

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE COMUNICAÇÃO E EXPRESSÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

GUSTAVO EGGERT BOEHS

**A QUALIDADE DO EFEITO ESTEREOSCÓPICO EM
AMBIENTES VIRTUAIS FRENTE À ESCOLHA DO MÉTODO
DE GERAÇÃO DE IMAGENS**

**FLORIANÓPOLIS
2013**

GUSTAVO EGGERT BOEHS

**A QUALIDADE DO EFEITO ESTEREOSCÓPICO EM
AMBIENTES VIRTUAIS FRENTE À ESCOLHA DO MÉTODO
DE GERAÇÃO DE IMAGENS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós
Graduação da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de Mestre
em Design

Orientador: Prof. Dr. Eng. Milton Luiz Horn
Vieira

**FLORIANÓPOLIS
2013**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Boehs, Gustavo Eggert

A qualidade do efeito estereoscópico em ambientes virtuais frente à escolha do método de geração de imagens / Gustavo Eggert Boehs ; orientador, Dr. Milton Luiz Horn Vieira - Florianópolis, SC, 2013.

115 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Comunicação e Expressão. Programa de Pós-Graduação em Design e Expressão Gráfica.

Inclui referências

1. Design e Expressão Gráfica. 2. Hiperfídia. 3. Ambientes Virtuais . 4. Estereoscopia. I. Vieira, Dr. Milton Luiz Horn . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Design e Expressão Gráfica. III. Título.

GUSTAVO EGGERT BOEHS

**A QUALIDADE DO EFEITO ESTEREOSCÓPICO EM
AMBIENTES VIRTUAIS FRENTE À ESCOLHA DO MÉTODO
DE GERAÇÃO DE IMAGENS**

Este (a) Dissertação/Tese foi julgado(a) adequado(a) para obtenção do Título de “Mestre”, e aprovad(o)a em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Design.

Florianópolis, 02 de maio de 2013.

Prof. Eugenio Andres Diaz Merino, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Milton Luiz Horn Vieira, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Nelci Moreira de Barros, Dr.
Fundação Getúlio Vargas

Prof. Eliete Auxiliadora Assunção Ourives, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Ricardo Triska, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a meus pais Astrid e Lourival, que me acompanharam de corpo e alma nesta caminhada, e também nas anteriores. A meu irmão Gabriel e sua família, pela amizade sincera que cultivamos a 300km de distância. E a minha namorada Bruna, que ao me completar, dá cor à existência, de outro modo tão sem graça.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Milton Luiz Horn Vieira, por me receber como orientando, por disponibilizar de seu tempo, conhecimentos e infraestrutura de laboratório para a execução desta pesquisa. Aos participantes da banca, professores Nelci Moreira de Barros, Eliete Auxiliadora Assunção Ourives e Ricardo Triska, por compartilharem do seu tempo e conhecimento e prol do enriquecimento deste trabalho e de minha formação. Aos demais docentes do programa de pós-graduação em Design da Universidade Federal de Santa Catarina pelos conhecimentos compartilhados. A equipe da secretaria do Pós-Design, que sempre esteve disponível para me auxiliar de maneira célere e cordial. Aos órgãos governamentais, CAPES e CNPq, que propiciam a realização dos programas de pós-graduação. Ao graduando Lucas Fantini Januário pelo comprometimento e colaboração continuada em diversas etapas desta pesquisa. A todos os docentes da UFSC, amigos e demais participantes que se submeteram a participar da coleta de dados.

Se você busca seu êxtase, se põe em uma espécie de
caminho que na verdade sempre esteve lá, te
esperando, e a vida que você deveria viver é a vida que
você esta vivendo.
(Joseph Campbell, 1991)

RESUMO

O número de produtos capazes de reproduzir imagens estereoscópicas (comumente conhecidas como 3d) cresceu nos últimos anos. Para além do uso do cinema, esta tecnologia está presente hoje em televisores digitais, computadores, tablets e celulares. Nestas mídias a estereoscopia apresenta-se como fator potencializador da imersão do usuário. Atualmente diferentes métodos são utilizados para gerar imagens estereoscópicas, no entanto, não existem estudos suficientes que comparem o impacto destes métodos junto a percepção dos seres humanos. A presente pesquisa tem, portanto, como objetivo analisar aspectos da qualidade do fenômeno de percepção de imagens estereoscópicas, por seres humanos, dentro de ambientes virtuais, cuja as imagens foram geradas a partir de diferentes métodos. Para alcançar tal resultado foi criado um ambiente virtual que serviu de base para a criação de diferentes vídeos estereoscópicos gerados a partir de câmeras paralelas, câmeras convergentes e reconstrução da segunda imagem do par estereoscópico. Estes vídeos sensibilizaram sujeitos de pesquisa que julgaram a qualidade das imagens em três diferentes dimensões, qualidade da imagem, qualidade da profundidade e conforto visual. O estudo concluiu que não houve diferença percebida entre imagens geradas por câmeras paralelas e câmeras convergentes, mas que ambas tem qualidade significativamente superior às imagens geradas por reconstrução. Tais resultados apresentam um impacto significativo nos métodos e nos custos envolvidos na criação de imagens estereoscópicas.

Palavras-chave: Hipermídia. Ambientes Virtuais. Estereoscopia.

ABSTRACT

The number of products that are capable of displaying stereoscopic images (also known as 3d) has been growing in recent years. The use of this technology has outgrown the silver screen and is now available in televisions, computers, tablets and even cell phones. Due to its nature, content created for stereoscopic media demands attention to some characteristics not existent in the context of monoscopic media. With a focus on image creation, this research's objective is to assess how different stereoscopic image generation methods can affect human human perception. To achieve this a virtual environment was created, from it different videos were generated using different methods such as converging cameras, parallel cameras and depth image based rendering (DIBR). This videos were showed to participants who were assessed about the quality of image, quality of depth and visual confort of such media. The study has found that there was very little difference between the perception of images generated by parallel and convergent cameras, while there was a substantial difference in perception between this last two and DIBR images. Such results can significantly impact the choice for stereoscopic image generation technology with impact in production's costs, methods, human and machine time consumption.

Keywords: Hipermedia. Virtual Environments. Stereoscropy.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Primeiro sistema de realidade virtual estereoscópico criado por Ivans Sutherland..... 33
- Figura 2** – Instalação artística “videoplace” dotada de um ambiente virtual no qual o usuário interage utilizando sua silhueta. 34
- Figura 3** – Virtuality, sistema commercial de jogos com uso da realidade virtual..... 35
- Figura 4** – (a) Capa da revista *Scientific American* mostrando uma luva capaz de rastrear e reproduzir as posições de uma mão humana dentro de ambiente virtual. (b) Braço mecânico capaz de rastrear a posição da manopla dentro do ambiente virtual e oferecer resistência aos movimentos do usuário quando em econtro com a “materia” virtual. .. 36
- Figura 5** – Esquema gráfico de um CAVE..... 37
- Figura 6** –Estereoscópico Lenticular..... 39
- Figura 7** - (a) A esquerda a oclusão da montanha em primeiro plano sobre a montanha do fundo é um forte índice de profundidade na imagem. (b) A direita o tamanho, espaçamento e esmacimento dos elementos são índices de profundidade predominantes na imagem. 41
- Figura 8** - A vergência, ângulação entre os olhos, é diferente conforme a distância entre o observador e o objeto observado. 42
- Figura 9** – (a) Duas imagens (filtradas em vermelho e azul) superpostas formando em um anaglifo estereoscópico. A distância x representa uma disparidade horizontal com paralaxe positiva, a distância y representa uma disparidade horizontal com paralaxe negativa. (b) os elementos em paralaxe positiva são percebidos como mais próximos que o display, enquanto os elementos em paralaxe negativa são percebidos como mais distantes que o display..... 43
- Figura 10** – Esquema gráfico que representa a disposição de câmeras em geração de imagem estereoscópica do tipo paralelo..... 45
- Figura 11** - Esquema gráfico que representa a disposição de câmeras em geração de imagem estereoscópica do tipo convergente. O símbolo β representa o ângulo de convergência entre as câmeras. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 12** – Cameras estereoscópicas dispostas de modo convergente

demonstrando o efeito de *Keystoning* dado pelo visível desalinhamento nos cantos das imagens. 48

Figura 13 – (a) Imagem monoscópica (b) informação de profundidade da cena, onde cores claras indicam elementos mais próximos e cores escuras elementos mais distantes. 49

Figura 14 – Os objetos são posicionados ao longo do eixo de profundidade em imagens estereoscópicas relativos a distância entre o observador e o suporte. Quanto maior for esta distância mais os objetos parecem saltar da tela. Em grandes distâncias, objetos que saltam muito da tela sofrem miniaturização. 55

Figura 15 – Esquema gráfico de uma seção de testes de comparação de pares. 57

Figura 16 – Ambiente virtual criado a semelhança de corredor do departamento de Comunicação e Expressão da Universidade Federal de Santa Catarina, com sobreposição de elementos digitais animados..... 59

Figura 17 – Fotos coletadas no corredor do departamento de Comunicação e Expressão da Universidade Federal de Santa Catarina 61

Figura 18 – Modelo virtual dos corredores do departamento de Comunicação e Expressão da Universidade Federal de Santa Catarina. Em branco câmera posicionada para projeção de imagem capturada in loco. Em vermelho luzes virtuais simulam o comportamento da luz apresentado na foto. 62

Figura 19 – Modelos de cameras virtuais capturando o ambiente criado através de computação gráfica. Câmeras paralelas em branco, cameras convergentes em azul e vermelho. 63

Figura 20 – (a) Render colorido do ambiente virtual criado para os testes. (b) Mapa de profundidade do ambiente virtual, as cores escuras representam pontos próximos da câmera, pontos claros representam pontos distantes da câmera..... 64

Figura 21 – Diferença entre imagem capturada por câmera paralela (P) e câmera convergente (C). Resultado da operação $1/|C-P|$. No condição de menor amplitude de disparidade horizontal, ao ce condição de média amplitude e abaixo a condição de maior amplitude. Cores escuras indicam maior diferença entre as imagens, enquanto cores claras indicam menor diferença. 66

Figura 22 – Diferença entre imagem capturada por câmera paralela (P)

e imagem reconstruída para composição do par estereoscópico (R). Resultado da operação $1/|C-P|$. No topo a condição de menor amplitude de disparidade horizontal, ao centro a condição de média amplitude e abaixo a condição de maior amplitude. Cores escuras indicam maior diferença entre as imagens, enquanto cores claras indicam menor diferença..... 67

Figura 23 – Comparação entre resultados gerados por diferentes métodos de reconstrução de imagem. A esquerda filtro e translação de pixels normal. A direita filtro extremo (somado a um pré-filtro gaussiano) e translação de pixels por oclusão definida. Nota-se a duplicidade gerada em alguns elementos (chifres do dragão e bolas)... 77

Figura 24 – Referências cruzadas x Amplitude de Disparidade Horizontal..... 80

Figura 25 – Referências Cruzadas em Baixa Disparidade Horizontal. Incidência de referências cruzadas nos teste com imagens contendo **baixa disparidade horizontal**, entre os pares convergente e paralelo (CB-PB), convergente e reconstruído (CB-RB) e paralelo e reconstruído (PB-RB) quanto a percepção da qualidade da imagem, qualidade da profundidade e conforto visual observada pelos sujeitos de pesquisa... 81

Figura 26 – Referências Cruzadas em Média Disparidade Horizontal. Incidência de referências cruzadas nos teste com imagens contendo **média disparidade horizontal**, entre os pares convergente e paralelo (CM-PM), convergente e reconstruído (CM-RM) e paralelo e reconstruído (PM-RM) quanto a percepção da qualidade da imagem, qualidade da profundidade e conforto visual observada pelos sujeitos de pesquisa. 82

Figura 27 – Referências Cruzadas em Alta Disparidade Horizontal. Incidência de referências cruzadas nos teste com imagens contendo **alta disparidade horizontal**, entre os pares convergente e paralelo (CA-PA), convergente e reconstruído (CA-RA) e paralelo e reconstruído (PA-RA) quanto a percepção da qualidade da imagem, qualidade da profundidade e conforto visual observada pelos sujeitos de pesquisa... 83

