011. Citado na página 19.

ARMBRÜSTER, C.; WOLTER, M.; KUHLEN, T.; SPIJKERS, W.; FIMM, B. Depth perception in virtual reality: distance estimations in peri-and extrapersonal space. *Cyberpsychology & Behavior*, Mary Ann Liebert, Inc. 140 Huguenot Street, 3rd Floor New Rochelle, NY 10801-5215 USA, v. 11, n. 1, p. 9–15, 2008. Citado na página 45.

BACZYNSKI, J.; BACZYNSKI, M. Simple stereo unit for perception of space depth in teleoperator systems. In: *Industrial Informatics, 2004. INDIN '04. 2004 2nd IEEE International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2004. p. 407–410. Citado na página 19.

BAñOS, R.; BOTELLA, C.; RUBIó, I.; QUERO, S.; GARCíA-PALACIOS, A.; ALCAñIZ, M. Presence and emotions in virtual environments: The influence of stereoscopy. *Cyberpsychology and Behavior*, v. 11, n. 1, p. 1–8, 2008. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-39449115388&partnerID=40&md5=54c0a72730fe84a5114302a37a9f133d>. Citado 6 vezes nas páginas 19, 39, 43, 48, 53 e 114.

BDBCOMP. *Biblioteca Digital Brasileira de Computação*. 2015. Disponível em: <http://www.lbd.dcc.ufmg.br/bdbcomp>. Acesso em: 05/07/2016. Citado na página 36.

BELTRÃO, L. *Uma Abordagem para a Estereoscopia via Funções de Green de Equações de Casamento*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal Fluminense, 2007. Citado na página 23.

BENAVOLI, A.; CORANI, G.; MANGILI, F. Should we really use post-hoc tests based on mean-ranks. *Journal of Machine Learning Research*, 2016. Citado na página 130.

BICAS, H. E. A. Fisiologia da visão binocular. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, scielo, v. 67, p. 172 – 180, 02 2004. ISSN 0004-2749. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-27492004000100032&nrm=iso>. Citado na página 23.

[1] De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

BIGOIN, N.; PORTE, J.; KARTIKO, I.; KAVAKLI, M. Effects of depth cues on simulator sickness. In: ICST. *Proceedings of the First International Conference on Immersive Telecommunications*. [S.l.], 2007. p. 17. Citado 5 vezes nas páginas 38, 43, 47, 53 e 114.

BODENHEIMER, B.; MENG, J.; WU, H.; NARASIMHAM, G.; RUMP, B.; MCNAMARA, T. P.; CARR, T. H.; RIESER, J. J. Distance estimation in virtual and real environments using bisection. In: ACM. *Proceedings of the 4th symposium on Applied perception in graphics and visualization*. [S.l.], 2007. p. 35–40. Citado 4 vezes nas páginas 38, 42, 46 e 114.

BRUDER, G.; PUSCH, A.; STEINICKE, F. Analyzing effects of geometric rendering parameters on size and distance estimation in on-axis stereographics. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception*. New York, NY, USA: ACM, 2012. (SAP '12), p. 111–118. ISBN 978-1-4503-1431-2. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2338676.2338699>. Citado 3 vezes nas páginas 40, 42 e 114.

BURDEA, G.; COIFFET, P. Virtual reality technology. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, MIT Press, v. 12, n. 6, p. 663–664, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 33.

CHROMATEK. *Chromatek*. 2016. Disponível em: <http://chromatek.com>. Acesso em: 20/07/2016. Citado na página 29.

EBRAHIMI, E.; ALTENHOFF, B.; HARTMAN, L.; JONES, J. A.; BABU, S. V.; PAGANO, C. C.; DAVIS, T. A. Effects of visual and proprioceptive information in visuo-motor calibration during a closed-loop physical reach task in immersive virtual environments. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception*. New York, NY, USA: ACM, 2014. (SAP '14), p. 103–110. ISBN 978-1-4503-3009-1. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2628257.2628268>. Citado 4 vezes nas páginas 38, 42, 54 e 114.

FAUSTER, L.; WIEN, T. Stereoscopic techniques in computer graphics. *Tu Wien*, 2007. Citado 4 vezes nas páginas 18, 27, 30 e 32.

GADIA, D.; GALMONTE, A.; AGOSTINI, T.; VIALE, A.; MARINI, D. Depth and distance perception in a curved, large screen virtual reality installation. In: . [s.n.], 2009. v. 7237. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-63749124357&partnerID=40&md5=1b18515b66f9998a33fef22a2f2906e0>. Citado 6 vezes nas páginas 20, 38, 40, 42, 52 e 114.

GEUSS, M.; STEFANUCCI, J.; CREEM-REGEHR, S.; THOMPSON, W. B. Can i pass?: using affordances to measure perceived size in virtual environments. In: ACM. *Proceedings of the 7th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*. [S.l.], 2010. p. 61–64. Citado 3 vezes nas páginas 40, 42 e 114.

GEUSS, M.; STEFANUCCI, J.; CREEM-REGEHR, S.; THOMPSON, W. Effect of viewing plane on perceived distances in real and virtual environments. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v. 38, n. 5, p. 1242–1253, 2012. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84874442475&partnerID=40&md5=5c2ab7f6cac228014c132083c9a5ad13>. Citado 6 vezes nas páginas 40, 42, 44, 51, 52 e 115.

GOOCH, A. A.; WILLEMSEN, P. Evaluating space perception in npr immersive environments. In: *Proceedings of the 2Nd International Symposium on Non-photorealistic Animation and Rendering*. New York, NY, USA: ACM, 2002. (NPAR '02), p. 105–110. ISBN 1-58113-494-0. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/508530.508549>. Citado 4 vezes nas páginas 38, 42, 52 e 115.

GOOCHA, P. W. A. A. *Effects of Stereo Viewing Conditions on Distance Perception in Virtual Environments*. [S.l.], 2005. Citado na página 19.

GRUCHALLA, K. Immersive well-path editing: investigating the added value of immersion. In: IEEE. *Virtual Reality, 2004. Proceedings. IEEE*. [S.l.], 2004. p. 157–164. Citado 7 vezes nas páginas 19, 39, 42, 43, 48, 56 e 115.

HESTERBERG, T.; MOORE, D. S.; MONAGHAN, S.; CLIPSON, A.; EPSTEIN, R. *Bootstrap methods and permutation tests*. [S.l.]: WH Freeman & Co., New York, ed, 2005. v. 5. 1–70 p. Citado na página 66.

HU, H. H.; GOOCH, A. A.; THOMPSON, W. B.; SMITS, B. E.; RIESER, J. J.; SHIRLEY, P. Visual cues for imminent object contact in realistic virtual environment. In: *Proceedings of the Conference on Visualization '00*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society Press, 2000. (VIS '00), p. 179–185. ISBN 1-58113-309-X. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=375213.375238>. Citado 6 vezes nas páginas 38, 40, 42, 47, 52 e 115.

IEEE. *IEEE Xplorer*. 2016. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org>. Acesso em: 05/07/2015. Citado na página 36.

INTERRANTE, V.; RIES, B.; ANDERSON, L. Distance perception in immersive virtual environments, revisited. In: IEEE. *Virtual Reality Conference, 2006*. [S.l.], 2006. p. 3–10. Citado 6 vezes nas páginas 40, 42, 47, 51, 52 e 115.

INTERRANTE, V.; RIES, B.; LINDQUIST, J.; KAEDING, M.; ANDERSON, L. Elucidating factors that can facilitate veridical spatial perception in immersive virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, MIT Press, v. 17, n. 2, p. 176–198, 2008. Citado 9 vezes nas páginas 39, 40, 42, 45, 46, 47, 51, 52 e 115.

JONES, J.; SWAN, J. E.; BOLAS, M. Peripheral stimulation and its effect on perceived spatial scale in virtual environments. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 19, n. 4, p. 701–710, 2013. Citado 6 vezes nas páginas 18, 38, 42, 46, 47 e 116.

KELLY, J.; BURTON, M.; POLLOCK, B.; RUBIO, E.; CURTIS, M.; CRUZ, J. D. L.; GILBERT, S.; WINER, E. Space perception in virtual environments: Displacement from the center of projection causes less distortion than predicted by cue-based models. *ACM Transactions on Applied Perception*, v. 10, n. 4, 2013. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84891767530&partnerID=40&md5=b21d8613b0dbc5833942cf94bf9a117d>. Citado 5 vezes nas páginas 38, 40, 42, 52 e 116.

KELLY, J.; DONALDSON, L.; SJOLUND, L.; FREIBERG, J. More than just perception-action recalibration: Walking through a virtual environment causes rescaling of perceived space. *Attention, Perception, and Psychophysics*, v. 75, n. 7, p.

1473–1485, 2013. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84885761531&partnerID=40&md5=fbae52ad7da2bec51929e39eeba4a371>. Citado 3 vezes nas páginas 39, 42 e 116.

KELLY, J.; HAMMEL, W.; SIEGEL, Z.; SJOLUND, L. Recalibration of perceived distance in virtual environments occurs rapidly and transfers asymmetrically across scale. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v. 20, n. 4, p. 588–595, 2014. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84897409643&partnerID=40&md5=c7250fadf20a8cd7e1229fddf636efd7>. Citado 5 vezes nas páginas 40, 42, 51, 52 e 116.

KIRNER, C.; SISCOUTTO, R. Realidade virtual e aumentada: conceitos, projeto e aplicações. In: *Livro do IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, Petrópolis (RJ), Porto Alegre: SBC*. [S.l.: s.n.], 2007. Citado na página 18.

KUHL, S. A.; THOMPSON, W. B.; CREEM-REGEHR, S. H. Minification influences spatial judgments in virtual environments. In: *Proceedings of the 3rd Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*. New York, NY, USA: ACM, 2006. (APGV '06), p. 15–19. ISBN 1-59593-429-4. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1140491.1140494>. Citado 7 vezes nas páginas 39, 40, 42, 46, 51, 52 e 116.

KUHL, S. A.; THOMPSON, W. B.; CREEM-REGEHR, S. H. Hmd calibration and its effects on distance judgments. In: *Proceedings of the 5th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*. New York, NY, USA: ACM, 2008. (APGV '08), p. 15–22. ISBN 978-1-59593-981-4. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1394281.1394284>. Citado 6 vezes nas páginas 38, 40, 42, 51, 52 e 116.

KUNZ, B.; CREEM-REGEHR, S.; THOMPSON, W. Testing the mechanisms underlying improved distance judgments in virtual environments. *Perception*, v. 44, n. 4, p. 446–453, 2015. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84929881308&partnerID=40&md5=bb322b9423a9f1441b0041fe9d4b8eff>. Citado 6 vezes nas páginas 40, 42, 51, 52, 55 e 117.

KUNZ, B.; WOUTERS, L.; SMITH, D.; THOMPSON, W.; CREEM-REGEHR, S. Revisiting the effect of quality of graphics on distance judgments in virtual environments: A comparison of verbal reports and blind walking. *Attention, Perception, and Psychophysics*, v. 71, n. 6, p. 1284–1293, 2009. Cited By 26. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-70349485419&partnerID=40&md5=f3cbdf446c4d2b2ef2937ac25e7d1477>. Citado 6 vezes nas páginas 39, 40, 42, 51, 52 e 117.

LAHA, B.; BOWMAN, D.; SOCHA, J. Effects of vr system fidelity on analyzing isosurface visualization of volume datasets. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, v. 20, n. 4, p. 513–522, April 2014. ISSN 1077-2626. Citado na página 19.

LANCASTER, H. O.; SENETA, E. *Chi-Square Distribution*. [S.l.]: Wiley Online Library, 2005. Citado na página 129.

LEYRER, M.; LINKENAUGER, S. A.; BüLTHOFF, H. H.; KLOOS, U.; MOHLER, B. The influence of eye height and avatars on egocentric distance estimates in immersive virtual environments. In: *Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Applied Perception*

in Graphics and Visualization. New York, NY, USA: ACM, 2011. (APGV '11), p. 67–74. ISBN 978-1-4503-0889-2. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2077451.2077464>. Citado 4 vezes nas páginas 37, 38, 42 e 117.