Figura 28 – **Referências Circulares**. Ocorrência de referências circulares em estímulos de baixa, média e alta amplitude de disparidade horizontal, frente a avaliação da qualidade da imagem, qualidade da profundidade e conforto visual proporcionados pelos estímulos. 84

Figura 29 – Qualidade de Imagem. Estímulos ordenados de acordo com

a preferência dos sujeitos de pesquisa no que tange a qualidade da imagem em estímulos criados por diferentes métodos de geração de imagem estereoscópica (convergente, paralelo e reconstruído) em diferentes amplitudes de disparidade horizontal (baixa, média e alta). Menores valores indicam maior preferência. 86

Figura 30 - Qualidade de Profundidade. Estímulos ordenados de acordo com a preferência dos sujeitos de pesquisa no que tange a qualidade da profundidade em estímulos criados por diferentes métodos de geração de imagem estereoscópica (convergente, paralelo e reconstruído) em diferentes amplitudes de disparidade horizontal (baixa, média e alta). Menores valores indicam maior preferência. 87

Figura 31 - Conforto Visual. Estímulos ordenados de acordo com a preferência dos sujeitos de pesquisa no que tange o conforto visual em estímulos criados por diferentes métodos de geração de imagem estereoscópica (convergente, paralelo e reconstruído) em diferentes amplitudes de disparidade horizontal (baixa, média e alta). Menores valores indicam maior preferência. 88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Esta tabela descreve a distância necessária (em metros) entre observador e suporte, em função do tamanho e resolução deste último.	55
Tabela 2 – Relação de imagens criadas para os testes com os sujeitos de pesquisa, organizadas de acordo com o método de geração de imagens e a amplitude do efeito estereoscópico, dada pela paralaxe horizontal da imagem.....	60
Tabela 3 – Casos de referência cruzada	69
Tabela 4 – Casos de referência circular.....	69
Tabela 5 - Valores de χ^2 (Qui-quadrado) em níveis de 5% e 1% ($\alpha=0,05$ a 0,01) de probabilidade em diferentes graus de liberdade (K-1).....	71
Tabela 6 – Resultados para X^2 nas diferentes aplicações do Teste de Friedman executadas com os dados coletados.	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modelo de formulário utilizado pelos participantes para coleta dos dados.	57
Quadro 2 - Relação de métodos para filtragem e translação de pixels na geração imagens estereoscópicas por reconstrução, do software Ocula	76

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	17
LISTA DE TABELAS.....	21
LISTA DE QUADROS	23
1 INTRODUÇÃO	27
1.1 OBJETIVO GERAL	28
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
1.3 DELIMITAÇÃO	29
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	29
2 REFERENCIAIS TEÓRICOS.....	31
2.1 AMBIENTES VIRTUAIS	31
2.1.1 O surgimento dos ambientes virtuais	31
2.1.2 A pesquisa em realidade virtual.....	33
2.1.3 Ambientes virtuais além do contexto da realidade virtual	37
2.2 BREVE HISTÓRIA DA ESTEREOSCOPIA.....	38
2.3 ÍNDICES DE PROFUNDIDADE E ESTERIÓPSE	40
2.4 A IMAGEM ESTEREOSCÓPICA	42
2.5 MÉTODOS DE GERAÇÃO DE IMAGENS ESTEREOSCÓPICAS	43
2.5.1 Geração de imagens com câmeras paralelas.....	44
2.5.2 Geração de imagens com câmeras convergentes	45
2.5.3 Reconstrução do par estereoscópico	48
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	51
3.1 DOS TESTES DE PERCEPÇÃO DE IMAGENS ESTEREOSCÓPICAS	51
3.2 SUJEITOS DE PESQUISA	52
3.3 OBJETO DE PESQUISA.....	53
3.4 CONDIÇÕES LABORATORIAIS	54
3.5 COLETA DE DADOS	56
3.5.1 Teste piloto e Teste definitivo	58
3.6 DOS AMBIENTES VIRTUAIS E ESTÍMULOS SENSÍVEIS.....	58
3.6.1 Construção dos ambientes virtuais e estímulos sensíveis.....	61
3.7 DA ANÁLISE DOS DADOS	68
4 RESULTADOS.....	72
4.1 TESTE PILOTO.....	73

4.2	TESTE DEFINITIVO	77
4.3	ANÁLISE DE DADOS	79
4.3.1	Referências cruzadas	79
4.3.2	Referências circulares.....	84
4.3.3	Ordenação dos dados.....	85
4.3.4	Teste de Friedman.....	89
5	DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
	REFERÊNCIAS.....	95
	GLOSSÁRIO.....	101
	ANEXOS.....	103

1 INTRODUÇÃO

O número de produtos e conteúdos que utilizam imagens estereoscópicas, comumente conhecidas como 3d, tem crescido gradativamente nos últimos anos. Segundo Mendiburu (2009) durante toda a década de 1990 foram lançados no mercado americano 30 filmes estereoscópicos, enquanto, segundo Movie Insider (2012), somente no ano de 2012 foram lançados 41. Tamanha demanda por este tipo de conteúdo contribuiu para a adoção desta tecnologia em uma série de aparelhos eletrônicos. Entre os quais podemos citar: computadores, celulares, tablets e televisores digitais. Tal disponibilidade tecnológica pode apresentar como potencialidade o aumento da sensação de profundidade percebida em imagens (MENDIBURU, 2009), como as de um ambiente virtual, por exemplo.

Os ambientes virtuais surgiram na década de 1960, criados por Ivan Sutherland e por muito tempo estiveram ligados a pesquisa e treinamento militar e aeroespacial. No entanto, atualmente, dada a grande disseminação de computadores com alta capacidade de processamento gráfico, este tipo de conteúdo pode ser encontrado em uma série de aplicações como: jogos eletrônicos, geo-referenciamento, CAD¹ e comunicação. A possibilidade do uso da estereoscopia em equipamentos industrializados em grande escala torna disponível um recurso antes só utilizado em equipamentos de alto custo como vídeo-capacetes e CAVES².

A criação de conteúdo estereoscópico, no entanto, tem características diferenciadas da criação de conteúdo monoscópico (comumente conhecido como 2d). A geração de imagens monoscópicas, implica em escolhas técnicas e conceituais, que variam de acordo com aquilo que é representado e o meio onde a imagem é exibida. São exemplos destas escolhas as características do filme (ou foto-sensor) e da lente na captura de uma fotografia, a qualidade de compressão na transmissão de imagens através da internet, ou a resolução de um televisor digital. A criação de imagens estereoscópica soma a estas outras escolhas, dada suas especificidades.

Imagens estereoscópicas são constituídas por pares de imagens monoscópicas, capturadas em diferentes pontos do espaço, visando

¹ Do inglês *Computer Assisted Design*, ou Design Auxiliado por Computador

² Do inglês *Cave Automatic Virtual Environment* ou cavernas de ambientes virtuais são salas em forma de cubo com todas as paredes cobertas por imagens de ambientes virtuais estereoscópicos.

simular o comportamento binocular da visão humana, acumulando assim as escolhas técnicas e conceituais presentes em imagens monoscópicas e agregando outras exclusivas de sua natureza. Por exemplo, dado o fato de a criação da imagem estereoscópica implicar no uso de duas câmeras, estas estarão separadas por um espaço “ x ” e um ângulo “ α ”. Uma imagem pode ser gerada, portanto, com as câmeras alinhadas de maneira paralela ou convergente, com um ângulo “ α ” variável. Pode ainda uma imagem estereoscópica ter uma distância interaxial variável, sendo igual, maior que, ou menor que, aquela dos olhos humanos.

Mendiburu (2009) identifica, na prática da geração de imagens estereoscópicas, diferentes correntes de pensamento: “Você pode tentar replicar a visão humana e mover a câmera como movem-se os olhos. [...] Ou você pode não replicar a visão humana, e sim o espaço tridimensional e deixar que os olhos do espectador naveguem livremente pela ação”. Tais correntes divergentes dão origem a diferentes métodos de geração de imagens. Segundo o autor não existe consenso sobre qual destes métodos é o melhor.

É possível levantar, portanto, a seguinte pergunta de pesquisa: qual o impacto da escolha do métodos de geração de imagens estereoscópicas na qualidade de percepção das mesmas por seres humanos no contexto dos ambientes virtuais?

Diante de tal pergunta levantou-se a seguinte hipótese: na criação de ambientes virtuais, a qualidade de percepção das imagens estereoscópicas, por seres humanos, é afetada pelo método de geração destas imagens.

1.1 OBJETIVO GERAL

Frente a pergunta e hipótese levantadas é objetivo desta pesquisa, analisar aspectos da qualidade do fenômeno de percepção de imagens estereoscópicas, por seres humanos, dentro de ambientes virtuais, cuja as imagens foram geradas a partir de diferentes métodos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar este objetivo geral a pesquisa tem os seguintes

objetivos específicos:

- Criar um ambiente virtual para seções de teste, no qual constem como variáveis independentes os diferentes métodos existentes para geração de imagens estereoscópicas, e como variável de controle a quantidade de disparidade horizontal³ nestas imagens.
- Estruturar e aplicar um teste que permita verificar junto a sujeitos de pesquisa como estes percebem os ambientes virtuais gerados através de diferentes métodos de geração de imagens estereoscópicas.

Dado o escopo da pesquisa, serão avaliados apenas aspectos ligados à visualização das imagens e percepção do efeito estereoscópico em ambientes virtuais. Não serão abordados elementos de interatividade dentro destes ambientes.

O crescimento de disponibilidade da tecnologia estereoscópica em interfaces disponíveis em produtos de consumo apresenta novas oportunidades para designers e produtores de conteúdo digital em geral. O presente trabalho contribuirá na melhor compreensão de um aspecto atualmente nebuloso da construção destas imagens. Uma vez compreendido o impacto que o método de geração de imagens exerce sobre a percepção do espectador, tornar-se-ão mais claras as escolhas tecnológicas e processuais envolvidas nesta prática criativa.

1.3 DELIMITAÇÃO

A presente pesquisa dar-se-á no contexto de criação de ambientes virtuais hipermediáticos de modo a corroborar e contribuir com o programa científico de mestrado no qual esta pesquisa esta inserida.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Após este capítulo introdutório o presente documento está dividido nas etapas: **fundamentação teórica**, que localiza a pesquisa

³ Disparidade horizontal é a medida da diferença de paralaxe entre ambas imagens do par estereoscópico. Esta medida esta altamente ligada a sensação de profundidade percebida nestas imagens. Tal conceito esta descrito em maior detalho no item 2.4.

dentro do contexto geral do campo de conhecimento da hipermídia e define os conceitos teóricos relevantes ao trabalho realizado; **procedimentos metodológicos**, que descreve em detalhe os procedimentos adotados; **resultados**, que trata da coleta e análise de dados feita por esta pesquisa para atingir os objetivos delineados; **discussão e considerações finais**, que confronta os resultados aqui encontrados com outras pesquisas deste campo de conhecimento, bem como expõe suas aplicações práticas, limitações e oportunidades de futuros trabalhos.

2 REFERENCIAIS TEÓRICOS

De modo a construir as bases de conhecimento necessárias para uma eficaz avaliação do fenômeno, este capítulo formula o conceito, doravante denominados ambientes virtuais hipermediáticos e imagens estereoscópicas, delineando também um histórico destes dois temas. Quanto as imagens estereoscópicas além de defini-las como artefato considerou-se necessário também compreender o fenômeno de sua percepção, por seres humanos, para fundamentar a escolha dos procedimentos metodológicos de pesquisa e corroborar com a qualidade dos resultados a serem obtidos.

2.1 AMBIENTES VIRTUAIS

Quéau (QUÉAU, 1993, p. 67) define um ambiente virtual como sendo uma “base de dados gráficos interativos explorável e visualizável em tempo real sob a forma de imagens sintéticas tridimensionais de forma a dar um sentimento de imersão na imagem”. Esta é a definição escolhida para a ocasião deste trabalho. Nota-se aqui que existem definições mais abrangentes que englobam ambientes bidimensionais e até ambientes textuais (SNOWDON; CHURCHILL; MUNRO, 2000), no entanto, estes serão desconsiderados dadas as limitações de escopo do presente trabalho.

2.1.1 O surgimento dos ambientes virtuais

Segundo Dixon (2007), na década de 1960 Ivans Sutherland conduziu nos laboratórios da ARPA⁴ e posteriormente em Harvard, experimentos que vieram a dar origem ao que hoje conhecemos como Realidade Virtual e Ambientes Virtuais. Ainda segundo Dixon a pesquisa de Sutherland que deu origem a estes conceitos foi publicada no artigo “The Ultimate Display” em 1965. Segundo documentos da universidade de Ohio (2012) o referido artigo tratava da utilização de

⁴ ARPA Do inglês *Advanced Research Projects Agency*, agência estadunidense responsável por projetos de pesquisa avançados.

um capacete estereoscópico (Figura 1) capaz de reproduzir imagens captadas a distância. O movimento executado pelo observador era replicado nas câmeras, de modo que o observador se sentia imerso na ação. Um exemplo de tal imersão é dado em uma experiência onde o observador visualiza imagens capturadas por uma câmera no alto de um prédio:

Quando a câmera transladava pelo horizonte o observador reportava visualizar um panorama do céu. Quando a câmera olhava para baixo para revelar que o observador “estava sobre uma prancha” estendida do topo do prédio ele entrava em pânico!” (THE OHIO STATE UNIVERSITY, 2012)

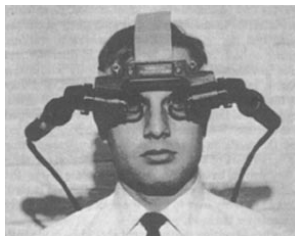
Só posteriormente, em 1966, esta realidade remota foi substituída então por uma realidade virtual. Um ambiente virtual gerado através de computação gráfica passou a ser exibido no vídeo capacete, no lugar das imagens anteriormente captadas por câmeras.

O primeiro ambiente computadorizado deste tipo nada mais era que uma sala em *wireframes*⁵ com as coordenadas cardiais – norte, sul, leste e oeste – escritas nas paredes. O observador podia “entrar” no quarto pela porta do lado oeste e olhar nas outras três direções..”(THE OHIO STATE UNIVERSITY, 2012)

Segundo o próprio Sutherland a capacidade de gerar ambientes virtuais realistas naquele momento era muito baixa, no entanto, considera que suas pesquisas foram “um motivo para seguir adiante e perseguir a tecnologia necessária com maior motivação” (SUTHERLAND, s/d, apud THE OHIO STATE UNIVERSITY, s/d).

⁵ Wireframe é a imagem tridimensional gerada por computação gráfica constituída unicamente de linhas e curvas.

Figura 1 - Primeiro sistema de realidade virtual estereoscópico criado por Ivans Sutherland.



Fonte: THE OHIO STATE UNIVERSITY, 2012.

2.1.2 A pesquisa em realidade virtual

Segundo Schoreder (1994), até 1980 aquilo que hoje denomina-se realidade virtual e ambientes virtuais só era conhecido por aqueles que trabalhavam com displays para computadores e áreas relacionadas. Ainda segundo o autor o próprio termo realidade virtual só surgiu na década de 1980, cunhado por Jaron Lanier, pois até então outros termos foram usados para descrever estas tecnologias, como o termo cunhado por Krueger (1982, p. 5): “realidade artificial”.

A partir da década de 1980 a realidade virtual “tornou-se amplamente conhecida e aplicações, em estágio inicial, passaram a receber muita atenção” (SCHROEDER, 1994, p. 963), sobre os ambientes virtuais o autor analisa que a “tecnologia passou a ser associada a promessa de avanços nas tecnologias de informação e comunicação” (SCHROEDER, 1994, p. 963). A seguir são mostradas algumas das “muitas aplicações” desta época, as quais Schroeder referia-se.

Na arte o primeiro registro de uso de algo similar a realidade virtual foi uma instalação, chamada “Videoplace”, criada por Myron Kruger (SCHROEDER, 1994, p. 964). Uma câmera captura a silhueta do observador e a reproduz em um ambiente virtual, o participante pode então mover-se e interagir com os elementos virtuais. Este sistema não era dotado de capacete, e não havia a intenção de criar a sensação de presença corporea.

Figura 2 - Instalação artística “videoplace” dotada de um ambiente virtual no qual o usuário interage utilizando sua silhueta.



Fonte: THE OHIO STATE UNIVERSITY , 2012.

No campo da bioquímica o projeto GROPE foi desenvolvido na Universidade da Carolina do Norte, em diferentes etapas executadas entre a década de 1960 e 1990. O sistema foi criado como uma interface intuitiva para o projeto de desenvolvimento de moléculas. Para tanto, além do uso de um vídeo-capacete, era usado também um braço mecânico, capaz de sensibilizar o usuário com uma resposta tátil. Segundo relatório do National Research Council (1999, p. 240):

A idéia era de que, se as forças de combinações moleculares pudessem ser ‘sentidas’, então o projetista das moléculas poderia mais rapidamente identificar as estruturas que podem ser combinadas umas com as outras.

Na educação Schroeder (1994) cita como exemplo relevante um estudo, fazendo uso de ambientes virtuais e realidade virtual, em uma escola de New Castle no início da década de 1990. Neste estudo, crianças criavam um ambiente virtual e posteriormente o exploravam. Segundo Schroeder, foi notado pelos pesquisadores que (1) a grande maioria dos alunos preferem criar seus próprios mundos, ao invés de explorar mundos já existentes e (2) apesar do potencial exibido pelas ferramentas não ficou claro como tal potencial pode ser profundamente explorado, que tipos de assuntos são melhores abordados em ambientes virtuais e como evitar que esta tecnologia seja apenas uma distração em sala de aula.

Na indústria do entretenimento a primeira tentativa de utilizar equipamentos de realidade virtual e ambientes virtuais para criar produtos e serviços surgiu em 1993 com Jonathan Walder (SCHROEDER, 1994) em uma plataforma de jogos conhecida como *Virtuality* (Figura 3). Tais sistemas foram criados no formato *arcade*⁶. O sistema era dotado de video-capacete, capaz de rastrear a posição e orientação da cabeça do participante, além de algum outro sistema para interação do usuário, como volante ou luvas, dependendo do tipo de jogo. Segundo Schroeder (1994) na sua maioria os usuários ficavam desapontados com a qualidade gráfica do ambiente virtual, bem como desorientados com sua primeira experiência de imersão. Ainda assim estes usuários demonstraram-se deslumbrados com a tecnologia.

Figura 3 – *Virtuality*, sistema commercial de jogos com uso da realidade virtual.

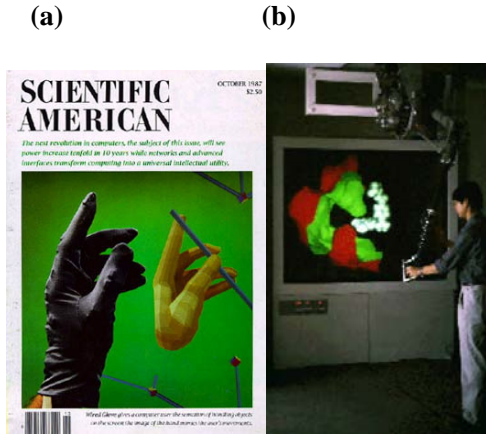


Fonte: VIRTUAL REALITY CENTRE, 1993.

Além do display idealizado por Ivans Sutherland outros equipamentos foram posteriormente criados para a interação com estes ambientes virtuais. Equipamentos como luvas capazes de rastrear a posição da mão e dos dedos (Figura 4a), e braços mecânicos (Figura 4b) capazes de sensibilizar o usuário com resistência mecânica a “matéria” virtual (THE OHIO STATE UNIVERSITY, 2012). Também a renderização dos gráficos computadorizados obtiveram ganhos relevantes de qualidade.

⁶ Jogos eletrônicos operando em máquinas de uso dedicado, comumente operada com fichas, ou outros métodos de creditação pré paga.

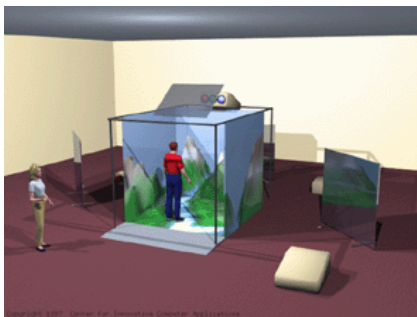
Figura 4 – (a) Capa da revista *Scientific American* mostrando uma luva capaz de rastrear e reproduzir as posições de uma mão humana dentro de ambiente virtual. (b) Braço mecânico capaz de rastrear a posição da manopla dentro do ambiente virtual e oferecer resistência aos movimentos do usuário quando em econtro com a “matéria” virtual.



Fonte: THE OHIO STATE UNIVERSITY, 2012.

Ainda no início dos anos 90 foi criado na Universidade de Illinois o conceito de CAVE, uma sala em forma de cubo com todas as paredes cobertas por imagens de ambientes virtuais estereoscópicos. Diferente dos vídeo-capacetes, presentes em grande parte das realidades virtuais até então produzidas, nos CAVEs múltiplos usuários podem co-presenciar um ambiente virtual.

Figura 5 – Esquema gráfico de um CAVE



Fonte: THE OHIO STATE UNIVERSITY, 2012.

2.1.3 Ambientes virtuais além do contexto da realidade virtual

O uso de equipamentos como o CAVE, os vídeo-capacetes, luvas e braços mecânicos estiveram envolvidos em parte das primeiras tentativas de construção e uso de ambientes virtuais como tentativa de imergir o usuário no ambiente virtual tanto quanto possível. Dentro de alguns contextos, como o do treinamento militar e aeroespacial, por exemplo, este tipo de equipamento é comercializado por fabricantes como *Raytheon*, *Sim-Industries* (Subsidiária da *Lockheed*), *Northrop Group* e outros.

A disseminação de computadores com grande capacidade de processamento tanto em computadores pessoais, quanto em tablets e celulares, possibilita a fruição de ambientes virtuais em um contexto cotidiano. Nestes equipamentos, no entanto, a experiência do usuário limita-se ao som estéreo e a uma tela plana. Não é comum, em um contexto comercial amplo, a utilização de CAVEs, vídeo-capacetes e outras tecnologias que visam otimizar a imersão do usuário nos ambientes virtuais.

Pode-se citar exemplos de onde a utilização de ambientes virtuais ganhou espaço, no contexto do mercado de massas: **geo-referenciamento**, navegadores GPS e softwares como Google Earth que recriam tridimensionalmente o espaço do mundo real através de dados fornecidos por satélites; **softwares CAD**, que permitem a pré-visualização de espaços e artefatos em um ambiente virtual, antes

mesmo que ocorra a materialização destes objetos; **comunicação e redes sociais**, algumas redes sociais como o Second-Life optam por um paradigma de ambiente virtual tridimensional; **jogos e entretenimento**, os jogos virtuais dotados de ambientes virtuais tridimensionais são atualmente muito numerosos, disponíveis para uma série de plataformas nos mais variados gêneros.

Enquanto os vídeos capacetes, CAVES, luvas e braços mecânicos não são populares dentro do contexto do mercado de massas, outras tecnologias tem emergido na busca de uma maior imersão do usuário nestes ambientes virtuais. O reconhecimento corporal e de movimentos, por exemplo, tem se mostrado comercialmente viável e já está presente em algumas plataformas de jogos eletrônicos como o *Nintendo Wii*, o *Xbox Kinect* e o *Playstation Move*. Os aparelhos de GPS são outro exemplo de ferramenta que permite aos usuários “caminharem” por um ambiente virtual.

Outra forma de aumentar a imersão dos usuários em ambientes virtuais é a estereoscopia, presente nos vídeo-capacetes e CAVES, mas até então ausente em plataformas mais acessíveis comercialmente, como televisores, por exemplo. Atualmente esta tecnologia se encontra presente em celulares, tablets, computadores e televisores digitais (ANTHONY, 2013), ou seja, as mesmas plataformas através das quais os usuários já utilizam ambientes virtuais das mais diversas aplicações.