LI, B.; ZHANG, R.; KUHL, S. Minication affects action-based distance judgments in oculus rift hmds. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception*. New York, NY, USA: ACM, 2014. (SAP '14), p. 91–94. ISBN 978-1-4503-3009-1. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2628257.2628273>. Citado 4 vezes nas páginas 38, 42, 46 e 117.

LIM, Y. C.; LEE, C. H.; KWON, S.; JUNG, W. Y. Distance estimation algorithm for both long and short ranges based on stereo vision system. In: *2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 841–846. ISSN 1931-0587. Citado na página 19.

LIN, Q.; XIE, X.; ERDEMIR, A.; NARASIMHAM, G.; MCNAMARA, T. P.; RIESER, J.; BODENHEIMER, B. Egocentric distance perception in real and hmd-based virtual environments: The effect of limited scanning method. In: *Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*. New York, NY, USA: ACM, 2011. (APGV '11), p. 75–82. ISBN 978-1-4503-0889-2. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2077451.2077465>. Citado 4 vezes nas páginas 38, 42, 52 e 117.

LIVATINO, S.; MUSCATO, G.; PRIVITERA, F. Stereo viewing and virtual reality technologies in mobile robot teleguide. *Robotics, IEEE Transactions on*, v. 25, n. 6, p. 1343–1355, Dec 2009. ISSN 1552-3098. Citado 8 vezes nas páginas 38, 39, 40, 43, 47, 48, 53 e 118.

LIVATINO, S.; MUSCATO, G.; SESSA, S.; KöFFEL, C.; ARENA, C.; PENNISI, A.; MAURO, D. D.; MALKONDU, E. Mobile robotic teleguide based on video images. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, v. 15, n. 4, p. 58–67, 2008. Cited By 14. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-57949089422&partnerID=40&md5=1bda363ca40f352bd5a1781167288f79>. Citado 4 vezes nas páginas 40, 43, 53 e 118.

LIVATINO, S.; MUSCATO, G.; SESSA, S.; NERI, V. Depth-enhanced mobile robot teleguide based on laser images. *Mechatronics*, v. 20, n. 7, p. 739–750, 2010. Cited By 7. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77958004210&partnerID=40&md5=7d097d6aa27732a00dad289b1a382428>. Citado 8 vezes nas páginas 38, 39, 40, 42, 43, 48, 53 e 118.

LIVATINO, S.; PAOLIS, L. D.; D'AGOSTINO, M.; ZOCCO, A.; AGRIMI, A.; SANTIS, A. D.; BRUNO, L.; LAPRESA, M. Stereoscopic visualization and 3-d technologies in medical endoscopic teleoperation. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, v. 62, n. 1, p. 525–535, Jan 2015. ISSN 0278-0046. Citado 6 vezes nas páginas 19, 38, 42, 43, 53 e 119.

MACHADO, L. d. S. *A realidade virtual em aplicações científicas*. Dissertação (Dissertação de Mestrado, INPE) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, 1997. Citado na página 30.

MCMAHAN, R. P.; GORTON, D.; GRESOCK, J.; MCCONNELL, W.; BOWMAN, D. A. Separating the effects of level of immersion and 3d interaction techniques. In:

Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology. New York, NY, USA: ACM, 2006. (VRST '06), p. 108–111. ISBN 1-59593-321-2. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1180495.1180518>. Citado 4 vezes nas páginas 19, 43, 48 e 119.

MCMANUS, E. A.; BODENHEIMER, B.; STREUBER, S.; ROSA, S. de la; BüLTHOFF, H. H.; MOHLER, B. J. The influence of avatar (self and character) animations on distance estimation, object interaction and locomotion in immersive virtual environments. In: *Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*. New York, NY, USA: ACM, 2011. (APGV '11), p. 37–44. ISBN 978-1-4503-0889-2. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2077451.2077458>. Citado 4 vezes nas páginas 37, 42, 53 e 119.

MESSING, R.; DURGIN, F. H. Distance perception and the visual horizon in head-mounted displays. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, ACM, v. 2, n. 3, p. 234–250, 2005. Citado 5 vezes nas páginas 38, 40, 42, 52 e 119.

MILES, H.; POP, S.; WATT, S.; LAWRENCE, G.; JOHN, N.; PERROT, V.; MALLET, P.; MESTRE, D.; MORGAN, K. Efficacy of a virtual environment for training ball passing skills in rugby. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, v. 8490, p. 98–117, 2014. Cited By 2. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84904657635&partnerID=40&md5=5fbdb24abc510987bd63f51b5a210365>. Citado 4 vezes nas páginas 39, 42, 54 e 119.

MOEHRING, M.; GLOYSTEIN, A.; DOERNER, R. Issues with virtual space perception within reaching distance: Mitigating adverse effects on applications using hmds in the automotive industry. In: IEEE. *Virtual reality conference, 2009. vr 2009. ieee*. [S.l.], 2009. p. 223–226. Citado 3 vezes nas páginas 40, 42 e 120.

MOHLER, B. J.; CREEM-REGEHR, S. H.; THOMPSON, W. B. The influence of feedback on egocentric distance judgments in real and virtual environments. In: ACM. *Proceedings of the 3rd symposium on Applied perception in graphics and visualization*. [S.l.], 2006. p. 9–14. Citado 4 vezes nas páginas 39, 42, 52 e 120.

NACERI, A.; CHELLALI, R. Can observers perceive depth in virtual environments within extrapersonal space? In: IEEE. *Robotics Automation and Mechatronics (RAM), 2010 IEEE Conference on*. [S.l.], 2010. p. 26–31. Citado 5 vezes nas páginas 38, 42, 47, 52 e 120.

NACERI, A.; CHELLALI, R.; DIONNET, F.; TOMA, S. Depth perception within virtual environments: A comparative study between wide screen stereoscopic displays and head mounted devices. In: *Future Computing, Service Computation, Cognitive, Adaptive, Content, Patterns. Computation World*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 460–466. Citado 5 vezes nas páginas 19, 38, 42, 52 e 120.

NAPIERALSKI, P. E.; ALTENHOFF, B. M.; BERTRAND, J. W.; LONG, L. O.; BABU, S. V.; PAGANO, C. C.; KERN, J.; DAVIS, T. A. Near-field distance perception in real and virtual environments using both verbal and action responses. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, ACM, v. 8, n. 3, p. 18, 2011. Citado 6 vezes nas páginas 19, 39, 40, 41, 42 e 120.

OCULUS. *Oculus Rift*. 2016. Disponível em: <https://www3.oculus.com/en-us/rift/>. Acesso em: 20/07/2016. Citado na página 33.

OGON3D. *ColorCode 3-D Demo kit*. 2016. Disponível em: <http://ogon3d.com/demos-.htm>. Acesso em: 20/07/2016. Citado na página 30.

PHILIPS, M. *Monitor Autoestereoscópico 3D*. 2016. Disponível em: <http://www.philips-.com.br/c-p/BDL2331VS_00/full-hd-autoestereoscopico-3d-de-58.4cm-23-polegada>. Acesso em: 20/07/2016. Citado na página 34.

PHILLIPS, L.; INTERRANTE, V. A little unreality in a realistic replica environment degrades distance estimation accuracy. In: IEEE. *Virtual Reality Conference (VR), 2011 IEEE*. [S.l.], 2011. p. 235–236. Citado 4 vezes nas páginas 40, 42, 46 e 121.

PHILLIPS, L.; RIES, B.; INTERRANTE, V.; KAEDING, M.; ANDERSON, L. Distance perception in npr immersive virtual environments, revisited. In: *Proceedings of the 6th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*. New York, NY, USA: ACM, 2009. (APGV '09), p. 11–14. ISBN 978-1-60558-743-1. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1620993.1620996>. Citado 5 vezes nas páginas 40, 42, 51, 52 e 120.

PHILLIPS, L.; RIES, B.; KAEDING, M.; INTERRANTE, V. Avatar self-embodiment enhances distance perception accuracy in non-photorealistic immersive virtual environments. In: IEEE. *Virtual Reality Conference (VR), 2010 IEEE*. [S.l.], 2010. p. 115–1148. Citado 4 vezes nas páginas 37, 42, 46 e 120.

POLLOCK, B.; BURTON, M.; KELLY, J. W.; GILBERT, S.; WINER, E. The right view from the wrong location: Depth perception in stereoscopic multi-user virtual environments. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 18, n. 4, p. 581–588, 2012. Citado 5 vezes nas páginas 19, 39, 42, 52 e 121.

RAGAN, E.; KOPPER, R.; SCHUCHARDT, P.; BOWMAN, D. Studying the effects of stereo, head tracking, and field of regard on a small-scale spatial judgment task. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, v. 19, n. 5, p. 886–896, May 2013. ISSN 1077-2626. Citado 6 vezes nas páginas 19, 39, 40, 42, 54 e 121.

RAPOSO, A. B.; SZENBERG, F.; GATTASS, M.; CELES, W. Visão estereoscópica, realidade virtual, realidade aumentada e colaboração. *XXIII JAI–Jornada de Automatização em Informática, Capítulo*, v. 8, 2004. Citado 8 vezes nas páginas 23, 25, 26, 28, 29, 30, 31 e 32.

REIS, G.; LIU, Y.; HAVIG, P.; HEFT, E. The effects of target location and target distinction on visual search in a depth display. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 22, n. 1, p. 29–41, 2011. Cited By 1. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79951512065&partnerID=40&md5=c7d92d7675f00a61a5655fb5eb60c910>. Citado 3 vezes nas páginas 39, 42 e 121.

REZAEI, M.; TERAUCHI, M.; KLETTE, R. Robust vehicle detection and distance estimation under challenging lighting conditions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 16, n. 5, p. 2723–2743, Oct 2015. ISSN 1524-9050. Citado na página 19.

RIES, B.; INTERRANTE, V.; KAEDING, M.; ANDERSON, L. The effect of self-embodiment on distance perception in immersive virtual environments. In: *Proceedings of the 2008 ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. New York, NY, USA: ACM, 2008. (VRST '08), p. 167–170. ISBN 978-1-59593-951-7. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1450579.1450614>. Citado 4 vezes nas páginas 37, 42, 46 e 121.

SAHM, C. S.; CREEM-REGEHR, S. H.; THOMPSON, W. B.; WILLEMSEN, P. Throwing versus walking as indicators of distance perception in similar real and virtual environments. *ACM Trans. Appl. Percept.*, ACM, New York, NY, USA, v. 2, n. 1, p. 35–45, jan. 2005. ISSN 1544-3558. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1048687.1048690>. Citado 6 vezes nas páginas 40, 42, 51, 52, 54 e 121.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Braz. J. Phys. Ther.(Impr.)*, v. 11, n. 1, p. 83–89, 2007. Citado na página 35.

SCOPUS. *Elsevier's Scopus*. 2015. Disponível em: <http://scopus.com>. Acesso em: 07/07/2016. Citado na página 36.

SILVA, S. K. G. e; CORRêA, C. G.; NUNES, F. L. S. Three-dimensionality perception evaluation in stereoscopic virtual environments: a systematic review. In: *Virtual and Augmented Reality (SVR), 2016 XVIII Symposium on*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–12. Citado 10 vezes nas páginas 36, 41, 43, 44, 45, 46, 49, 50, 51 e 123.

SILVA, S. K. G. e; NUNES, F. L. S. Depth perception evaluation with different stereoscopic techniques: A case study. In: *Virtual and Augmented Reality (SVR), 2015 XVII Symposium on*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 52–60. Citado 4 vezes nas páginas 39, 42, 47 e 121.

SISCOUTTO, R. A.; SZENBERG, F.; TORI, R.; RAPOSO, A. B.; CELES, W. G. Estereoscopia. In: *Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada - Livro do pré-simpósio, VII Simposium on Virtual and Aumengted Reality*. [S.l.]: Porto Alegre: SBC, 2006. p. 221–245. Citado 8 vezes nas páginas 22, 23, 24, 25, 26, 31, 33 e 34.