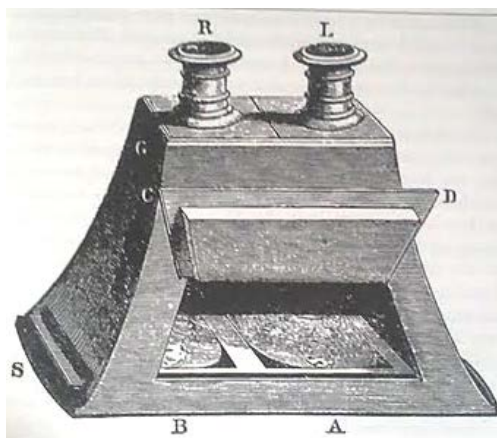
2.2 BREVE HISTÓRIA DA ESTEREOSCOPIA

As primeiras imagens estereoscópicas surgiram em 1838, concebidas por Charles Wheatstone. Segundo Zone (2007) após o invento da fotografia, a estereoscopia gozou de certo prestígio com equipamentos como o Estereoscópio⁷ (Figura 6), e atrações como os Peepshows⁸. Ambos produtos utilizavam fotos estereoscópicas para representar imagens.

⁷ Equipamento criado para a visualização de imagens estereoscópicas estáticas impressas.

⁸ Exibição de fotos ou objetos vistos através de um pequeno buraco ou lente de aumento.

Figura 6 - Estereoscópico Lenticular



Fonte: ZONE, 2007, p. 11.

Ainda segundo Zone (2007) a criação de uma série de tecnologias, ao longo da primeira metade do século XX produziram um ganho de qualidade na captação e reprodução de filmes estereoscópicos, fato que contribuiu para um breve período de popularidade da tecnologia nos cinemas norte-americanos, especificamente durante a década de 1950. Segundo Mendiburu (2009) esta inserção da estereoscopia no cinema foi retomada a partir do ano 2000, dada a melhoria de qualidade e redução de custos propiciados pela digitalização da captação, edição e reprodução de imagens cinematográficas. Para além do cinema a estereoscopia tem sido implementada em produtos fabricados em escala industrial e capazes de reprodução de hiperfólias como celulares, tablets, computadores e televisores digitais.

A estereoscopia se apresenta, nestes diferentes contextos, como uma tecnologia capaz de aguçar a percepção de profundidade espacial nas imagens. No entanto ela não é o único elemento visual responsável por este fenômeno. A estereoscopia é um de diversos índices de profundidades percebidos pelos sistema visual humano.

2.3 ÍNDICES DE PROFUNDIDADE E ESTERIÓPSE

Na tarefa de perceber o mundo ao seu redor o ser humano possui no sistema visual diversas informações utilizadas para estimar a distância entre os olhos e os objetos observados. A estas informações Pinker (1954) dava o nome de Índices de Profundidade. A literatura atual continua referindo-se desta maneira a estes fenômenos e muitos testes já foram realizados em humanos e animais para verificar como estes índices funcionam isolados e em grupo. Howards e Rogers (2012) organizaram um número considerável de pesquisas neste campo nos três volumes de “Perceiving in Depth”. Entretanto apresenta-se aqui uma lista dos índices profundidade do sistema visual humano sintetizada e exemplificada, de modo a tornar o conteúdo mais compreensivo e menos exaustivo:

- **Oclusão:** Quando objetos mais próximos cobrem objetos mais distantes (Figura 7a) o cérebro pode inferir maior distância ao primeiro em relação ao segundo (HOWARD; ROGERS, 2012).
- **Posição Relativa à Linha do Horizonte:** Objetos mais distantes do observador parecem mais próximos à linha do horizonte que objetos próximos (MENDIBURU, 2009).
- **Esmacimento:** Dada a maneira como a luz se difunde na atmosfera objetos mais distantes tem a cor mais tenue e azulada em oposição a objetos que estão próximos ao observador. Dos dois morros que aparecem na Figura 7a, aquele que está mais distante possui cor mais azulada (MENDIBURU, 2009).
- **Luz e sombra:** A maneira como a luz reflete e projeta sombras nos objetos torna visível seu volume e relevo (HOWARD; ROGERS, 2012).
- **Tamanho:** O conhecimento prévio do tamanho absoluto de um objeto, por memória ou por semelhança, permite a verificação da distância através da comparação com seu tamanho relativo na observação (Figura 7b) (MENDIBURU, 2009).
- **Paralaxe de movimento:** Dado o efeito de perspectiva os objetos que encontram-se distantes parecem mover-se mais vagorosamente que objetos próximos ao observador (HOWARD; ROGERS, 2012).
- **Estereópse (ou paralaxe estática):** Índice ligado a visualização

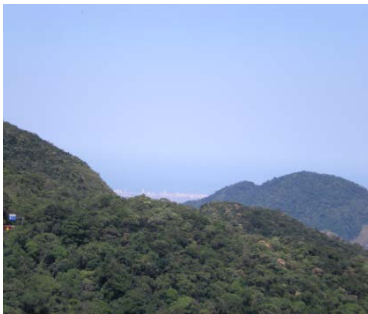
das imagens estereoscópicas. A diferença percebida entre a imagem dos dois olhos é utilizada pelo cérebro para computar a distância dos objetos. (MENDIBURU, 2009).

- Vergência: Dado o foco em um elemento específico, ambos os olhos do observador convergem, em sua ângulação, de modo a contemplar o mesmo (Figura 8). A ângulo entre os olhos é utilizado pelo cérebro como índice de profundidade. (HOWARD; ROGERS, 2012).

Segundo Mendiburu (2009) o cérebro utiliza um ou mais destes índices para determinar a provável profundidade de um objeto na cena observada. Ainda segundo o autor alguns índices tem precedência sobre outros, sendo a oclusão o índice mais forte na maioria dos contextos.

Figura 7 - (a) A esquerda a oclusão da montanha em primeiro plano sobre a montanha do fundo é um forte índice de profundidade na imagem. (b) A direita o tamanho, espaçamento e esmacimento dos elementos são índices de profundidade predominantes na imagem.

(a)

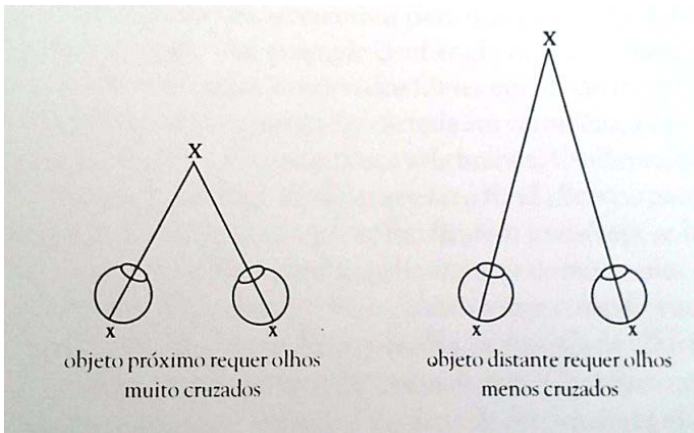


(b)



Fonte: Google Images, 2012.

Figura 8 - A vergência, ângulação entre os olhos, é diferente conforme a distância entre o observador e o objeto observado.



Fonte: PINKER, 1954, p. 238.

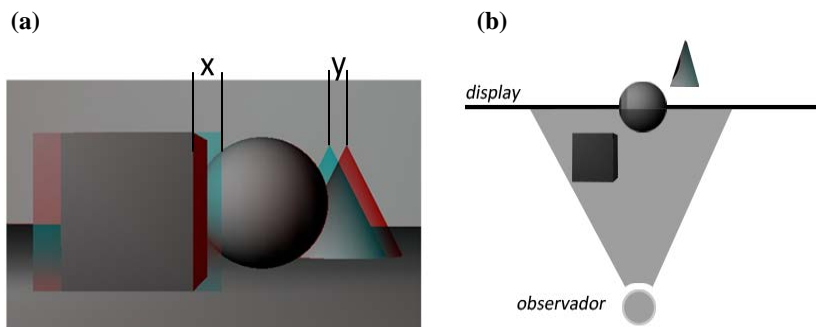
2.4 A IMAGEM ESTEREOSCÓPICA

Uma imagem estereoscópica consiste em um par de imagens representando pontos de vista levemente diferentes no eixo horizontal, exibidas simultaneamente. Cada imagem deste par é filtrada para um olho diferente do observador (MENDIBURU, 2009). A diferença existente entre as duas imagens é quantificada em disparidade horizontal, a distância horizontal entre um ponto qualquer e seu correspondente na outra imagem do par. É a disparidade horizontal a responsável pelo efeito da esteriópsse e conseqüentemente a sensação de profundidade notada pelos observadores ao observarem imagens estereoscópicas. (HODGES; DAVIS, 1993)

Quando a disparidade horizontal é zero, ou seja, quando um elemento qualquer está igualmente posicionado nas duas imagens ele é percebido como estando coplanar ao suporte de visualização da imagem. Quando esta disparidade é maior que zero ela pode ser de paralaxe positiva ou negativa. A disparidade horizontal é de paralaxe positiva quando os elementos estão posicionados mais a direita na imagem da direita e mais a esquerda na imagem da esquerda e, portanto, a disparidade horizontal é negativa na condição contrária. Quando a

paralaxe é positiva os elementos são percebidos como mais próximos ao observador que o suporte da imagem, enquanto na paralaxe negativa os elementos são percebidos como mais distantes ao observador que o suporte da imagem (AUTODESK, 2010). A Figura 9 exemplifica a disparidade horizontal e como esta afeta a percepção do observador.

Figura 9 - (a) Duas imagens (filtradas em vermelho e azul) superpostas formando em um anaglifo estereoscópico. A distância x representa uma disparidade horizontal com paralaxe positiva, a distância y representa uma disparidade horizontal com paralaxe negativa. (b) os elementos em paralaxe positiva são percebidos como mais próximos que o display, enquanto os elementos em paralaxe negativa são percebidos como mais distantes que o display.



Fonte: O Autor, 2013.

2.5 MÉTODOS DE GERAÇÃO DE IMAGENS ESTEREOSCÓPICAS

Como visto anteriormente, o que configura uma imagem como estereoscópica é a presença de um par de imagens com uma dada disparidade horizontal. Para criação de imagens com tais características, foram encontrados na bibliografia consultada diferentes métodos, adiante descritos em maior detalhe.

2.5.1 Geração de imagens com câmeras paralelas

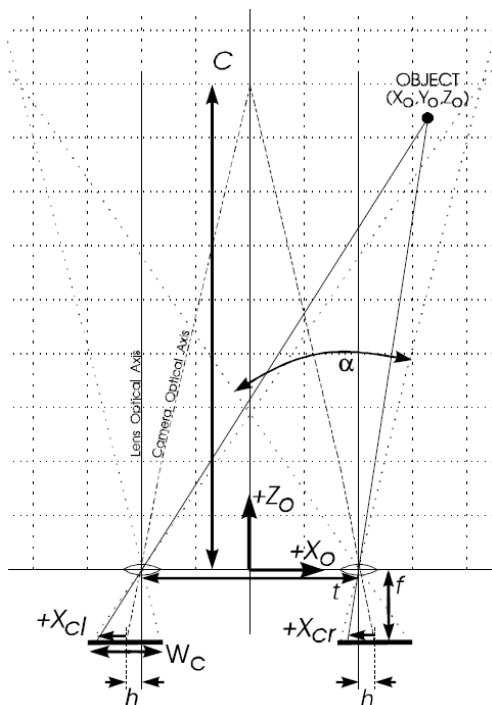
A geração de imagens estereoscópicas paralelas se da, segundo Woods et al. (1993) através do uso de duas câmeras separadas por uma distância interaxial e paralelas entre sí (Figura 10). Estando as câmeras posicionadas paralelamente, o ponto de convergência da imagem tenderá ao infinito, posicionando assim todos os elementos em paralaxe positiva, ou seja “para fora da tela”.

Para evitar este fenômeno e controlar a convergência da imagem gerada é comum que se utilize um procedimento conhecido como H.I.T.⁹ Esta técnica consiste na simples translação das imagens no eixo X. Conforme o par de imagens é separado pela translação os elementos mais afastados passam a estar em paralaxe negativa. Como pontos negativos deste procedimento pode-se ressaltar que: (1) os objetos que estão em oclusão não serão revelados com a translação das imagens e (2) as bordas da imagem saem de registro e devem ser redimensionadas.

Apesar de existirem outros métodos para re-convergir imagens estereoscópicas geradas através de câmeras paralelas, estes não serão aqui abordados, dado o escopo desta pesquisa.