SLATER, M.; SPANLANG, B.; COROMINAS, D. Simulating virtual environments within virtual environments as the basis for a psychophysics of presence. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, ACM, v. 29, n. 4, p. 92, 2010. Citado 7 vezes nas páginas 37, 39, 41, 43, 48, 53 e 122.

SLATER, M.; USOH, M. Representations systems, perceptual position, and presence in immersive virtual environments. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, v. 2, n. 3, p. 221–233, 1993. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 45.

SOUZA, A. M. C.; SANTOS, S. R. d. Investigating the distance compression on virtual environments by comparing visualization devices. In: *Virtual and Augmented Reality (SVR), 2015 XVII Symposium on*. [S.l.: s.n.], 2015. Citado 4 vezes nas páginas 38, 42, 52 e 122.

SWAN, J.; LIVINGSTON, M.; SMALLMAN, H.; BROWN, D.; BAILLOT, Y.; GABBARD, J.; HIX, D. A perceptual matching technique for depth judgments in optical, see-through augmented reality. In: *Virtual Reality Conference, 2006*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 19–26. ISSN 1087-8270. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 45.

TOMOYOSE, A. N. *Comparação e classificação de técnicas de estereoscopia para realidade aumentada e jogos*. 2010. Citado 5 vezes nas páginas 22, 23, 26, 27 e 29.

TOMOYOSE, A. N.; SANCHES, S. R.; TORI, R. Integração da estereoscopia à mecânica dos jogos. *SBGames–VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment*, 2009. Citado na página 19.

TORI, R.; NUNES, F. L.; GOMES, V. H.; TOKUNAGA, D. M. Vida: Atlas anatômico 3d interativo para treinamento a distância. In: *Anais do Workshop de Informática na Escola*. [S.l.: s.n.], 2009. v. 1, n. 1, p. 1801–1810. Citado na página 28.

TORI, R.; WANG, G. Z.; SALLABERRY, E. C. d. O. L. H.; MACHADO, M. A. de A. M. Vida odonto: Ambiente imersivo para treinamento de procedimentos odontológicos. In: *Virtual and Augmented Reality (SVR), 2016 XVIII Symposium on. Poster*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–2. Citado na página 59.

TRIPICCHIO, P.; LOCONSOLE, C.; PIARULLI, A.; RUFFALDI, E.; TECCHIA, F.; BERGAMASCO, M. On multiuser perspectives in passive stereographic virtual environments. *Computer Animation and Virtual Worlds*, v. 25, n. 1, p. 69–81, 2014. Cited By 0. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84892993262&partnerID=40&md5=5f629216dd3bfc17c3a9b29a23f62257>. Citado 3 vezes nas páginas 39, 43 e 122.

VINNIKOV, M.; ALLISON, R. S. Gaze-contingent depth of field in realistic scenes: The user experience. In: *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*. New York, NY, USA: ACM, 2014. (ETRA '14), p. 119–126. ISBN 978-1-4503-2751-0. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2578153.2578170>. Citado 4 vezes nas páginas 40, 43, 55 e 122.

WANG, J.; WANG, S.; MA, K.; WANG, Z. Quantifying perceptual depth quality in distorted stereoscopic images. *IEEE Transactions on Image Processing*, PP, n. 99, p. 1–1, 2016. ISSN 1057-7149. Citado na página 19.

WILLEMSEN, P.; GOOCH, A. A.; THOMPSON, W. B.; CREEM-REGEHR, S. H. Effects of stereo viewing conditions on distance perception in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, MIT Press, v. 17, n. 1, p. 91–101, 2008. Citado 6 vezes nas páginas 38, 42, 47, 51, 52 e 122.

WILLIAMS, B.; RASOR, T.; NARASIMHAM, G. Distance perception in virtual environments: A closer look at the horizon and the error. In: *Proceedings of the 6th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*. New York, NY, USA: ACM, 2009. (APGV '09), p. 7–10. ISBN 978-1-60558-743-1. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1620993.1620995>. Citado 3 vezes nas páginas 38, 42 e 122.

WITMER, B. G.; SINGER, M. J. Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, MIT Press, v. 7, n. 3, p. 225–240, 1998. Citado 3 vezes nas páginas 66, 71 e 127.

XPAND. *Baseline Passive 3D Glasses*. 2016. Disponível em: <http://www.xpand-.me/products/xpand-passive/>. Acesso em: 20/07/2016. Citado na página 31.

XPAND. *XPAND Universal 3D Glasses*. 2016. Disponível em: <http://www.xpand-.me/products/universal-3d-glasses-x103/>. Acesso em: 20/07/2016. Citado na página 32.

YOUNG, M. K.; GAYLOR, G. B.; ANDRUS, S. M.; BODENHEIMER, B. A comparison of two cost-differentiated virtual reality systems for perception and action tasks. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception*. New York, NY, USA: ACM, 2014. (SAP '14), p. 83–90. ISBN 978-1-4503-3009-1. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2628257.2628261>. Citado 6 vezes nas páginas 40, 42, 43, 48, 54 e 123.

ZAMBONI, A. B.; THOMMAZO, A. D. D.; HERNANDES, E. C. M.; FABBRI, S. C. P. F. Start uma ferramenta computacional de apoio à revisão sistemática. In: *Congresso Brasileiro de Software – Sessão de Ferramentas. CBSoft*. [S.l.: s.n.], 2010. Citado na página 35.

Apêndice A – Protocolo da Revisão Sistemática

Protocolo do StArt

Objective

Identificar os métodos de avaliação existentes e os parâmetros considerados para mensurar a percepção visual em ambientes virtuais tridimensionais com estereoscopia.

Main question

"Quais são os efeitos mensurados para avaliar a percepção visual em ambientes virtuais tridimensionais com estereoscopia e quais métodos e parâmetros são utilizados para avaliar esses efeitos?"

Population

Projetos de Ambientes Virtuais com estereoscopia.

Intervention

Métodos, efeitos e parâmetros.

Control

- Alshaer, A. M. M. (2013). Influence of peripheral and stereoscopic vision on driving performance in a power wheelchair simulator (Thesis, Master of Applied Science). University of Otago.
- Baños, Rosa M., et al. "Presence and emotions in virtual environments: The influence of stereoscopy." CyberPsychology & Behavior 11.1 (2008): 1-8.
- Chen, Jian, et al. "Effects of stereo and screen size on the legibility of three-dimensional streamtube visualization." Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on 18.12 (2012): 2130-2139.
- Cho, Isaac, et al. "Evaluating depth perception of volumetric data in semi-immersive VR." Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces. ACM, 2012.
- Greuter, S.; Roberts, D.J., "Controlling Viewpoint from Markerless Head Tracking in an Immersive Ball Game Using a Commodity Depth Based Camera" DS-RT, 2011 IEEE/ACM 15th International Symposium on , vol., no., pp.64,71, 4-7 Sept. 2011
- IJsselsteijn, Wijnand, et al. "Perceived depth and the feeling of presence in 3DTV." Displays 18.4 (1998): 207-214.
- Lee, Cha, et al. "The role of latency in the validity of AR simulation." Virtual Reality Conference (VR), 2010 IEEE. IEEE, 2010.

•Livatino, Salvatore, Giovanni Muscato, and Filippo Privitera. “Stereo viewing and virtual reality technologies in mobile robot teleguide.” Robotics, IEEE Transactions on 25.6 (2009): 1343-1355.
•Livatino, Salvatore, and Giovanni Muscato. “Robot 3D vision in teleoperation.” World Automation Congress (WAC), 2012. IEEE, 2012.
•McMahan, Ryan P., et al. “Evaluating display fidelity and interaction fidelity in a virtual reality game.” Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on 18.4 (2012): 626-633.
•Miles, Helen C., et al. “Investigation of a virtual environment for rugby skills training.” Cyberworlds (CW), 2013 International Conference on. IEEE, 2013.
•Natsis, Antonis, et al. “Technological Factors, User Characteristics and Didactic Strategies in Educational Virtual Environments.” Advanced Learning Technologies (ICALT), 2012 IEEE 12th International Conference on. IEEE, 2012.
•Pollock, Brice, et al. “The right view from the wrong location: Depth perception in stereoscopic multi-user virtual environments.” Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on 18.4 (2012): 581-588.
•Steinicke, Frank, et al. “Change Blindness Phenomena for Virtual Reality Display Systems.” Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on 17.9 (2011): 1223-1233.
•Ware, Colin, and Glenn Franck. “Evaluating stereo and motion cues for visualizing information nets in three dimensions.” ACM Transactions on Graphics (TOG) 15.2 (1996): 121-140.

Results

Visão profunda e abrangente sobre métodos, efeitos e parâmetros da estereoscopia em ambientes virtuais tridimensionais e como eles são avaliados.

Application

Pesquisadores da área de Realidade Virtual que desenvolvem sistemas de simulação com estereoscopia

Keywords

•virtual environment
•stereoscopy
•stereo vision
•3D visualization
•virtual reality
•augmented reality
•immersive aplications

•immersive displays
•3D displays
•human factors
•presence
•perception
•immersion
•experiment
•assessment
•measurement
•evaluation

Sources Selection Criteria Definition

•Bibliotecas Digitais online
•Bases Eletrônicas Indexadas
•Anais de eventos com revisão por pares

Studies languages
Português e Inglês

Sources Search Methods

Fontes de buscas online serão consultadas na procura por trabalhos através da string "virtual environment*" AND ("virtual reality" OR "augmented reality") AND stereo* AND ("3-D displays" OR "immersive applications" OR "immersive systems" OR "immersive environments") AND ("human factors" OR presence OR immersion OR perception) AND (experiment OR assessment OR measurement OR evaluation), encontradas preferencialmente em Títulos, Resumos e Palavras-chave de cada base de dados. Posteriormente os trabalhos serão submetidos aos critérios de inclusão e exclusão. Na estratégia de extração de informação, os trabalhos que atenderam aos critérios de inclusão e nenhum de exclusão serão lidos e resumidos, destacando os métodos ou técnicas utilizados para a avaliação de realismo em ambientes virtuais com estereoscopia.

Source list

•IEEE
•ACM
•Scopus
•Anais *SVR*

Inclusion criteria

- Trabalhos que avaliam efeitos de realismo em ambientes virtuais tridimensionais com estereoscopia

Exclusion criteria

- Trabalhos que não especificam a técnica de estereoscopia utilizada
- Trabalhos que não realizam experimentos com usuários
- Trabalhos que não apresentam avaliação de efeitos
- Trabalhos que não apresentam ambientes virtuais tridimensionais
- Trabalhos não disponíveis integralmente online

Studies Types Definition

Serão considerados experimentos que avaliam algum efeito de visualização em ambientes virtuais com estereoscopia realizando testes com usuários.

Studies Inicial Definition

O processo de seleção dos estudos primários será realizado por meio da busca online de trabalhos por *strings* encontradas em Títulos, Resumos e Palavras-chave nas bases de dados.

Studies Quality Definition

O trabalho deverá ter sido publicado em periódico ou anais de eventos da área. Para avaliar os artigos serão utilizados os critérios de população considerada na avaliação e métodos de avaliação.

Data Extraction Form Fields

- Objetivo do trabalho
- Área de aplicação
- Abordagem estereoscópica
- Técnica estereoscópica
- Efeito avaliado
- Parâmetros considerados para mensurar o efeito
- Método usado para avaliar
- Variáveis consideradas na análise de dados
- Métrica de análise
- Variáveis consideradas na avaliação
- Quantidade de usuários

Apêndice B – Extração de informações das publicações incluídas na Revisão Sistemática

A tabela com as informações encontra-se nas páginas 114 a 123.

Tabela 14 – Trabalhos incluídos na RS

Autor	Técnica estereoscópica	Efeito avaliado	Parâmetro	Método de avaliação	Métrica coletada	Técnica estatística	Quantidade de usuários
(ALTENHOFF et al., 2012)	HMD	profundidade	distância	alcance físico, relato verbal	taxa de acertos	teste *student t*	15
(BAñOS et al., 2008)	óculos polarizados	profundidade	presença	exploração	escala de opinião	ANOVA	40
(BIGOIN et al., 2007)	óculos obturadores	profundidade	desconforto	exploração	escala de opinião	ANOVA	108
(BODENHEIMER et al., 2007)	HMD	distância	campo de visão	caminhada cega	taxa de erros	ANOVA	16
(BRUDER; PUSCH; STEINICKE, 2012)	óculos anaglifos	distância	tamanho	relato verbal	taxa de erros	equação matemática	39
(EBRAHIMI et al., 2014)	HMD	profundidade	distância	alcance físico	taxa de erros	ANOVA	36
(GADIA et al., 2009)	óculos polarizados	profundidade	distância, sombra, reflexão	relato verbal	taxa de acertos	ANOVA	20
(GEUSS et al., 2010)	HMD	distância	tamanho	relato verbal	taxa de erros	ANOVA	40

continua

continuação

Trabalhos incluídos na RS

Autor	Técnica estereoscópica	Efeito avaliado	Parâmetro	Método de avaliação	Métrica coletada	Técnica estatística	Quantidade de usuários
(GEUSS et al., 2012)	HMD	distância	tamanho	caminhada cega	taxa de erros	ANOVA	20
(GOOCH; WILLEMSEN, 2002)	HMD	profundidade	distância	caminhada cega	taxa de erros	ANOVA	12
(GRUCHALLA, 2004)	óculos obturadores	imersão	posição	manipulação	tempo, taxa de acertos	ANOVA	16
(HU et al., 2000)	HMD	profundidade	disparidade binocular, sombra, interreflexão difusa	manipulação	taxa de erros	ANOVA	4
(INTERRANTE; RIES; ANDERSON, 2006)	HMD	distância	tamanho	caminhada cega	taxa de erros	ANOVA	33
(INTERRANTE et al., 2008)	HMD	distância	presença, tamanho, posição	caminhada cega	taxa de erros	ANOVA	7

continua

continuação

Trabalhos incluídos na RS

Autor	Técnica estereoscópica	Efeito avaliado	Parâmetro	Método de avaliação	Métrica coletada	Técnica estatística	Quantidade de usuários
(JONES; SWAN; BOLAS, 2013)	HMD	distância	campo de visão	caminhada cega	taxa de acertos	ANOVA	49
(KELLY et al., 2013a)	HMD	profundidade	distância, tamanho	caminhada cega, relato verbal	taxa de erros	ANOVA	33
(KELLY et al., 2013b)	HMD	profundidade	distorção geométrica	relato verbal	taxa de acertos	ANOVA	56
(KELLY et al., 2014)	HMD	distância	tamanho	caminhada cega	taxa de erros	equação matemática	51
(KUHL; THOMPSON; CREEMREGEHR, 2006)	HMD	distância	distorção geométrica, tamanho	caminhada cega	taxa de acertos	ANOVA	15
(KUHL; THOMPSON; CREEMREGEHR, 2008)	HMD	distância	tamanho, campo de visão, declinação angular	caminhada cega	taxa de erros	ANOVA	33

continua

continuação

Trabalhos incluídos na RS

Autor	Técnica estereoscópica	Efeito avaliado	Parâmetro	Método de avaliação	Métrica coletada	Técnica estatística	Quantidade de usuários
(KUNZ et al., 2009)	HMD	distância	tamanho, *feedback* visual	caminhada cega, relato verbal	taxa de acertos	ANOVA	56
(KUNZ; CREEM-REGEHR; THOMPSON, 2015)	HMD	distância	tamanho	caminhada cega	taxa de erros	ANOVA	26
(LEYRER et al., 2011)	HMD	distância	avatar, declinação angular	relato verbal	tempo, taxa de acertos	ANOVA	54
(LI; ZHANG; KUHL, 2014)	HMD	distância	campo de visão	caminhada cega	taxa de acertos	ANOVA	32
(LIN et al., 2011)	HMD	profundidade	distância	caminhada cega	taxa de erros	ANOVA	8

continua

continuação

Trabalhos incluídos na RS

Autor	Técnica estereoscópica	Efeito avaliado	Parâmetro	Método de avaliação	Métrica coletada	Técnica estatística	Quantidade de usuários
(LIVATINO et al., 2008)	óculos anaglifos, óculos obturadores, óculos polarizados, HMD	profundidade	realismo	locomoção	número de colisões	teste *student t*	20
(LIVATINO; MUSCATO; PRIVITERA, 2009)	óculos anaglifos, óculos polarizados	imersão	profundidade, realismo, conforto, presença	locomoção	número de colisões, comprimento do percurso, velocidade, tempo, distância	ANOVA	12
(LIVATINO et al., 2010)	óculos anaglifos, óculos polarizados	imersão	profundidade, realismo, conforto, presença	locomoção	número de colisões, comprimento do percurso, velocidade, tempo, distância	ANOVA	36

continua

continuação

Trabalhos incluídos na RS

Autor	Técnica estereoscópica	Efeito avaliado	Parâmetro	Método de avaliação	Métrica coletada	Técnica estatística	Quantidade de usuários
(LIVATINO et al., 2015)	óculos anaglifos, óculos obturadores, óculos polarizados, HMD	profundidade	distância	locomoção	tempo, número de colisões, taxa de erros	ANOVA	24
(MCMAHAN et al., 2006)	óculos obturadores	imersão	campo de visão, resolução, brilho	manipulação	tempo	ANOVA	12
(MCMANUS et al., 2011)	HMD	distância	avatar	caminhada cega, manipulação, locomoção	taxa de erros	ANOVA	31
(MESSING; DURGIN, 2005)	HMD	distância	realismo, declinação angular	caminhada cega, relato verbal	taxa de acertos	ANOVA	20
(MILES et al., 2014)	óculos polarizados	distância	posição	arremesso	taxa de acertos	ANOVA	4

continua

continuação

Trabalhos incluídos na RS

Autor	Técnica estereoscópica	Efeito avaliado	Parâmetro	Método de avaliação	Métrica coletada	Técnica estatística	Quantidade de usuários
(MOEHRING; GLOYSTEIN; DOERNER, 2009)	HMD	distância	tamanho	manipulação	taxa de erros	ANOVA	23
(MOHLER; CREEM-REGEHR; THOMPSON, 2006)	HMD	distância	feedback visual	caminhada cega, relato verbal	taxa de acertos	ANOVA	60
(NACERI et al., 2009)	óculos polarizados	profundidade	distância	relato verbal	taxa de acertos	ANOVA	20
(NACERI; CHELLALI, 2010)	óculos polarizados, HMD	profundidade	distância	relato verbal	taxa de acertos	ANOVA	8
(NAPIERALSKI et al., 2011)	HMD	distância	realismo, tamanho, textura, iluminação	alcance físico, relato verbal	taxa de acertos	ANOVA	14
(PHILLIPS et al., 2009)	HMD	distância	tamanho	caminhada cega	taxa de erros	ANOVA	10
(PHILLIPS et al., 2010)	HMD	distância	avatar	caminhada cega	taxa de erros	ANOVA	12

continua

continuação

Trabalhos incluídos na RS

Autor	Técnica estereoscópica	Efeito avaliado	Parâmetro	Método de avaliação	Métrica coletada	Técnica estatística	Quantidade de usuários
(PHILLIPS; INTERRANTE, 2011)	HMD	distância	realismo	caminhada cega	taxa de erros	ANOVA	8
(POLLOCK et al., 2012)	óculos obturadores	profundidade	posição	manipulação	tempo, taxa de acertos	ANOVA	36
(RAGAN et al., 2013)	HMD	profundidade	posição, tamanho	busca	tempo, taxa de erros	ANOVA	52
(REIS et al., 2011)	monitor 3D	profundidade	posição	busca	taxa de erros	ANOVA	9
(RIES et al., 2008)	HMD	distância	avatar	caminhada cega	taxa de erros	ANOVA	6
(SAHM et al., 2005)	HMD	distância	tamanho	arremesso, caminhada cega	taxa de erros	ANOVA	24
(SILVA; NUNES, 2015)	óculos anaglifos, óculos obturadores	profundidade	posição	relato verbal	taxa de acertos	ANOVA	14

continua

continuação

Trabalhos incluídos na RS

Autor	Técnica estereoscópica	Efeito avaliado	Parâmetro	Método de avaliação	Métrica coletada	Técnica estatística	Quantidade de usuários
(SLATER; SPANLANG; COROMINAS, 2010)	HMD	imersão	iluminação, campo de visão, avatar, tipo de dispositivo	exploração	paradas	ANOVA	20
(SOUZA; SANTOS, 2015)	HMD	distância	campo de visão	caminhada cega, relato verbal	taxa de acertos	teste *student t*	32
(TRIPICCHIO et al., 2014)	óculos polarizados	profundidade	ponto de vista	relato verbal	escala de opinião	ANOVA	18
(VINNIKOV; ALLISON, 2014)	monitor 3D	profundidade	realismo	relato verbal	porcentagem de preferência	teste *cochran q*	9
(WILLEMSEN et al., 2008)	HMD	profundidade	distância	caminhada cega	taxa de erros	ANOVA	74
(WILLIAMS; RASOR; NARASIMHAM, 2009)	HMD	distância	declinação angular	relato verbal	taxa de erros	ANOVA	8

continua

continuação

Trabalhos incluídos na RS

Autor	Técnica estereoscópica	Efeito avaliado	Parâmetro	Método de avaliação	Métrica coletada	Técnica estatística	Quantidade de usuários
(YOUNG et al., 2014)	HMD	imersão	distância, realismo	caminhada cega, ordenação, busca, exploração	taxa de acertos, tempo	ANOVA	24

conclusão

Fonte: Silva, Corrêa e Nunes (2016)

Apêndice C – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

O TCLE consta nas páginas 125 e 126.

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Prezado(a),

o(a) Sr.(a) está sendo convidado(a) a participar, como sujeito, em uma pesquisa acadêmica intitulada "**Avaliação da percepção de tridimensionalidade em sistemas de realidade virtual com estereoscopia**", que tem como objetivo avaliar a tridimensionalidade percebida pelo usuário em sistemas imersivos, com o intuito de auxiliar no desenvolvimento de um modelo de avaliação para sistemas de realidade virtual com estereoscopia.

Os experimentos estão divididos nas seguintes fases: **1 -** fornecimento de instruções sobre a tarefa a ser realizada no sistema de realidade virtual, além de informações sobre os riscos ao sujeito de pesquisa (tempo estimado de 5 minutos); **2 -** coleta do perfil do sujeito de pesquisa (tempo estimado de 5 minutos); **3 -** efetiva participação do sujeito de pesquisa, executando tarefas que consistem em interagir com o sistema de realidade virtual configurado pelo avaliador para diferentes aspectos de visualização e respondendo determinadas questões (tempo estimado de 40 minutos).

Os dados serão adotados para a elaboração de um modelo objetivo de avaliação da percepção de tridimensionalidade obtida com técnicas de estereoscopia.

A participação efetiva no teste consiste nas seguintes tarefas: **1 –** manipular um objeto no espaço tridimensional do ambiente virtual; **2 –** observar um ambiente virtual e responder perguntas sobre percepção tridimensional.

Alguns riscos e desconfortos ao sujeito de pesquisa podem ser: **Constrangimento pelo confronto do conhecimento** – o experimento não trata da avaliação do sujeito de pesquisa; **Constrangimento por dificuldade de utilização do sistema computacional** – o avaliador estará disponível para esclarecimento de quaisquer dúvidas em relação à utilização do sistema computacional, podendo realizar demonstrações para indicar o uso adequado; **Constrangimento por enfrentamento de situação inesperada -** no caso de uma situação imprevisível, como falha do sistema computacional, o experimento será interrompido imediatamente; **Constrangimento pela violação do anonimato -** os dados coletados em cada sessão de experimentos receberão uma identificação associada ao Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, para rastreabilidade da identidade do sujeito de pesquisa, ressalvando os casos de interesse do sujeito de pesquisa no acesso aos dados de seus testes ou ocorrência de retirada do consentimento por parte deste. Para todos os demais efeitos, os dados serão tratados sem qualquer associação à identidade do sujeito de pesquisa. **Sentimento de obrigação de participar –** a participação na pesquisa é de caráter voluntário; **Medidas de higiene -** visando à prevenção de contágio de doenças de qualquer natureza entre os sujeitos de pesquisa, todo o equipamento que tiver contato direto com os mesmos, como o *Oculus Rift* e *shutter glasses*, será higienizado a cada bateria de testes utilizando lenços descartáveis; **Cansaço visual ou de outra natureza** – devido à participação em diversos testes com equipamentos de visualização, que podem causar náuseas ou outras sensações indesejáveis, o sujeito de pesquisa poderá apresentar cansaço visual ou de outra natureza. Nestes casos, poderá solicitar a interrupção ou um tempo para descanso.