⁹ Do inglês *Horizontal Image Translation*, ou simplesmente translação horizontal da imagem.

Figura 10 - Esquema gráfico que representa a disposição de câmeras em geração de imagem estereoscópica do tipo paralelo.



Fonte: WOODS; DOCHERTY; KOCH, 1993, p. 2.

2.5.2 Geração de imagens com câmeras convergentes

Similar a geração de imagens estereoscópicas por câmeras paralelas, a geração de imagens estereoscópicas por câmeras convergentes se da, segundo Woods et al. (1993), através do uso de duas câmeras separadas por uma distância interaxial. No entanto estas duas câmeras convergem com um devido ângulo entre si. A Figura 11 representa a geração de imagens por câmeras convergentes, e o símbolo β representa a angulação característica deste método. Esta angulação é denominada por alguns autores como vergência.

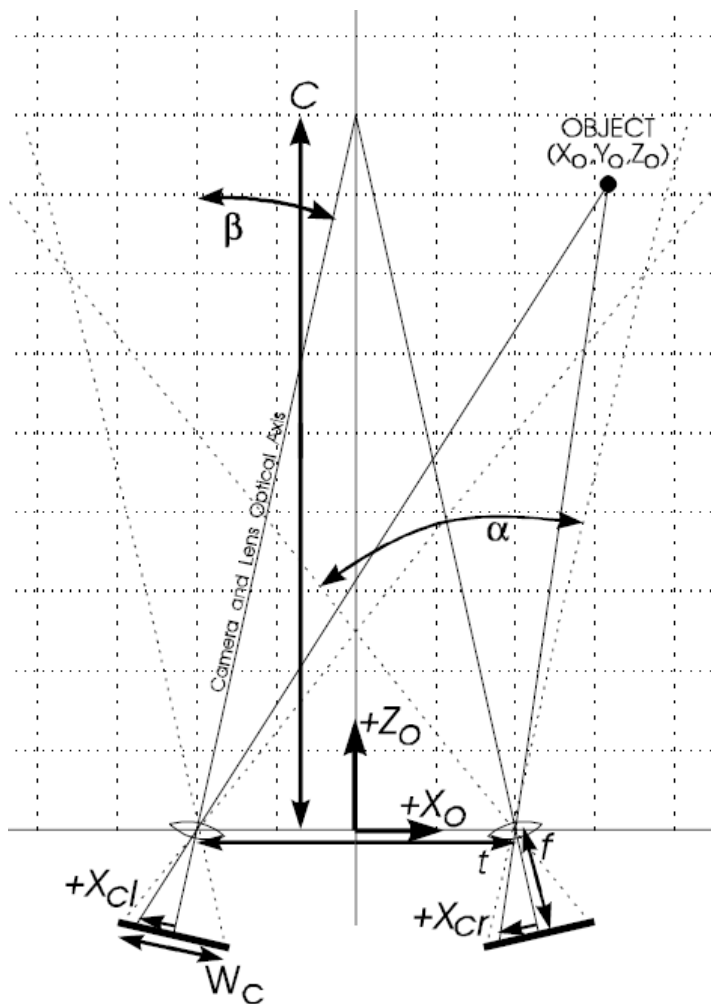
A vergência (β) varia em função da posição desejada para o ponto de convergência da imagem (C), distância interaxial entre lente mais externa (t), distância interaxial entre suporte sensível (h), e comprimento focal (f). A equação a seguir demonstra a relação entre os parâmetros e posicionamento das câmeras e o ponto de convergência da imagem (WOODS; DOCHERTY; KOCH, 1993).

$$C = t / (2 \tan[\beta + \arctan(h / f)]) [1]$$

Como a convergência, neste processo, é feita no momento da geração da imagem não há, a priori, necessidade de utilização de um método para alteração da convergência, como o H.I.T. (descrito no item anterior) ou outros. No entanto este método causa uma distorção na imagem conhecida como *Keystoning*.

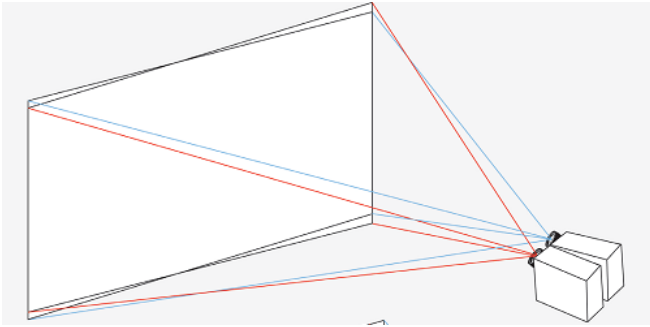
Keystoning como demonstra a Figura 11 é um desvio no alinhamento entre as imagens causado pela convergência das câmeras. Tal desvio introduz uma disparidade vertical indesejada na imagem. Esta disparidade é proporcional ao ângulo de convergência entre as câmeras e a distância do ponto central da imagem. Em pesquisa relacionada IJsselsteijn et al. (2000) verificam que tal distorção pode impactar negativamente a percepção do observador.

Figura 11 - Esquema gráfico que representa a disposição de câmeras em geração de imagem estereoscópica do tipo convergente. O símbolo β representa o ângulo de convergência entre as câmeras.



Fonte: WOODS; DOCHERTY; KOCH, 1993, p. 3.

Figura 12 - Cameras estereoscópicas dispostas de modo convergente demonstrando o efeito de *Keystoning* dado pelo visível desalinhamento nos cantos das imagens.

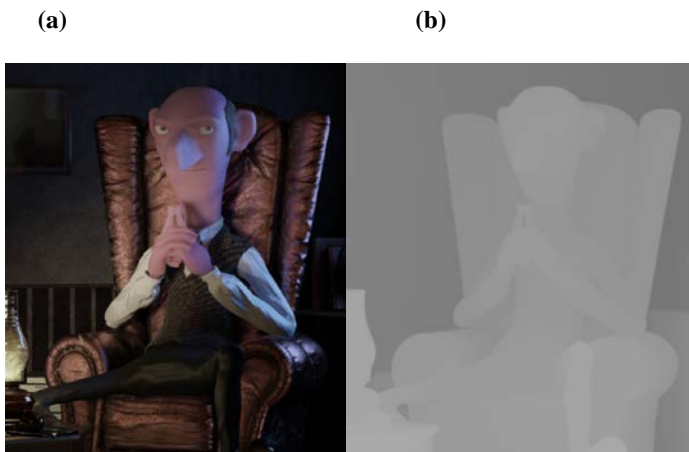


Fonte: Autodesk (2010)

2.5.3 Reconstrução do par estereoscópico

Uma terceira alternativa na criação de pares de imagens estereoscópicas é a construção da segunda imagem do par a partir de uma única imagem somada à informação da profundidade contida na cena representada. A Figura 13 exemplifica o tipo de informações necessárias para geração de um par de imagens estereoscópicas a partir deste método.

Figura 13 - (a) Imagem monoscópica (b) informação de profundidade da cena, onde cores claras indicam elementos mais próximos e cores escuras elementos mais distantes.



Fonte: O Autor, 2013.

A partir da informação de profundidade é possível então transladar os pixels da imagem original, gerando assim uma segunda imagem com a devida disparidade horizontal. Tal técnica tem diferentes aplicações como: a geração de imagens estereoscópicas captadas do mundo real com câmera de cor e camera de profundidade (DARIBO, 2009, p. 23), a readequação de pares de imagens estereoscópicas já renderizadas, ou capturadas do mundo real (LANG *et al.*, 2010); a conversão de conteúdo monoscópico para estereoscópico (ROBINSON; KOKARAM; SEYMOUR, 2009); e na renderização de ambientes virtuais onde esta técnica é especialmente interessante pois diferente das anteriormente citadas depende unicamente “da resolução da imagem e não de sua complexidade economizando, portanto, processamento na geração da segunda imagem” (BULBUL; CIPIOGLU; CAPIN, 2010, p. 146).

Segundo Robinson et al. (2009) e Bulbul et al. (2010) esta técnica pode se tornar problemática quando objetos em oclusão em uma imagem devem ser reavalados na segunda, causando assim a aparição de espaços vazios na imagem reconstruída. Bulbul et al. (2010) listam uma série de trabalhos acadêmicos que propõe técnicas capazes de amenizar este tipo de problema. Algumas destas técnicas baseiam-se na utilização de filtros aplicados a imagem e a informação de profundidade, outros na

renderização de novas informações para restaurar a imagem problemática e preencher os referidos espaços vazios.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No intuito de atingir os objetivos geral e específicos anteriormente dispostos, foi conduzida uma avaliação com sujeitos de pesquisa, sensibilizados por imagens estereoscópicas de um ambiente virtual.

De modo geral os procedimentos que constituem tal avaliação podem ser divididos em três partes: (1) Do teste de percepção de imagens propriamente dito; (2) Da criação de ambientes virtuais com imagens estereoscópicas; (3) Da análise dos dados coletados no teste citado no item anterior.

Este capítulo descreve em detalhe os procedimentos adotados em todas etapas da pesquisa.

3.1 DOS TESTES DE PERCEPÇÃO DE IMAGENS ESTEREOSCÓPICAS

O teste de percepção de imagens utilizado é baseado na metodologia “*Subjective methods for the assessment of stereoscopic 3DTV systems*”. Tal metodologia descreve procedimentos que permitem mensurar aspectos subjetivos da percepção de imagens estereoscópicas. Segundo o documento que a descreve (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION, 2012, p. 2):

podemos identificar tres dimensões perceptivas básicas que coletivamente afetam a experiência de qualidade em sistemas estereoscópicos: qualidade da imagem, qualidade da profundidade e conforto visual [...]

Qualidade da imagem refere-se aos elementos ligados a qualidade de percepção da imagem fornecida pelo sistema. Elementos como cor, resolução, e defeitos na imagem causados pela qualidade da compressão ou da transmissão.

Qualidade da profundidade refere-se a habilidade do sistema em reproduzir a sensação de profundidade. Tal dimensão está vinculada tanto a índices de profundidade monoscópicos como perspectiva e profundidade de campo, quanto ao índice estereoscópico de paralaxe. Sendo este último, claramente, o diferencial encontrado em imagens

estereoscópicas.

Conforto e desconforto visual refere-se a sensação subjetiva de desconforto que é, por vezes, associada ao fenômeno da visualização de imagens estereoscópicas. Quando imprópriamente capturadas ou exibidas, imagens estereoscópicas podem tornar-se uma séria fonte de desconforto.

A análise de tais aspectos da-se através da sensibilização de sujeitos de pesquisa que, posteriormente preenchem um formulário, julgando cada dimensão perceptiva das imagens as quais foram expostos. Os subitens a seguir descrevem em detalhes as características deste experimento, no que tange a natureza dos sujeitos e do objeto de pesquisa, as condições laboratórias, e os procedimentos de coleta de dados.

3.2 SUJEITOS DE PESQUISA

Quanto ao tamanho da amostra, o método BT-2021 sugere uma amostragem mínima de 30 participantes, mas nota-se que este número pode “variar de acordo com os objetivos da pesquisa” (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION, 2012, p. 15) e que “as considerações feitas à cerca do tamanho da amostra em estudos 3d [estereoscópicos] não diferem daquelas feitas em estudos 2d [monoscópicos]” (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION, 2012, p. 15).

Ainda segundo o método BT-2021 todos os participantes da amostra devem ser testados quanto: à nitidez de sua visão, através do teste de Snellen; quanto a capacidade de enxergar cor, através do teste de Ishihara; e quanto a capacidade de esteriópse, através do teste de Randot. Estes três testes se encontram no anexo 1 deste trabalho. Optou-se aqui por utilizar os testes de Snellen e Ishira como testes classificatórios uma vez que só afetam marginalmente a visualização do efeito estereoscópico. Já o teste de Randot foi utilizado em caráter eliminatório, uma vez que um resultado negativo neste teste indica incapacidade completa na percepção de índices de profundidade estereoscópicos.