_____	_____
Assinatura da pesquisadora	Assinatura do sujeito de pesquisa

Informações sobre a pesquisa ou dúvidas sobre a utilização do sistema computacional poderão ser solicitadas a qualquer momento, direto à pesquisadora responsável, que acompanhará os experimentos. A participação na pesquisa não acarretará nenhum tipo de despesa ao sujeito de pesquisa. Indenização por danos comprovadamente causados pelo experimento será de incumbência do pesquisador responsável. Os endereços e telefones de contato dos pesquisadores encontram-se no final deste documento. Deve-se ressaltar que a participação é voluntária e que não haverá nenhuma espécie de remuneração.

Pelo presente instrumento que atende às exigências legais, o(a) Sr.(a), _____, portador(a) da C.I.R.G. nº _____, órgão emissor _____-_____, sexo _____, nascido(a) em ____/___/_____, telefone (___) _____, e-mail _____, profissão _____, declara que foi realizada leitura minuciosa das informações constantes neste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, com explicações detalhadas, ficando ciente dos procedimentos aos quais será submetido(a). Deve-se ressaltar que o sujeito de pesquisa pode a qualquer momento retirar seu Consentimento Livre e Esclarecido, deixando de participar da pesquisa e ciente de que todas as informações prestadas tornar-se-ão confidenciais e guardadas por força de sigilo profissional.

A pesquisadora responsável compromete-se a cumprir todas as exigências contidas no item IV. 3 da Resolução do CNS/MS nº 466, de dezembro de 2.012, publicada em 13 de junho de 2.013.

Por fim, o sujeito de pesquisa autoriza a divulgação dos resultados e informações prestadas na pesquisa em eventos e artigo científicos, e declara que, após convenientemente esclarecido pelo pesquisador e ter entendido o que foi explicado, aceita participar da pesquisa "**Avaliação da percepção de tridimensionalidade em sistemas de realidade virtual com estereoscopia**", firmando o termo em duas vias (uma via para o sujeito de pesquisa e outra para a pesquisadora responsável), que serão assinadas em todas as suas páginas.

Local: _____ Data: ____/_____/_____

_____ _____

Assinatura da pesquisadora Assinatura do sujeito de pesquisa

Pesquisadora responsável: Sahra Karolina Gomes e Silva
Orientadora: Profa. Dra. Fátima de Lourdes dos Santos Nunes Marques
Escola Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo: Av. Arlindo Béttio, 1000 Ermelino Matarazzo - CEP: 03828-000 - São Paulo - SP - Telefone: (11) 2648-0067 – e-mail: sahra@usp.br.

Observação: Em caso de dúvida, sugestão ou reclamação, o(a) Sr.(a) também pode procurar o Comitê de Ética e Pesquisa – da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo - Av. Arlindo Béttio, 1000 Ermelino Matarazzo - CEP: 03828-000 - São Paulo - Sala 4 - I1 - e-mail: cep-each@usp.br – Telefone: (11) 3091-1046

Apêndice D – Questionário utilizado no experimento exploratório

Questionário - Dados pessoais

- •Nome
- •Idade
- •Email
- •Telefone
- •Problema de visão
  - –Hipermetropia
  - –Miopia
  - –Astigmatismo
  - –Presbiopia
  - –Nenhum
- •Experiência 3D
  - –Jogos
  - –Jogos com estereoscopia
  - –Cinemas 3D
  - –Nenhuma

Questionário relativo ao conforto e cansaço visual

1. Quanto conforto você sentiu ao usar o dispositivo estereoscópico?
2. O quanto de cansaço visual você sentiu durante e/ou após a experiência com o dispositivo estereoscópico?

Questionário de presença (adaptado de Witmer e Singer (1998))

3. O quão rapidamente você se ajustou à experiência do ambiente virtual com o dispositivo estereoscópico?
4. Quão natural foi a interação com o ambiente?
5. Quão envolvido você ficou pelos aspectos visuais do ambiente?
6. Quão realista foi a movimentação dos objetos pelo espaço do ambiente?
7. Você foi capaz de prever o que iria acontecer em resposta às ações que você realizava no ambiente virtual?
8. O quão a qualidade de visualização fornecida pelo dispositivo estereoscópico prejudicou na execução das tarefas ou atividades necessárias no ambiente virtual?

9. O quão bem você conseguiu mover ou manipular objetos no ambiente virtual?
10. O quanto a manipulação dos objetos no ambiente virtual pareceu ser consistente com a manipulação de objetos similares no mundo real?
11. Quão envolvido você estava na execução das tarefas ou atividades necessárias no ambiente virtual?
12. Quão bem você foi capaz de perceber o efeito 3D no ambiente virtual?

Apêndice E – Estudo de testes estatísticos

Teste de Friedman e Wilcoxon-signed rank

A metodologia apresentada na seção 4.1 para a avaliação com o simulador "VIDA Odonto" possibilitou a condução de análise de dados com os testes de *Friedman* e *Wilcoxon*, que envolveu a comparação das configurações de parâmetros. A análise considerou o número de erros que o participante cometia ao tocar a seringa virtual em outras partes do paciente, que não fosse o alvo desejado, e o tempo gasto para completar a tarefa. Esta primeira análise inferencial considera apenas os dados objetivos, pois os dados subjetivos serão examinados na segunda análise inferencial (Seção 6.1.2).

A tabela 15 apresenta o resumo dos resultados obtidos na avaliação do simulador "VIDA Odonto" com os óculos anaglifo verdadeiro, na qual é possível verificar os valores de média e desvio padrão de erros e de tempo das diferentes configurações de parâmetros: Distância maior Tamanho maior (A), Distância maior Tamanho menor (B), Distância menor Tamanho maior (C) e Distância menor Tamanho menor (D). Foi adotado que quanto menor a taxa de erros e menor o tempo, melhor é o desempenho do usuário na execução da tarefa. Dessa forma, pode-se notar um melhor desempenho sob a configuração *C*. O valor do desvio padrão indica que trata-se de uma amostra heterogênea com variabilidade acentuada, assim como o restante das amostras. Observando o valor mínimo e máximo nota-se uma variabilidade maior na configuração do tipo *B*.

Tabela 15 – Resumo dos resultados para os óculos anaglifo verdadeiro - avaliação com o simulador "VIDA Odonto"

	A		B		C		D	
	Erros	**Tempo**	**Erros**	**Tempo**	**Erros**	**Tempo**	**Erros**	**Tempo**
Média	14,2	26	37,6	50	5,3	10	6,6	15
DP	20,2	22	44,9	50	5,1	7	5,9	22
Mínimo	1	4	1	3	0	2	0	3
Máximo	89	80	148	145	18	28	22	106

Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

A análise estatística de *Friedman* para as quatro amostras correspondentes às configurações de parâmetros no AV renderizado com os óculos anaglifo verdadeiro foi realizada a partir da comparação entre um valor r calculado e um r crítico da tabela de distribuição do Qui-Quadrado, considerando 5% (α= 0.05) de significância (LANCASTER; SENETA, 2005). Utilizando os dados de taxa de erros, o resultado do teste de *Friedman* encontrou o valor $r = 13.06$. Portanto, r é maior do que o r crítico = 7.815, indicando que há diferenças significativas entre as amostras, assim como o p-valor = 0.0045, menor que o valor de α= 0.05. Com os dados de tempo, foram encontrados os valores $r = 17.67$ e p-valor < 0.0005, indicando diferenças significativas.

Para calcular os valores das diferenças entre as amostras com o objetivo de identificar quais pares de amostras são diferentes foi realizado o teste de *Wilcoxon Signed-Rank* nos dados de taxa de erros e tempo. O teste implica comparar um valor w calculado e um w crítico estabelecido na tabela para *Wilcoxon*, considerando $\alpha = 0.05$ (BENAVOLI; CORANI; MANGILI, 2016). O teste mostrou que a configuração C, em comparação com a configuração A (erros: $p = 0.02144$) e com a configuração B, obteve diferença estatística significativa (erros: $p = 0.00096$ e tempo: $p = 0.00062$). Porém, em comparação à configuração D (erros: $p = 0.00096$ e tempo: $p = 0.00062$), não é significativa. Portanto, não se pode afirmar que os participantes obtiveram um desempenho significativamente melhor na tarefa sob a configuração C durante a avaliação do simulador com os óculos anaglifo verdadeiro.

A tabela 16 mostra o resumo dos resultados obtidos na avaliação do simulador com os óculos anaglifo colorido com relação às configurações de parâmetros. Similarmente à técnica anterior, a configuração C aparenta melhor desempenho. O mesmo procedimento estatístico foi adotado para verificar essa hipótese. Os valores do desvio padrão indicam que tratam-se de amostras heterogêneas com variabilidade acentuada. As diferenças dos valores de mínimo, máximo e médias mais acentuadas constam na configuração B, indicando a amostra com menor desempenho.

Tabela 16 – Resumo dos resultados para os óculos anaglifo colorido - avaliação com o simulador "VIDA Odonto"

	A		B		C		D	
	Erros	**Tempo**	**Erros**	**Tempo**	**Erros**	**Tempo**	**Erros**	**Tempo**
Média	9,6	17	26,0	39	4,8	10	8,4	13
DP	12,4	15	28,8	34	5,0	8	8,5	7
Mínimo	0	3	0	3	0	1	0	4
Máximo	55	59	124	117	16	34	30	32

Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

Considerando $\alpha = 0.05$, o resultado do teste de *Friedman* indicou que as amostras são significativamente diferentes (p-valor $= 0.0002$) sob à análise dos dados de taxa de erros. Nesta análise, o valor de r encontrado foi $r = 19.51$, considerando o r crítico $= 7.815$, o que confirma a diferença. Com os dados de tempo, diferenças significativas também foram verificadas com p-valor < 0.0002 e $r = 22.65$.

A relação entre pares de amostras, que foi analisada com o teste de *Wilcoxon Signed-Rank*, obteve os seguintes resultados: foram encontradas diferenças significativas entre as amostras A e B (erros: $p = 0.00096$ e tempo: $p = 0.0005$); B e D (erros: $p = 0.00758$ e tempo: $p = 0.00072$). A configuração C em comparação com a B obteve a diferença estatística mais significativa (erros: $p = 0.00038$ e tempo: $p = 0.00026$), o que poderia indicar melhor desempenho. Porém, quando comparada com às configurações A (apenas erros: $p = 0.0703$) e D (erros: $p = 0.16152$ e tempo: $p = 0.2187$), a diferença não é significativa. Isso significa que, assim como na análise com a técnica anterior, não se

pode afirmar que os participantes obtiveram um desempenho significativamente melhor na tarefa sob a configuração C durante a avaliação do simulador com os óculos anaglifo colorido.

A tabela 17 contém o resumo dos resultados obtidos na avaliação do simulador com os óculos *shutter glasses*. Percebe-se que não houve uma configuração que se sobressaísse perante às demais, embora as configurações C e D aparentem resultados melhores que às configurações A e B. Apesar disso, os valores de desvio padrão sugerem que os dados tenham uma variabilidade acentuada. Os valores de mínimo e máximo mostram diferenças um pouco maiores nas configurações A e B, assim como a maior média de erros e tempo, o que pode significar que sejam amostras que induzem menores performances.

Tabela 17 – Resumo dos resultados para os *shutter glasses* - avaliação com o simulador "VIDA Odonto"

	A		B		C		D	
	Erros	**Tempo**	**Erros**	**Tempo**	**Erros**	**Tempo**	**Erros**	**Tempo**
Média	5,6	14,85	5,9	13,9	4,45	7	3,65	7,45
DP	6,5	10	8,1	10	5,1	3	4,5	4
Mínimo	0	2	0	2	0	2	0	1
Máximo	20	37	32	47	16	14	17	15

Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

De forma a verificar essa análise, o teste de *Friedman* foi aplicado com a hipótese de que não há diferenças significativas entre as configurações de parâmetros no caso dos *shutter glasses*. Os resultados confirmaram a hipótese estabelecida apenas quando analisadas com os dados de taxa de erros. O r encontrado (r = 2.5) é menor que o r estabelecido na distribuição do Qui-quadrado, tendo α= 0.05 (r = 7.815) e o p-valor = 0.4753, é maior que o valor de significância. Já para os dados de tempo, o teste indicou diferenças significativas entre as amostras e os seguintes valores foram encontrados: r = 23.71 (maior que r = 7.815) e p-valor = 0.0001 (menor que α= 0.01).

Visando identificar os pares de amostras que são diferentes significativamente com base na métrica tempo, o teste de *Wilcoxon* Signed-Rank foi identicamente aplicado. Entre as configurações A e C, a diferença obtida foi a mais significativa (p-valor = 0.00054), o que poderia indicar que a configuração de parâmetros do tipo C obtenha um melhor desempenho que as demais. Porém, a configuração C, quando comparada a D, não é significativa (p-valor = 0.39532). Além disso, não foram encontradas diferenças significativas entre as configurações do tipo A e B (p-valor = 0.83366). Portanto, levando em consideração a métrica taxa de erros, pode-se afirmar que as quatro configurações de parâmetros no simulador com renderização dos *shutter glasses* induzem desempenhos razoavelmente similares aos participantes na execução da tarefa no simulador "VIDA Odonto". Porém, em relação a métrica tempo, os participantes obtiveram desempenhos diferentes entre as configurações.

Após a análise de comparações entre configurações, foram realizadas comparações utilizando os mesmos testes estatísticos entre as técnicas estereoscópicas, tratando separadamente por configuração. A tabela 18 apresenta os resultados do teste de *Friedman* com relação as comparações entre as técnicas estereoscópicas anaglifo verdadeiro, anaglifo colorido e *shutter glasses* para cada configuração de parâmetros. Observa-se que nas configurações A e C não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre as três técnicas tanto com a métrica taxa de erros quanto com a métrica tempo, pois os p-valores encontrados são maiores que α= 0,05. Sob a configuração B, existe pelo menos uma técnica significativamente diferente (p < 0,05) considerando apenas a métrica taxa de erros. E foi encontrado que pelo menos uma técnica estereoscópica é diferente sob a configuração D para ambas as métricas.

Tabela 18 – Resultados do teste de *Friedman* para comparações entre técnicas no Simulador

	A	B	C	D
Erros	5,93 (p = 0,0516)	11,78 (p = 0,0028)	0,18 (p = 0,9139)	11,43 (p = 0,0033)
Tempo	1,08 (p = 0,5827)	5,48 (p = 0,0646)	1,53 (p = 0,4653)	8,18 (p = 0,0167)

Para identificar em que pares de técnicas nas quais foram encontradas diferenças, o teste *Wilcoxon* foi aplicado e a tabela 19 traz os resultados. Observando os p-valores, pode-se concluir que os pares de técnicas estereoscópicas significativamente diferentes com relação à métrica taxa de erros na configuração B são anaglifo verdadeiro comparado ao *shutter glasses* e anaglifo colorido comparado ao *shutter glasses*, no qual p = 0,0029 e 0,0008 indicam um favorecimento dos *shutter glasses* para ambas as comparações. Os mesmos pares de comparações da configuração B que indicaram diferenças estatísticas também indicaram diferenças na configuração D. Além disso, para a métrica tempo, o teste de *Wilcoxon* refutou o teste de *Friedman* quando revelou não haver diferenças com significância estatística nos pares de técnicas comparados, pois todos os p-valores são maiores que 0,05. Mas, de fato, o p-valor = 0,0588, referente ao par anaglifo colorido e *shutter glasses*, indica quase uma diferença significante.

Tabela 19 – Resultados do teste de *Wilcoxon* para comparações entre técnicas no Simulador

		AV x AC	AV x SG	AC x SG
Config B	Erros	-0,7653 (p = 0,4413)	-2,9832 (p = 0,0029)	-3,3401 (p = 0,0008)
	Tempo	–	–	–
Config D	Erros	-1,0178 (p = 0,3077)	-2,6783 (p = 0,0309)	-2,6783 (p = 0,0074)
	Tempo	-0,0473 (p = 0,9601)	-1,4675 (p = 0,1416)	1,8853 (p = 0,0588)

Assim como na avaliação com o simulador "VIDA Odonto", foi realizada uma análise de dados coletados na avaliação com o jogo "Esquilo Corredor 3D" por meio dos testes de *Friedman* e *Wilcoxon*, tendo as configurações de parâmetros como amostras. Dados objetivos (taxa de acertos e tempo) foram analisados. A taxa de acertos refere-se

a quantas mudanças de trajetória o participante conseguia que o esquilo virtual fizesse, adicionalmente a quantas nozes pegasse, sem cair do caminho e o tempo máximo obtido.

A tabela 20 mostra o resumo dos resultados obtidos na avaliação do jogo renderizado com a técnica estereoscópica anaglifo verdadeiro. Pode-se observar os valores de média, desvio padrão, máximo e mínimo das métricas taxa de acertos e tempo. No contexto do jogo, quanto maior a taxa de acertos e maior o tempo, melhor é o desempenho do usuário sob determinada técnica e configuração. Assim, pode-se notar que a configuração de parâmetros C possui a maior média de acertos, embora as configurações B e D tenham valores aproximados. Os valores de desvio padrão maiores que os valores da média, exceto para a configuração D, indicam que as amostras possuem variabilidade acentuada. Essa variabilidade reflete-se principalmente na configuração C, na qual houve um participante que obteve 125 pontos e outro apenas 2 pontos na mesma amostra indicada pelos valores de máximo e mínimo.

Tabela 20 – Resumo dos resultados para os óculos anaglifo verdadeiro - avaliação com o jogo “Esquilo Corredor 3D”

	A		B		C		D	
	Acertos	**Tempo**	**Acertos**	**Tempo**	**Acertos**	**Tempo**	**Acertos**	**Tempo**
Média	12,6	5,9	21,4	8,9	23,6	9,9	21,5	9,5
DP	13,0	4,5	21,8	7,7	29,6	11,8	18,1	5,9
Mínimo	2	1	3	2	2	1	2	2
Máximo	46	17	73	27	125	45	62	22

Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

Objetivando analisar esses dados estatisticamente, o teste de *Friedman* foi aplicado, obtendo os seguintes resultados: para os dados de taxa de acertos, foi encontrado 4.69 para o valor de r (a ser comparado com o r crítico de valor 7.815) e p-valor $= 0.196$ e; para os dados de tempo, $r = 4.84$ e p-valor $= 0.1839$. Com esses valores, conclui-se que não há diferenças significativas entre as configurações de parâmetros no caso do anaglifo verdadeiro renderizado no jogo “Esquilo Corredor 3D”.

A tabela 21 mostra o resumo dos resultados obtidos na avaliação do jogo com os óculos anaglifo colorido. É sob a configuração de parâmetros A que contém o valor da pontuação máxima de acertos, porém, de acordo com a média, a configuração C aparenta ter melhores resultados. Os valores de desvio padrão indicam amostras heterogêneas e pontuações com variabilidade acentuada. Com os valores de máximo e mínimo, notam-se diferenças maiores nas configurações A e B.

Os óculos anaglifo colorido não apresentou diferenças estatísticas significativas com relação às configurações de parâmetros no jogo, pois de acordo com o resultado do teste de *Friedman* ($r = 8.67$ (< 7.815) e $r = 1.47$ (< 7.815) e p-valor $= 0.6892$ (> 0.05) com os dados de tempo). Apenas com o p-valor $= 0.034$ (< 0.05) relacionado aos dados de taxa de acertos foi encontrada uma diferença estatística.

Tabela 21 – Resumo dos resultados para os óculos anaglifo colorido - avaliação com o jogo "Esquilo Corredor 3D"

	A		B		C		D	
	Acertos	**Tempo**	**Acertos**	**Tempo**	**Acertos**	**Tempo**	**Acertos**	**Tempo**
Média	21,8	10,3	26,3	11,2	38,3	13,9	18,6	8,0
DP	32,5	11,1	28,2	9,9	32,2	10,2	15,2	4,8
Mínimo	2	2	2	2	3	1	2	2
Máximo	112	44	110	38	91	31	65	20

Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

A tabela 22 resume os resultados obtidos na avaliação do jogo com os *shutter glasses*. Da mesma maneira que as amostras anteriores, os valores de desvio padrão indicam dados heterogêneos e variabilidade acentuada. As configurações A e C possuem as maiores diferenças entre os valores de máximo e mínimo, porém, foi na configuração D que a maior média de acertos foi alcançada.

Tabela 22 – Resumo dos resultados para os *shutter glasses* - avaliação com o jogo "Esquilo Corredor 3D"

	A		B		C		D	
	Acertos	**Tempo**	**Acertos**	**Tempo**	**Acertos**	**Tempo**	**Acertos**	**Tempo**
Média	30,1	11,5	34,5	13,9	37,1	13,5	43,0	13,4
DP	54,3	17,4	44,0	15,5	59,0	19,3	49,5	13,5
Mínimo	2	2	2	2	2	1	2	2
Máximo	250	81	184	64	232	78	162	52

Fonte: Sahra Karolina Gomes e Silva, 2016

O teste estatístico de *Friedman* não indicou diferenças significativas entre as amostras (configurações de parâmetros) também para os *shutter glasses*. Os valores do teste para os dados de taxa de acertos são $r = 2.49$ (< 7.815) e p-valor $= 0.4771$ (>0.05) e; para os dados de tempo são $r = 3.64$ (< 7.815) e p-valor $= 0.3031$ (> 0.05).

A tabela 23 apresenta os resultados do teste de *Friedman* com relação as comparações entre as técnicas estereoscópicas anaglifo verdadeiro, anaglifo colorido e *shutter glasses* para cada configuração de parâmetros. Observa-se que apenas na configuração C foi encontrada diferença estatística significativa entre as três técnicas com a métrica taxa de acertos, pois o p-valor encontrado é menor que α= 0,05. Sob as configurações A, B e D não foram encontradas diferenças entre as técnicas.

Tabela 23 – Resultados do teste de *Friedman* para comparações entre técnicas no Jogo

	A	B	C	D
Acertos	2.93 (p = 0,2311)	2,73 (p = 0,2554)	8.58 (p = 0,0137)	0.93 (p = 0,6281)
Tempo	3,1 (p = 0,2122)	1,08 (p = 0,5827)	4,23 (p = 0,1206)	0,93 (p = 0,6281)

Para identificar em que pares de técnicas encontram-se diferenças significativas, o teste *Wilcoxon* foi aplicado. A tabela 24 mostra que existem diferenças significativas com

relação à taxa de acertos quando comparadas as técnicas anaglifo verdadeiro com anaglifo colorido, quando a tarefa é desempenhada na configuração *D*. Porém, com a métrica tempo, o teste de *Friedman* já havia indicado que não haveria diferença estatística significativa.