O referido método BT-2021 não faz menção a idade dos participantes. Segundo Heron e Lages (2012) não há consenso entre pesquisadores a respeito deste tema. Ainda segundo os autores algumas pesquisas apontam capacidade total de esteriópse aos 7 anos de idade, outras aos 3 anos de idade. Ressalta-se ainda que alguns pesquisadores sugerem “que inconsistências nos resultados com participantes jovens podem dar-se não pela acuraria da visão e sim pela falta de conhecimento de alguns conceitos teóricos” (HERON; LAGES, 2012, p. 231). Portanto, para a ocasião da aplicação desta pesquisa foram escolhidos apenas participantes com no mínimo o ensino fundamental completo, diminuindo assim possíveis desvios nos resultados, seja por natureza fisiológica ou conceitual.

Os sujeitos de pesquisa foram devidamente informados da motivação da pesquisa, dos procedimentos da coleta de dados, bem como da possibilidade de efeitos negativos relacionados à exposição aos estímulos utilizados no estudo de acordo com as orientações dispostas em BT-2021 (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION, 2012, p. 15).

3.3 OBJETO DE PESQUISA

O método Bt-2021, utilizado como base para guiar os procedimentos de teste, pressupõe que o objeto de pesquisa deve ser uma imagem estática ou um vídeo estereoscópico. Para a ocasião desta pesquisa foi escolhido o uso de vídeos, já que dificilmente ambientes virtuais são criados para uma experiência estática. O vídeo consistiu de um passeio de camera por um ambiente virtual, obedecendo ao limite de duração pré-disposto na referida metodologia, que para vídeos é de 10 a 15 segundos. O objeto de pesquisa respeitou os limites de conforto visual, evitando grandes quantidades de disparidade horizontal e discrepâncias diversas entre as imagens.

A disparidade horizontal é, como visto no item 2.4, a responsável pela sensação de profundidade causada pelo efeito estereoscópico. No entanto em grandes quantidades intensifica o desconforto “possivelmente pelo conflito existente entre acomodação e vergência” (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION, 2012, p. 14). A metodologia escolhida sugere uso de disparidade horizontal com até 1% do tamanho total da imagem em paralaxe negativa e 2% em paralaxe positiva, totalizando 3% de disparidade horizontal máxima.

Outras discrepâncias diversas entre as imagens, como disparidade vertical e diferenças cromáticas também podem influir no conforto visual dos sujeitos de pesquisa (WOODS; DOCHERTY; KOCH, 1993).

Como as imagens foram sintetizadas em computação gráfica reduziu-se as chances de erros a serem introduzidos. Elementos propensos a imprecisões como lentes e sensores fotográficos não fazem parte do processo de construção destas imagens.

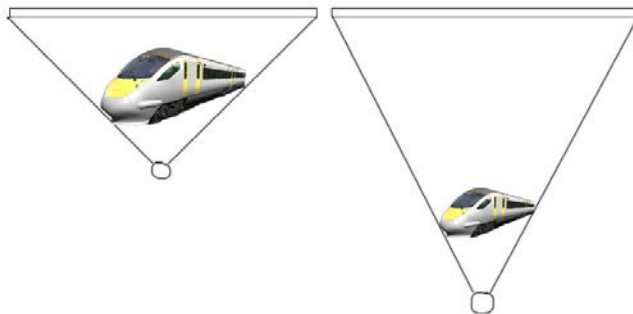
3.4 CONDIÇÕES LABORATORIAIS

Nesta pesquisa, apresentaram-se duas condições laboratoriais distintas, porem equivalentes. Um laboratório fixo foi montado dentro do laboratório universitário DesignLab, por sua vez localizado no Departamento de Expressão Gráfica da Universidade Federal de Santa Catarina. Além disso, um kit com os equipamentos necessários para montar laboratórios itinerantes foi montado, de modo a realizar coletas em locais e horários alternativos ao do laboratório fixo, maximizando o numero de coletas.

Ambos os laboratórios fixo e itinerantes contaram com a utilização de um computador capaz de reproduzir vídeos em alta resolução. O laboratório fixo contou com a utilização de um Televisor 3d, com tecnologia de óculos passiva, tela de 42 polegadas, do fabricante LG. O laboratório itinerante contou com a utilização de um monitor 3d, também com tecnologia de óculos passiva, tela de 23 polegadas, também do fabricante LG.

De acordo com Mendiburu (2009), a distância para o suporte que exhibe as imagens estereoscópicas e a resolução do mesmo influenciam de maneira significativa a percepção dos observadores. A Figura 14 exemplifica as distorções geométricas que ocorrem quando a posição do observador muda. A metodologia escolhida para a ocasião deste trabalho descreve detalhadamente a distância necessária entre observador e suporte, dado o tamanho e resolução do segundo (Tabela 1).

Figura 14 - Os objetos são posicionados ao longo do eixo de profundidade em imagens estereoscópicas relativos a distância entre o observador e o suporte. Quanto maior for esta distância mais os objetos parecem saltar da tela. Em grandes distâncias, objetos que saltam muito da tela sofrem miniaturização.



Fonte: O Autor, 2013.

Tabela 1 - Esta tabela descreve a distância necessária (em metros) entre observador e suporte, em função do tamanho e resolução deste último.

Tamanho diagonal (polegadas e centímetros)	Resolução 1920x1080	Resolução 1280x720
	Distância do participante em metros	Distância do participante em metros
23" - 58cm	0,89	1,35
32" - 81cm	1,24	1,88
42" - 106cm	1,68	2,47
52" - 132cm	2,01	3,06
62" - 157cm	2,39	3,64
72" - 183cm	2,78	4,23

Fonte: INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION, 2012, p. 13.

No laboratório fixo o chão foi marcado com as medidas adequadas para a visualização das imagens, de modo a conduzir corretamente o procedimento. Nos laboratórios itinerantes o pesquisador responsável contou em todas as ocasiões com um instrumento métrico, para garantir a correta execução do procedimento e consistência dos resultados.

3.5 COLETA DE DADOS

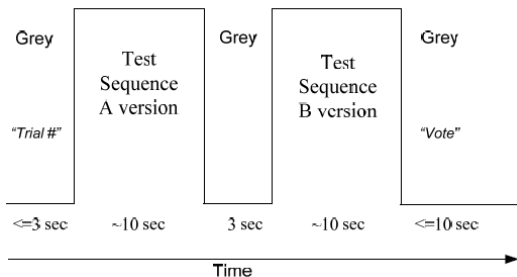
Em estudo similar Lee et al. (2012, p. 1) verificaram que avaliar aspectos subjetivos da percepção de imagens estereoscópicas “costuma ser difícil dada a limitada experiência dos sujeitos com [conteúdo] 3d, a interação de diversos fatores sobre a qualidade, pequenas diferenças entre diferentes estímulos, etc.” Quando imagens estereoscópicas são avaliadas de forma isolada, utilizando por exemplo uma escala intervalar para a avaliação de seus diferentes aspectos, os fenômenos anteriormente apontados por Lee et al. dificultam a obtenção de dados robustos. É possível imaginar que parte significativa dos sujeitos de pesquisa teria dificuldade em avaliar se um estímulo estereoscópico tem uma qualidade de nota 3, ou 7 ou 10.

Lee et al. (2012) verificaram que a comparação pareada de estímulos, nestes casos, é indicada pois simplifica a tarefa do sujeito de pesquisa e gera dados mais robustos, com menor ambiguidade. Esta verificação foi feita através de uma avaliação da percepção de imagens estereoscópicas com diferentes disparidades horizontais, utilizando uma coleta de dados pareada e outra não pareada. Em 6 dos 7 casos testados os dados pareados obtiveram um resultado menos ambíguo que os dados não pareados, o que indica uma possível vantagem do primeiro sobre o segundo. Dadas tais justificativas foi escolhido, para ocasião da presente pesquisa, o uso de uma coleta e, posterior, análise dos dados pareados.

Lee et al. (2012, p. 18) chamam atenção para o fato de que os ganhos de robustez na comparação pareada são “obtidos tendo como custo o aumento do tempo e complexidade [dos testes] quando comparados a outros métodos”. Desta forma é importante que o número de estímulos testados gere uma quantidade de pares que não deixe os sujeitos de pesquisa em situação de desconforto ou exaustão durante as seções de teste.

A metodologia BT-2021 prevê um cenário de coleta de dados pareados com imagens estereoscópicas que teve a seguinte sequência: (1) o sujeito de pesquisa deve assistir aos dois estímulos em sequência, havendo um intervalo de 3 segundos antes do primeiro vídeo e outro entre o primeiro e o segundo vídeo; (2) após sensibilizados uma tela com os dizeres “Avaliação” é exibida, e os sujeitos têm 10 segundos para valorar a qualidade da imagem, a qualidade da profundidade e o conforto visual da imagem B em função de A, utilizando uma escala categórica, onde as categorias devem ser “Melhor que A”, “Igual”, “Pior que A”.

Figura 15 - Esquema gráfico de uma seção de testes de comparação de pares.



Fonte: INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION, 2012, p. 7.

Quadro 1 - Modelo de formulário utilizado pelos participantes para coleta dos dados.

Formulário do participante					
<p>Marque com um X a opção que mais se aproxima de sua opinião a respeito dos 18 pares de imagens que você irá assistir. Em todas as alternativas A se refere a primeira imagem do par observado e B a segunda imagem.</p>					
1. Qualidade da imagem			2. Qualidade da imagem		
() A é melhor que B	() B é melhor que A	() Não há diferença significativa	() A é melhor que B	() B é melhor que A	() Não há diferença significativa
Qualidade da profundidade			Qualidade da profundidade		
() A é melhor que B	() B é melhor que A	() Não há diferença significativa	() A é melhor que B	() B é melhor que A	() Não há diferença significativa
Conforto visual			Conforto visual		
() A é mais confortável que B	() B é mais confortável que A	() Não há diferença significativa	() A é mais confortável que B	() B é mais confortável que A	() Não há diferença significativa
...					

Fonte: O Autor, 2013.

De modo a evitar desvios na pesquisa os estímulos foram analisados em todas as combinações de pares possíveis e a ordem de exibição dos pares foi randomizada a cada nova seção de testes.

3.5.1 Teste piloto e Teste definitivo

Com objetivo de dar maior solidez aos resultados desta pesquisa, a primeira coleta de dados deu-se em caráter de teste piloto. Foram realizados 4 testes que permitiram avaliar se os procedimentos metodológicos eram capazes de gerar resultados satisfatórios. O item 4.1 trata em detalhe de todos os problemas encontrados durante a etapa de teste piloto.

Após a correção dos problemas encontrados deu-se sequência a coleta de dados em caráter definitivo. Os dados do teste piloto não foram incorporados aos dados finais que foram analisados.

3.6 DOS AMBIENTES VIRTUAIS E ESTÍMULOS SENSÍVEIS

Para a síntese das imagens que foram testadas junto aos sujeitos de pesquisa, foi construído um ambiente virtual em software de modelagem e renderização 3d, denominado Softimage. O ambiente foi construído a semelhança dos corredores do departamento de Comunicação e Expressão Visual da Universidade Federal de Santa Catarina. Visto que a percepção de imagens estáticas e em movimento é notoriamente diferenciada (PINKER, 1954) foi criada uma animação de câmera e de elementos dispostos sobre a cena.

De modo a avaliar a geração de imagens estereoscópicas, os ambientes foram renderizados a partir dos 3 diferentes métodos de geração de imagens abordados no item 2.5. São eles a geração de imagens por câmeras paralelas, por câmeras convergentes e por reconstrução do par estereoscópico. No caso específico do método de reconstrução, como explicitado no item 2.5.3 a bibliografia descreve uma série de técnicas de fazer-lo. Dado o escopo deste trabalho, optou-se por trabalhar com soluções comercialmente disponíveis.