Tabela 24 – Resultados do teste de *Wilcoxon* para comparações entre técnicas no Jogo

		AV x AC	AV x SG	AC x SG
Config C	**Acertos**	-2,495 (p = 0,0124)	-1,067 (p = 0,2846)	-1,0061 (p = 0,3125)
	Tempo	–	–	–

A realização dessa primeira análise inferencial trouxe resultados diversificados em relação às configurações de parâmetros como amostras, no sentido de que, em determinados pares de amostras sob determinada técnica estereoscópica foram identificadas diferenças estatísticas importantes. Entende-se que pode se tornar complexa uma análise que envolva comparações entre as quatro configurações de parâmetros, além de uma análise entre as técnicas estereoscópicas e, por esse motivo, não fará parte do modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade. No entanto, essa análise mostrou-se válida por identificar a significância de se anexar à avaliação a utilização do sistema de RV sob à perspectiva de quatro configurações de parâmetros, avaliando distâncias e tamanho de objetos.

Anexo A – Parecer consubstanciado

O parecer consta nas páginas 137 a 139.

FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - FMUSP

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Avaliação da percepção de tridimensionalidade em sistemas de realidade virtual com estereoscopia

Pesquisador: Sahra Karolina Gomes e Silva

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 54691916.3.0000.0065

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE DE SAO PAULO

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio
UNIVERSIDADE DE SAO PAULO

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.482.578

Apresentação do Projeto:

Trabalho bem apresentado, de forma clara e objetiva.

Objetivo da Pesquisa:

O objetivo da presente pesquisa e avaliar a tridimensionalidade percebida pelo usuario em sistemas imersivos, com o intuito de auxiliar no desenvolvimento de um modelo de avaliacao para sistemas de realidade virtual com estereoscopia.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Não há riscos objetivos aos participantes do projeto. A possibilidade psicológica de o participante sentir-se constrangido em sua interação com o equipamento de realidade vistual existe mas suas consequências parecem despresíveis.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa interessante, realizada através de medições da qualidade da interação do participante com o equipamento de realidade virtual durante a execução de diferentes tarefas virtuais. Certamente trará benefícios para os desenvolvedores desses equipamentos, especialmente aqueles com utilização prevista na área de saúde.

Endereço: DOUTOR ARNALDO 251 21º andar sala 36
Bairro: PACAEMBU **CEP:** 01.246-903
UF: SP **Município:** SAO PAULO
Telefone: (11)3893-4401 **E-mail:** cep.fm@usp.br

FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - FMUSP

Continuação do Parecer: 1.482.578

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

TCLE aceitável.

Recomendações:

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Projeto bom. Recomendo aprovação.

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_664173.pdf	29/03/2016 21:25:00		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projetopesquisaSahra.pdf	29/03/2016 21:12:31	Sahra Karolina Gomes e Silva	Aceito
Outros	CartaProtocolo.pdf	29/03/2016 16:28:42	Sahra Karolina Gomes e Silva	Aceito
Orçamento	Orcamento.pdf	29/03/2016 16:21:56	Sahra Karolina Gomes e Silva	Aceito
Outros	CurriculoLattesDraFatima.pdf	29/03/2016 16:19:04	Sahra Karolina Gomes e Silva	Aceito
Outros	CurriculoLattesSahra.pdf	29/03/2016 16:08:48	Sahra Karolina Gomes e Silva	Aceito
Folha de Rosto	FolhaDeRostoSahra.pdf	29/03/2016 15:56:01	Sahra Karolina Gomes e Silva	Aceito
Outros	CartaAutorizacaoLabLApIS.pdf	29/03/2016 15:51:02	Sahra Karolina Gomes e Silva	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.docx	17/03/2016 17:50:05	Sahra Karolina Gomes e Silva	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: DOUTOR ARNALDO 251 21º andar sala 36
Bairro: PACAEMBU **CEP:** 01.246-903
UF: SP **Município:** SAO PAULO
Telefone: (11)3893-4401 **E-mail:** cep.fm@usp.br

FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - FMUSP

Continuação do Parecer: 1.482.578

SAO PAULO, 06 de Abril de 2016

Assinado por:
Maria Aparecida Azevedo Koike Folgueira (Coordenador)

Endereço: DOUTOR ARNALDO 251 21º andar sala 36
Bairro: PACAEMBU **CEP:** 01.246-903
UF: SP **Município:** SAO PAULO
Telefone: (11)3893-4401 **E-mail:** cep.fm@usp.br

Anexo B – Roteiro do modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade

O roteiro consta nas páginas 141 a 150.

Roteiro para aplicação do modelo de avaliação da percepção de tridimensionalidade para sistemas de realidade virtual estereoscópicos

Sahra K. G. e Silva[1], **Fátima L. S. Nunes**[1]

[1]Laboratório de Aplicações de Informática em Saúde
Escola de Artes, Ciências e Humanidades
Universidade de São Paulo (LApIS/EACH/USP)
Av. Arlindo Béttio, 1000, São Paulo - SP, 03828-000

sahra@usp.br; fatima.nunes@usp.br

Resumo. *O presente roteiro fornece diretrizes para aplicação de um modelo de avaliação que analisa a percepção de tridimensionalidade em sistemas de RV usando diferentes técnicas de visualização estereoscópica. Esse roteiro inclui a explicação sobre como utilizar o programa em R, implementado para o modelo, que realiza uma análise estatística e matemática para a percepção de tridimensionalidade no intuito de proporcionar um veredicto para cada técnica estereoscópica avaliada. O resultado fornece informações sobre se um ambiente é capaz de fornecer percepção de tridimensionalidade satisfatória para auxiliar na escolha de uma técnica por meio de medição da percepção de distância, profundidade e imersão de usuários, a partir da comparação de diferentes técnicas estereoscópicas em um mesmo sistema de RV.*

1. Requisitos

De forma geral, a utilização do modelo proposto requer a execução de um experimento com um sistema de RV, seguida da análise dos dados por meio de um programa implementado em R (programa em R). O sistema de RV deve cumprir os seguintes requisitos:

- possuir versões que usam diferentes técnicas de estereoscopia, sendo uma versão para cada técnica que se deseja avaliar;
- permitir a execução de pelo menos uma tarefa de manipulação de objetos no AV, de forma que sejam coletados taxa de (erros ou acertos) e tempo para completar a tarefa;
- permitir a geração de diferentes cenários, a partir de diferentes parâmetros inerentes ao sistema, tais como distância entre objetos ou tamanho dos objetos.

Considerando os requisitos apresentados, enfatiza-se que o modelo é voltado para desenvolvedores de sistemas da área de RV.

2. Preparação do ambiente de avaliação

Para preparar o ambiente de avaliação, faça:

- para cada técnica estereoscópica que deseja comparar, construa quatro diferentes cenários do mesmo sistema de RV com a modificação do tamanho de objetos e com a variação da distância de um objeto ao observador, como indicado na tabela 1.

- se preferir, crie uma interface para facilitar o acesso aos diferentes cenários do sistema de RV.

Tabela 1. Configurações de cenários

Cenário	Descrição
Distância maior Tamanho maior (A)	A câmera virtual fica distante de um objeto qualquer e o um objeto qualquer fica em uma escala maior
Distância maior Tamanho menor (B)	A câmera virtual fica distante de um objeto qualquer e o um objeto qualquer fica em uma escala menor
Distância menor Tamanho maior (C)	A câmera virtual fica próxima de um objeto qualquer e o um objeto qualquer fica em uma escala maior
Distância menor Tamanho menor (D)	A câmera virtual fica próxima de um objeto qualquer e o um objeto qualquer fica em uma escala menor

3. Avaliação objetiva

Essa fase requer a condução da experimentação com usuários de modo a executar a tarefa de manipulação do sistema de RV e capturar a taxa de erros (ou acertos) cometidos – a taxa de erros pode ser, por exemplo, a quantidade de colisões indesejadas com determinado objeto – e o tempo para completar a tarefa. Para avaliar objetivamente, execute os seguintes procedimentos:

- submeta cada usuário a testar o sistema em cada cenário construído por vez. Escolha aleatoriamente uma técnica estereoscópica a ser testada em primeiro lugar;
- registre manualmente as informações necessárias ou, se o sistema de RV captura automaticamente esses dados, apenas organize tais dados para posterior utilização no programa em R.

4. Avaliação subjetiva

Para avaliar subjetivamente, execute os seguintes procedimentos:

- submeta cada usuário a responder um questionário ao final de cada sessão referente à avaliação objetiva (quatro cenários em cada técnica estereoscópica). O questionário estabelecido para o modelo possibilita respostas na escala de 1 à 10 e contém as seguintes perguntas:
    1. quanto conforto você sentiu ao usar o dispositivo estereoscópico?
    2. o quanto de cansaço visual você sentiu durante e/ou após a experiência com o dispositivo estereoscópico?
    3. o quão rapidamente você se ajustou à experiência do ambiente virtual com o dispositivo estereoscópico?
    4. quão natural foi a interação com o ambiente?
    5. quão envolvido você ficou pelos aspectos visuais do ambiente?
    6. quão realista foi a movimentação dos objetos pelo espaço do ambiente?

7. você foi capaz de prever o que iria acontecer em resposta às ações que você realizava no ambiente virtual?
8. o quão a qualidade de visualização fornecida pelo dispositivo estereoscópico prejudicou na execução das tarefas ou atividades necessárias no ambiente virtual?
9. o quão bem você conseguiu mover ou manipular objetos no ambiente virtual?
10. o quanto a manipulação dos objetos no ambiente virtual pareceu ser consistente com a manipulação de objetos similares no mundo real?
11. quão envolvido você estava na execução das tarefas ou atividades necessárias no ambiente virtual?
12. quão bem você foi capaz de perceber o efeito 3D no ambiente virtual?

- organize as respostas dos usuários deste questionário para posterior utilização no programa em R disponibilizado.

Como exemplo, suponha que deseja-se testar no sistema as técnicas T1 e T2 e que as métricas consideradas são taxa de erros e tempo. Cinco usuários são submetidos a testar o ambiente e obtêm o desempenho mostrado na tabela 2 e, ao final do teste com cada técnica estereoscópica, respondem o questionário, fornecendo notas mostradas na tabela 3.

Tabela 2. Simulação de performance em um dado experimento

		Técnica 1		Técnica 2	
Sujeito	**Cenário**	**Erros**	**Tempo**	**Erros**	**Tempo**
1	A	21	17	8	4
	B	18	14	14	7
	C	8	9	9	4
	D	9	7	5	2
2	A	16	17	1	5
	B	19	27	8	21
	C	7	10	7	6
	D	6	19	12	5
3	A	25	21	0	4
	B	14	34	8	3
	C	12	6	9	19
	D	13	11	2	9
4	A	11	24	7	11
	B	15	13	3	18
	C	12	18	4	4
	D	9	14	2	2
5	A	30	18	2	3
	B	17	13	5	3
	C	3	8	2	3
	D	4	10	4	4

Tabela 3. Simulação de notas do questionário para um dado experimento

	Sujeito 1		Sujeito 2		Sujeito 3		Sujeito 4		Sujeito 5	
	T1	**T2**	**T1**	**T2**	**T1**	**T2**	**T1**	**T2**	**T1**	**T2**
Q1	1	10	8	10	8	10	7	9	7	8
Q2	4	10	9	10	10	10	8	7	7	6
Q3	6	10	10	10	6	10	7	10	10	10
Q4	4	10	1	1	8	9	8	8	6	8
Q5	3	10	6	6	9	10	8	10	7	9
Q6	2	10	1	4	9	10	8	8	7	7
Q7	8	6	7	4	7	9	8	9	7	7
Q8	2	10	9	10	7	10	7	8	8	9
Q9	5	10	7	4	9	9	8	10	7	8
Q10	5	10	1	1	10	9	8	8	7	7
Q11	3	10	9	8	10	10	9	10	7	7
Q12	8	10	8	10	10	10	8	9	7	8