Portanto, na criação das imagens estereoscópicas geradas por reconstrução, além do software anteriormente citado também foram

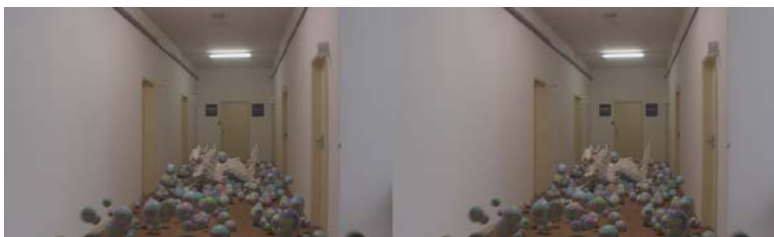
utilizados o software de composição de imagens Nuke e o software de tratamento de imagens estereoscópicas Ocula. O software Ocula possui 4 diferentes algoritmos proprietários para fazer a translação dos pixels e 2 para fazer a filtragem dos dados de profundidade, características necessárias para criar o material necessário para esta pesquisa. Os diferentes algoritmos variam em velocidade e precisão. Para a ocasião deste trabalho foram escolhidos testados diferentes algoritmos e, por fim, optou-se utilizar aqueles aos quais o manual do produto (THE FOUNDRY VISIONMONGERS, 2012) refere-se como sendo de maior precisão. O item 4.1, que trata dos testes pilotos executados neste projeto possui maiores detalhes acerca dos referidos algoritmos e das escolhas feitas durante o decorrer desta pesquisa.

A natureza virtual dos modelos permite um controle rígido dos parâmetros de câmera, de modo que pode-se garantir que outros elementos como cor, resolução e outras características da imagem são mantidas.

Os únicos elementos variáveis nas imagens eram seu método de geração e a amplitude da disparidade horizontal de cada imagem, e conseqüentemente, a profundidade do efeito estereoscópico. Diferente de uma captura de imagens no mundo real, não há a possibilidade de discrepância cromática, ou distorção ótica diferenciada entre as duas imagens.

Foram respeitados os limites de conforto dispostos na metodologia BT-2021, de modo que as imagens com maior disparidade possuem 1% (da largura da imagem) de disparidade em paralaxe positiva e 2% em paralaxe negativa, em uma total de 3% de disparidade por imagem.

Figura 16 - Ambiente virtual criado a semelhança de corredor do departamento de Comunicação e Expressão da Universidade Federal de Santa Catarina, com sobreposição de elementos digitais animados.



A Tabela 2 relaciona as imagens que serão criadas de acordo com o método de geração utilizado e amplitude do efeito estereoscópico, dado por sua respectiva disparidade horizontal. Cada imagem recebe uma sigla que será doravante usada neste texto para referi-las.

Tabela 2 – Relação de imagens criadas para os testes com os sujeitos de pesquisa, organizadas de acordo com o método de geração de imagens e a amplitude do efeito estereoscópico, dada pela paralaxe horizontal da imagem

		MÉTODOS DE GERAÇÃO DE IMAGENS		
AMPLITUDE DO EFEITO ESTEREOSCÓPICO		<u>C</u> onvergente	<u>P</u> aralela	<u>R</u> econstrução
	<u>B</u> aixa	CB - Paralaxe Horizontal de 1%	PB - Paralaxe Horizontal de 1%	RB - Paralaxe Horizontal de 1%
	<u>M</u> édia	CM - Paralaxe Horizontal de 2%	PM - Paralaxe Horizontal de 2%	RM - Paralaxe Horizontal de 2%
	<u>A</u> lta	CA - Paralaxe Horizontal de 3%	PA - Paralaxe Horizontal de 3%	RA - Paralaxe Horizontal de 3%

Fonte: O Autor, 2013.

Os pares foram criados apenas entre imagens com a mesma amplitude do efeito estereoscópico, visto que o objetivo do presente trabalho foi verificar a qualidade do método de geração de imagens. Para as imagens de baixa amplitude de efeito estereoscópico, por exemplo, tem-se os pares: CB – PB, PB – CB, PB – RB, RB – PB, CB – RB, RB – CB; em um subtotal de 6 pares. De modo que para todas as amplitudes tem-se um total de 18 pares que foram testados. O teste de cada par teve uma duração aproximada de 26 segundos, de modo que cada seção completa de testes deveria ter duração aproximada de 8 minutos, descontados os procedimentos iniciais de introdução do sujeito ao laboratório e aos testes.

3.6.1 Construção dos ambientes virtuais e estímulos sensíveis

Para a construção do estímulo sensível utilizado nos testes deste projeto de pesquisa, uma série de cuidados foi tomada, de modo a não comprometer a acurácia e relevância dos resultados. Não foi objetivo deste trabalho aprofundar nos métodos de construção de ambientes virtuais, no entanto, faz-se necessário expor os referidos cuidados, de modo a confirmar a relevância da pesquisa.

Quanto a seleção da natureza do ambiente virtual utilizado pelo projeto, foi escolhida a virtualização de um ambiente real já existente, devido os seguintes motivos: (1) facilidade conceitual, pois não existe necessidade da idealização de um espaço inexistente; (2) fotos coletadas no ambiente real podem ser utilizadas como texturas do ambiente virtual crível atingindo resultado foto-realista em tempo reduzido; (3) a construção do modelo virtual em escala real permite a extensão dos resultados do presente projeto para além dos ambientes virtuais.

Escolhido o ambiente real a ser virtualizado foram executadas as seguintes etapas: (1) foram tomadas as medidas do ambiente a ser virtualizado. Fotos foram capturadas, tanto de vistas amplas quanto de detalhes do ambiente (Figura 17).

Figura 17 - Fotos coletadas no corredor do departamento de Comunicação e Expressão da Universidade Federal de Santa Catarina

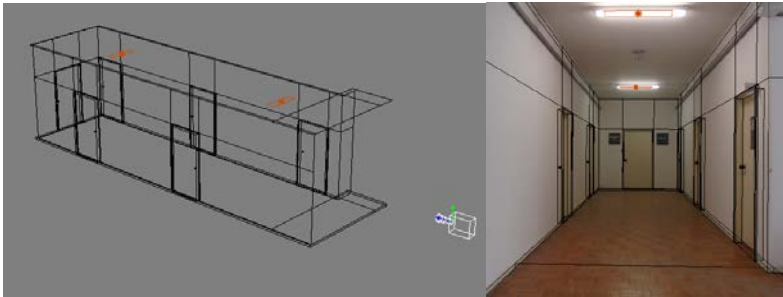


Fonte: O Autor, 2013.

(2) Um ambiente virtual foi construído a partir de sólidos virtuais utilizando o software de computação gráfica Softimage. Câmeras foram

precisamente posicionadas neste ambiente virtual, de modo a simular a posição das câmeras reais a seção de fotos descrita no item anterior. As referidas fotos foram então utilizadas para projetar uma textura sobre o modelo virtual, dando a este último um aspecto foto-realista (Figura 18).

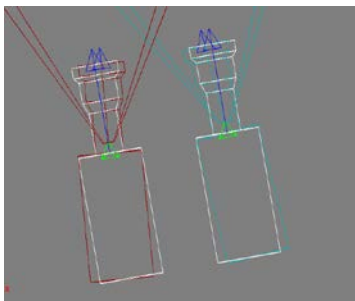
Figura 18 - Modelo virtual dos corredores do departamento de Comunicação e Expressão da Universidade Federal de Santa Catarina. Em branco câmera posicionada para projeção de imagem capturada in loco. Em vermelho luzes virtuais simulam o comportamento da luz apresentado na foto.



Fonte: O Autor, 2013.

(3) Câmeras estereoscópicas foram posicionadas no ambiente virtual, tanto em modo paralelo, quanto em convergente. Buscando reproduzir estes dois métodos de geração de imagens (Figura 19).

Figura 19 - Modelos de cameras virtuais capturando o ambiente criado através de computação gráfica. Câmeras paralelas em branco, cameras convergentes em azul e vermelho.



Fonte: O Autor, 2013.

(4) Utilizando o resultado de única câmera virtual capaz de renderizar informações de cor e profundidade (Figura 20) foi possível utilizar o software Ocula de manipulação de imagens estereoscópicas para a criação de uma segunda imagem. Constituindo assim o par estereoscópico gerado por reconstrução de imagens.

Figura 20 - (a) Render colorido do ambiente virtual criado para os testes. (b) Mapa de profundidade do ambiente virtual, as cores escuras representam pontos próximos da câmera, pontos claros representam pontos distantes da câmera.



Fonte: O Autor, 2013.

As seqüências de imagens foram então editadas e pareadas de acordo com os procedimentos metodológicos anteriormente descritos no item 3.6, com os devidos intervalos e indicações necessárias aos sujeitos de pesquisa. Uma métrica interessante a respeito das imagens criadas foi a verificação da discrepância entre as mesmas. Se subtraídos os valores cromáticos de uma imagem por outra, pode-se observar as áreas de

maior diferença entre as imagens geradas. A Figura 21, exibe a diferença entre as imagens geradas por câmeras paralelas e convergentes na maior amplitude de disparidade horizontal utilizada na presente pesquisa. A Figura 22, exibe a diferença entre as imagens geradas por reconstrução do par estereoscópico e as de câmeras paralelas também na situação de maior amplitude testada.

As áreas claras representam pouca ou nenhuma diferença entre as imagens. As áreas escuras representam os pontos onde existe grande diferença entre as imagens comparadas.

Fica visualmente aparente que as diferenças na Figura 21 (paralelo vs. convergente) são menos aparentes no centro que nas bordas da imagem, enquanto na Figura 22 (paralelo vs. reconstrução) as diferenças são mais visíveis nas bordas dos objetos e centro da imagem. Enquanto a primeira situação sugere problemas com distorção por causa de *Keystoning*, a segunda situação sugere problemas gerados na reconstrução da imagem especialmente em áreas de desocclusão.

Figura 21 - Diferença entre imagem capturada por câmera paralela (P) e câmera convergente (C). Resultado da operação $1/|C-P|$. No topo a condição de menor amplitude de disparidade horizontal, ao centro a condição de média amplitude e abaixo a condição de maior amplitude. Cores escuras indicam maior diferença entre as imagens, enquanto cores claras indicam menor diferença.



Fonte: O Autor, 2013.

Figura 22 - Diferença entre imagem capturada por câmera paralela (P) e imagem reconstruída para composição do par estereoscópico (R). Resultado da operação $1/|C-P|$. No topo a condição de menor amplitude de disparidade horizontal, ao centro a condição de média amplitude e abaixo a condição de maior amplitude. Cores escuras indicam maior diferença entre as imagens, enquanto cores claras indicam menor diferença.



3.7 DA ANÁLISE DOS DADOS

Para analisar os dados coletados foi escolhidos um conjunto de diferentes ferramentas estatísticas capazes de trata-los de modo robusto e, por fim, verificar se a variável independente, neste caso o método de geração de imagens, exerce influência sobre a percepção dos sujeitos de pesquisa.

Como visto no item Coleta de Dados os estímulos são apresentados aos participantes de maneira pareada, e estes devem classificar as imagens de acordo com três parâmetros: qualidade da imagem (**I**), qualidade da profundidade (**Q**) e conforto visual (**C**). Em cada um destes parâmetros o participante pode considerar que a primeira imagem do par é melhor que a segunda, que a segunda é melhor que a primeira, ou que ambas são equivalentes. Deste modo os parâmetros terminaram por estar dispostos em uma ordem. A equação 2 exemplifica uma situação onde o estímulo CM (convergente de média amplitude) é considerado igual ao estímulo PM (paralelo de média amplitude) e ambos são melhores que o estímulo RM (reconvergado de média amplitude).

$$CM = PM > RM [2]$$

Devido à diversos fatores como cansaço, desatenção, falta de experiência na visualização de imagens estereoscópicas e grande semelhança entre os estímulos, o julgamento feito pelos sujeitos de pesquisa pode, algumas vezes, ser impreciso. Tal fenômeno pode introduzir a presença de dados não transitivos, contaminando os resultados da pesquisa (LEE; GOLDMANN; EBRAHIMI, 2012).

A transitividade, numa relação entre diferentes elementos, é a propriedade de que a relação entre dois elementos deve ser coerente com as relações entre estes e os demais componentes relacionados (ENCYCLOPEDIA BRITANICA COMPANY, 2012). Por exemplo, se **A** é maior que **B**, e **B** é maior que **C**, então para manter a transitividade das relações **C** não pode ser maior que **A**.

Dada a natureza pareada da presente pesquisa e a exigência metodológica de que os pares de imagens analisados sejam apresentados em todas as ordens possíveis a transitividade dos elementos pode ser quebrada em duas situações: (1) quando o sujeito de pesquisa aferir julgamento diferenciado entre 2 estímulos visualizados em ordens

diferentes, exemplo da relação intransitiva: o participante julga que **A** é melhor que **B** e posteriormente julga que **B** é melhor que **A**; (2) quando o sujeito de pesquisa aferir julgamento que implique na impossibilidade de relacionar todas as amostras de um grupo, exemplo da relação intransitiva $A > B > C > A$.