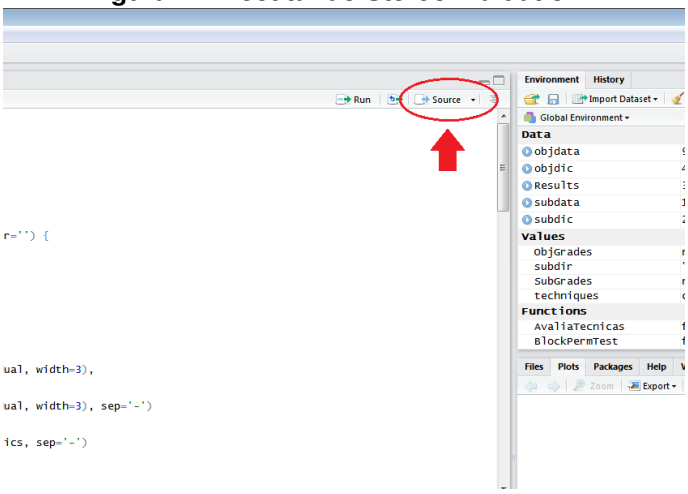
5. Utilização do programa em R

Nessa fase, é necessário a instalação do software estatístico R e RStudio (Figura 1) disponíveis em:

-https://cran.r-project.org/bin/windows/base/

-https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/

Figura 1. Executando StereoEvaluation.R



Em seguida, execute os seguintes passos:

- faça o download do programa em R implementado para o modelo de avaliação e descompacte-o;
- crie um arquivo texto contendo os dados objetivos organizados como na tabela exemplo 4 com o nome "objective_data.txt" (se preferir, use o Excel, utilize a opção "salvar como" e escolha .txt);
- crie um arquivo texto contendo os dados subjetivos organizados como na tabela exemplo 5 com o nome "subjective_data.txt";

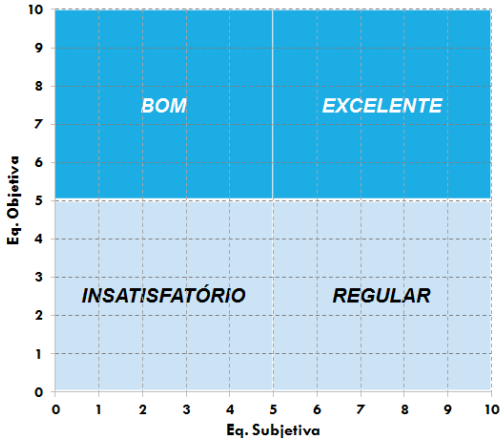
- salve os dois arquivos criados no diretório \StereoEvaluation\io;
- abra o arquivo "objective_dictionnaire.txt" que consta no diretório \StereoEvaluation\io, e preencha o dicionário com as seguintes informações: na coluna *System*, o nome dos sistemas que deseja avaliar; na coluna *Metrics*, o nome das métricas que deseja considerar (o modelo de avaliação proposto prevê apenas taxa de erros, taxa de acertos e tempo); na coluna *Sign*, preencha "1" quando a métrica especificada na coluna anterior considerar que quanto maior é o seu o valor, melhor desempenho ela tem, caso contrário, preencha "-1".
- faça o mesmo procedimento do item anterior para o arquivo "subjective_dictionnaire.txt", lembrando que o conteúdo da coluna Sign também pode variar, dependendo de como foram formuladas as respostas possíveis do questionário;
- abra o arquivo StereoEvaluation.R, o RStudio deverá inicializar;
- clique em "Source" como indicado na figura 1.
- observe os arquivos gerados no diretório \StereoEvaluation\io.

6. Interpretação dos resultados

O programa em R StereoEvaluation exibe o resultado que inclui duas notas para cada técnica estereoscópica, uma proveniente da avaliação objetiva e outra proveniente da avaliação subjetiva, no arquivo \StereoEvaluation\io\grades.txt. Cada técnica estereoscópica é então classificada de acordo com a combinação das suas notas como ilustrado no gráfico da figura 2. O veredicto final é calculado da seguinte forma:

- observa-se o valor atribuído à nota objetiva, verificando a sua posição no eixo vertical do gráfico da figura 2;
- observa-se o valor atribuído à nota subjetiva, verificando a sua posição no eixo horizontal do gráfico da figura 2;
- observa-se em qual quadrante do gráfico as notas se cruzam, determinando assim o veredicto.

Figura 2. Gráfico do veredicto



Os seguintes veredictos são possíveis:

- Insatisfatório: a técnica estereoscópica não atende ou atende minimamente às expectativas quanto ao padrão esperado de desempenho definido para o fornecimento de percepção de tridimensionalidade;
- Regular: a técnica estereoscópica atende parcialmente às expectativas quanto ao padrão esperado de desempenho definido para o fornecimento de percepção de tridimensionalidade;
- Bom: a técnica estereoscópica atende às expectativas quanto ao padrão esperado de desempenho definido para o fornecimento de percepção de tridimensionalidade;
- Excelente: a técnica estereoscópica supera as expectativas quanto ao padrão esperado de desempenho definido para o fornecimento de percepção de tridimensionalidade.

Tabela 4: Simulação de organização dos dados objetivos para um dado experimento

System	Individual	Technique	Scenario	Metrics	Value
S	1	T1	A	Erros	21
S	1	T1	B	Erros	18
S	1	T1	C	Erros	8
S	1	T1	D	Erros	9
S	1	T2	A	Erros	8
S	1	T2	B	Erros	14
S	1	T2	C	Erros	9
S	1	T2	D	Erros	5
S	2	T1	A	Erros	16
S	2	T1	B	Erros	19
S	2	T1	C	Erros	7
S	2	T1	D	Erros	6
S	2	T2	A	Erros	1
S	2	T2	B	Erros	8
S	2	T2	C	Erros	7
S	2	T2	D	Erros	12
S	3	T1	A	Erros	25
S	3	T1	B	Erros	14
S	3	T1	C	Erros	12
S	3	T1	D	Erros	13
S	3	T2	A	Erros	0
S	3	T2	B	Erros	8
S	3	T2	C	Erros	9
S	3	T2	D	Erros	2
S	4	T1	A	Erros	11
S	4	T1	B	Erros	15
S	4	T1	C	Erros	12
S	4	T1	D	Erros	9
S	4	T2	A	Erros	7
S	4	T2	B	Erros	3

S	4	T2	C	Erros	4
S	4	T2	D	Erros	2
S	5	T1	A	Erros	30
S	5	T1	B	Erros	17
S	5	T1	C	Erros	3
S	5	T1	D	Erros	4
S	5	T2	A	Erros	2
S	5	T2	B	Erros	5
S	5	T2	C	Erros	2
S	5	T2	D	Erros	4
S	1	T1	A	Tempo	17
S	1	T1	B	Tempo	14
S	1	T1	C	Tempo	9
S	1	T1	D	Tempo	7
S	1	T2	A	Tempo	4
S	1	T2	B	Tempo	7
S	1	T2	C	Tempo	4
S	1	T2	D	Tempo	2
S	2	T1	A	Tempo	17
S	2	T1	B	Tempo	27
S	2	T1	C	Tempo	10
S	2	T1	D	Tempo	19
S	2	T2	A	Tempo	5
S	2	T2	B	Tempo	21
S	2	T2	C	Tempo	6
S	2	T2	D	Tempo	5
S	3	T1	A	Tempo	21
S	3	T1	B	Tempo	34
S	3	T1	C	Tempo	6
S	3	T1	D	Tempo	11
S	3	T2	A	Tempo	4
S	3	T2	B	Tempo	3
S	3	T2	C	Tempo	19
S	3	T2	D	Tempo	9
S	4	T1	A	Tempo	24
S	4	T1	B	Tempo	13
S	4	T1	C	Tempo	18
S	4	T1	D	Tempo	14
S	4	T2	A	Tempo	11
S	4	T2	B	Tempo	18
S	4	T2	C	Tempo	4
S	4	T2	D	Tempo	2
S	5	T1	A	Tempo	18
S	5	T1	B	Tempo	13
S	5	T1	C	Tempo	8
S	5	T1	D	Tempo	10

S	5	T2	A	Tempo	3
S	5	T2	B	Tempo	3
S	5	T2	C	Tempo	3
S	5	T2	D	Tempo	4

Tabela 5: Simulação de organização dos dados subbjetivos para um dado experimento

System	Individual	Technique	Metrics	Value
S	1	T1	1st Question	1
S	1	T1	2nd Question	4
S	1	T1	3rd Question	6
S	1	T1	4th Question	4
S	1	T1	5th Question	3
S	1	T1	6th Question	2
S	1	T1	7th Question	8
S	1	T1	8th Question	2
S	1	T1	9th Question	5
S	1	T1	10th Question	5
S	1	T1	11th Question	3
S	1	T1	12th Question	8
S	1	T2	1st Question	10
S	1	T2	2nd Question	10
S	1	T2	3rd Question	10
S	1	T2	4th Question	10
S	1	T2	5th Question	10
S	1	T2	6th Question	10
S	1	T2	7th Question	6
S	1	T2	8th Question	10
S	1	T2	9th Question	10
S	1	T2	10th Question	10
S	1	T2	11th Question	10
S	1	T2	12th Question	10
S	2	T1	1st Question	8
S	2	T1	2nd Question	9
S	2	T1	3rd Question	10
S	2	T1	4th Question	1
S	2	T1	5th Question	6
S	2	T1	6th Question	1
S	2	T1	7th Question	7
S	2	T1	8th Question	9
S	2	T1	9th Question	7
S	2	T1	10th Question	1
S	2	T1	11th Question	9
S	2	T1	12th Question	8

S	2	T2	1st Question	10
S	2	T2	2nd Question	10
S	2	T2	3rd Question	10
S	2	T2	4th Question	1
S	2	T2	5th Question	6
S	2	T2	6th Question	4
S	2	T2	7th Question	4
S	2	T2	8th Question	10
S	2	T2	9th Question	4
S	2	T2	10th Question	1
S	2	T2	11th Question	8
S	2	T2	12th Question	10
S	3	T1	1st Question	8
S	3	T1	2nd Question	10
S	3	T1	3rd Question	6
S	3	T1	4th Question	8
S	3	T1	5th Question	9
S	3	T1	6th Question	9
S	3	T1	7th Question	7
S	3	T1	8th Question	7
S	3	T1	9th Question	9
S	3	T1	10th Question	10
S	3	T1	11th Question	10
S	3	T1	12th Question	10
S	3	T2	1st Question	10
S	3	T2	2nd Question	10
S	3	T2	3rd Question	10
S	3	T2	4th Question	9
S	3	T2	5th Question	10
S	3	T2	6th Question	10
S	3	T2	7th Question	9
S	3	T2	8th Question	10
S	3	T2	9th Question	9
S	3	T2	10th Question	9
S	3	T2	11th Question	10
S	3	T2	12th Question	10
S	4	T1	1st Question	7
S	4	T1	2nd Question	8
S	4	T1	3rd Question	7
S	4	T1	4th Question	8
S	4	T1	5th Question	8
S	4	T1	6th Question	8
S	4	T1	7th Question	8
S	4	T1	8th Question	7
S	4	T1	9th Question	8
S	4	T1	10th Question	8

S	4	T1	11th Question	9
S	4	T1	12th Question	8
S	4	T2	1st Question	9
S	4	T2	2nd Question	7
S	4	T2	3rd Question	10
S	4	T2	4th Question	8
S	4	T2	5th Question	10
S	4	T2	6th Question	8
S	4	T2	7th Question	9
S	4	T2	8th Question	8
S	4	T2	9th Question	10
S	4	T2	10th Question	8
S	4	T2	11th Question	10
S	4	T2	12th Question	9
S	5	T1	1st Question	7
S	5	T1	2nd Question	7
S	5	T1	3rd Question	10
S	5	T1	4th Question	6
S	5	T1	5th Question	7
S	5	T1	6th Question	7
S	5	T1	7th Question	7
S	5	T1	8th Question	8
S	5	T1	9th Question	7
S	5	T1	10th Question	7
S	5	T1	11th Question	7
S	5	T1	12th Question	7
S	5	T2	1st Question	8
S	5	T2	2nd Question	6
S	5	T2	3rd Question	10
S	5	T2	4th Question	8
S	5	T2	5th Question	9
S	5	T2	6th Question	7
S	5	T2	7th Question	7
S	5	T2	8th Question	9
S	5	T2	9th Question	8
S	5	T2	10th Question	7
S	5	T2	11th Question	7
S	5	T2	12th Question	8