Para simplificar a exposição dos dados no decorrer do corpo deste documento e primeiro caso é tratado com o nome “referências cruzadas” e o segundo com o nome “referências circulares”. Continuando a utilizar as letras **A**, **B** e **C** como exemplos, a exibe todas as relações intransitivas possíveis do primeiro tipo, referências cruzadas, e a exibe todas as relações transitivas

Tabela 3 – Casos de referência cruzada

$A > B$	$B > A$
$A < B$	$B < A$
$A = B$	$B > A$
$A = B$	$B < A$

Fonte: O Autor, 2013.

Tabela 4 – Casos de referência circular

$A > B$	$B > C$	$A < C$
$A < B$	$B < C$	$A > C$
$A = B$	$B > C$	$A < C$
$A = B$	$B < C$	$A > C$
$A > B$	$B = C$	$A < C$
$A < B$	$B = C$	$A > C$
$A > B$	$B > C$	$A = C$
$A < B$	$B < C$	$A = C$

Fonte: O Autor, 2013.

Segundo Lee, Goldmann e Ebrahimi (2012) a presença de dados relações não transitivas, em pesquisas pareadas para a análise da percepção de imagens estereoscópica, esta diretamente ligada a

incapacidade do sujeito de pesquisa de diferenciar os estímulos visualizados. Portanto, na análise dos dados coletados por este trabalho todas relações intransitivas foram substituídas por relação de igualdade. Deste modo os dados refletem a incapacidade do participante em fazer diferença dos estímulos observados.

Após a detecção e substituição das relações intransitivas os dados foram então ordenados de acordo com a preferência indicada pelo sujeito de pesquisa. De modo que o estímulo preferido pelo participante recebeu nota 1, o segundo em preferência recebeu nota 2 e o terceiro nota 3. Em caso de empate, onde o sujeito de pesquisa percebe dois estímulos como sendo equivalentes, fez-se a média da pontuação dos estímulos empatados. Para o caso exemplificado na equação **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (página 68) tem-se portanto CM=1,5; PM=1,5; e RM=3.

Para confirmar ou refutar a hipótese de que a variável independente exerce influência sobre a percepção do observador em um dado parâmetro, os dados ordenados foram analisados pelo qui-quadrado de Friedman. Segundo Fialho, Braviano e Santos (2005), esta ferramenta estatística não paramétrica é indicada para a verificação de amostras de dados ordenados.

Para tanto, os dados foram processados através da equação 3 e o resultado de X^2 foi comparado com os valores disponíveis na Tabela 5. Quando o valor de X^2 foi maior que o indicado na referida tabela ficou possível afirmar com 95% de certeza (para $\alpha=0,05$) e 99% de certeza (para $\alpha=0,01$) que a variação dos dados não era aleatória e que, portanto, existiu diferença entre os estímulos observados.

$$X^2 = \frac{12}{N \cdot k(k+1)} \sum [2]$$

Tabela 5 - Valores de χ^2 (Qui-quadrado) em níveis de 5% e 1% ($\alpha=0,05$ a $0,01$) de probabilidade em diferentes graus de liberdade (K-1).

Grau de Liberdade	5% ($\alpha=0,05$)	1% ($\alpha=0,01$)
1	3,84	6,64
2	5,99	9,21
3	7,82	11,34
4	9,49	13,28
5	11,07	15,09
6	12,59	16,81
7	14,07	18,48
8	15,51	20,09
9	16,92	21,67
10	18,31	23,21

Fonte: RODRIGUES, 2010.

O qui-quadrado de Friedman foi aplicado para cada diferente amplitude de disparidade horizontal testada (baixa, média e alta) e por fim foi aplicado a todos os dados em conjunto. Deste modo foi possível verificar se a hipótese se confirmou apenas em casos específicos, ou também, em um contexto mais amplo.

4 RESULTADOS

Como reportado no capítulo 3, a coleta de dados desta pesquisa foi dividida em duas partes. A primeira parte foi uma coleta de dados executada em caráter piloto, com o objetivo de verificar o funcionamento dos procedimentos metodológicos escolhidos, buscando identificar eventuais pontos problemáticos nestes procedimentos. Uma vez identificados e corrigidos estes problemas iniciou-se a segunda etapa que resultou no acervo definitivo de dados coletados e posteriormente analisados.

4.1 TESTE PILOTO

Após a definição de todos os procedimentos metodológicos e preparação do laboratório de coleta de dados, foram executadas quatro seções de teste piloto que permitiram ao pesquisador tecer as seguintes observações:

1. A compreensão e conseqüente juízo, por parte dos sujeitos de pesquisa, sobre a qualidade de imagem, qualidade de profundidade e conforto visual é subjetiva e por tanto tende a variar entre os entrevistados;
2. Três dos quatro participantes pediram ao entrevistador que este repetisse os estímulos exibidos, em alguns casos até mais de uma vez para o mesmo estímulo. Tal comportamento tornou os testes mais exaustivos que o idealizado, e não identificou-se um acréscimo relevante de precisão ou acurácia aos resultados.
3. As imagens estereoscópicas geradas por este pesquisador pelo método de reconstrução resultaram em estímulos excessivamente diferentes daqueles gerados por câmeras convergentes e paralelas, de tal modo que os participantes tiveram dificuldade para fazer distinção entre as dimensões de avaliação: qualidade de imagem, qualidade de profundidade e conforto visual;

Com base nestes resultados foram tomadas medidas para minimizar as influências destes fatores sobre os resultados desta pesquisa. Medidas estas que serão a seguir apresentadas.

Em relação ao primeiro problema citado, que trata da

compreensão conceitual dos critérios de avaliação (qualidade de imagem, qualidade de profundidade e conforto visual) um roteiro foi criado para guiar as ações do entrevistador. Tal roteiro possui em seu corpo uma descrição dos referidos conceitos em acorde com a definição disposta no método BT-2021 (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION, 2012).

No que tange o segundo problema citado, que trata do comportamento recorrente entre os participantes que optaram por repetir a visualização dos estímulos, foi adicionado ao roteiro que guia as ações do entrevistador um parágrafo que trata do comportamento esperado dos participantes. Pedes-se aos mesmos que sintam-se livres para julgar as imagens como semelhantes sempre que necessário, evitando buscar diferenças mínimas ou quase imperceptíveis. Além disto foi informado que, se ainda sim julgarem necessário, os estímulos podem ser repetidos.

Roteiro de saudação e recepção aos participantes

Muito obrigado por considerar participar deste estudo.

O objetivo do projeto é avaliar a qualidade da percepção de imagens 3d. Para tanto você participante irá visualizar 18 pares de imagens e avaliá-los de acordo com aspectos de sua percepção, registrando os resultados em uma folha de papel. Para garantir a relevância dos resultados um teste de visão será aplicado antes da pesquisa de fato. O tempo médio do teste é de 30 minutos.

Nenhum dado pessoal seu registrado além do sexo e da idade. Não haverá registro de áudio ou vídeo das sessões de teste. Todos os dados coletados serão utilizados em um trabalho de dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina.

Se estiver em acordo com tais termos é pedido a vós que leia e preencha o formulário de consentimento, por favor, avise sobre qualquer dúvida que tiver a respeito.

Roteiro que descreve o teste de visão

Para garantir a qualidade dos resultados é preciso verificar a qualidade da visão dos participantes. Para tanto serão analisadas a nitidez de sua visão, dautonomismo e esteriopse, que é a capacidade de enxergar imagens 3d. (Os resultados dos testes de Snellen, Ishira e Randot devem ser preenchidos pelo pesquisador no formulário do pesquisador, anexo 6.)

Roteiro para explicação do procedimento

A pesquisa contará com 18 seções de teste, cada seção com duração mínima de 36 segundos. Em cada seção você irá observar duas imagens, uma após a outra, e então pedimos gentilmente que preencha no formulário seu julgamento acerca das imagens que observou.

Para cada seção de teste o formulário possui 3 perguntas, a primeira é sobre: a qualidade da imagem, que refere-se a qualidade de elementos como cor, resolução, e defeitos diversos na imagem como distorções, ou interferências.; a segunda é sobre a qualidade da profundidade que refere-se a habilidade do sistema em produzir em você sensação de profundidade; e a terceira é sobre seu conforto visual, que refere-se a sensação de desconforto em qualquer grau ao observar as imagens.

Para estas 3 perguntas você poderá responder se o primeiro estímulo, que chamaremos de A, é melhor que o segundo estímulo, B, se é pior ou se ambos não apresentam diferença significativa.

Algumas imagens, provavelmente lhe parecerão muito similares, a observação de que não há diferença significativa entre as imagens é um resultado relevante para pesquisa como qualquer outro. No entanto, se você sentir a necessidade de rever qualquer par de imagens, para sanar alguma dúvida, basta comunicar ao condutor do teste.

Roteiro dirige o comportamento dos participantes durante o teste

- “Você está confortável em avaliar estes vídeos, ou deseja que eu repita a exibição?”
- “Alguma das imagens está lhe causando desconforto, náusea, ou dor de cabeça?”

Quanto ao terceiro ponto problemático encontrado durante o teste piloto, referente a grande diferença entre os estímulos gerados por reconstrução de imagem dos demais métodos de geração de imagens, julgou-se necessário reconstruir tais estímulos. A priori, para a construção destes estímulos, haviam sido usadas uma imagem monoscópica do ambiente virtual e um mapa de profundidade do mesmo ambiente (Figura 20). Estes 2 elementos necessários para geração da imagem estereoscópicas mantiveram-se intactos, a filtragem e o processamento destes dados é que foi retrabalhado.

Para o a filtragem e processamento destas informações na

translação dos pixels utilizou-se o software Ocula, que conta com diferentes métodos computacionais para executar tais tarefas. O Quadro 2, extraído do manual do produto, descreve o funcionamento de tais métodos.

Quadro 2 - Relação de métodos para filtragem e translação de pixels na geração imagens estereoscópicas por reconstrução, do software Ocula.

Filtros
Normal – Filtro bilinear que produz resultados satisfatórios e rápidos
Extremo – Utiliza uma interpolação sincronizada capaz de resultados mais nítidos porém exige mais tempo de processamento
Translação dos pixels
Simple – É a opção que exige menos tempo de processamento mas pode gerar resultados não ótimos no contorno de objetos visíveis em uma das imagens do par estereoscópico.
Normal – É a opção padrão, com tratamento mais adequado dos cantos da imagem e áreas em oclusão
Oclusões – Uma opção mais avançada com resultados aprimorados
Oclusões Definidas – Similar a opção oclusões mas produz menos falhas quando a disparidade é calculada a partir de imagens geradas por computador

Fonte: THE FOUNDRY VISIONMONGERS, 2012, p. 89.

Na primeira versão criada para os estímulos sensíveis foi utilizado o filtro “normal” e o método de translação de pixels “normal”. Uma vez que tais métodos são de baixo custo computacional, uma qualidade relevante da geração de imagens estereoscópicas por reconstrução. Esta versão foi usada no teste piloto.

Para a segunda versão, após o teste piloto, foram utilizados o filtro “extremo” e o método de translação de pixels de “Oclusões Definidas”. Além disso o mapa de profundidade foi pré-filtrado por um filtro gaussiano, como sugerido por (FEHN, 2004), com amplitude de 10 pixels. Tais métodos exigem mais tempo de processamento e na atual implementação disponível através do software Ocula, não podem ser executados em tempo real. No entanto, produziu resultados melhores que os métodos mais simples em áreas de descoclusão. Nestas áreas o filtro “normal” combinado com o método de translação de pixels “normal” duplicavam partes da imagem, perto dos contornos dos objetos, como demonstra a Figura 23. Este problema foi corrigido com a

utilização das medidas aqui descritas.

Figura 23 - Comparação entre resultados gerados por diferentes métodos de reconstrução de imagem. A esquerda filtro e translação de pixels normal. A direita filtro extremo (somado a um pré-filtro gaussiano) e translação de pixels por oclusão definida. Nota-se a duplicidade gerada em alguns elementos (chifres do dragão e bolas).



Fonte: O Autor, 2013.

Corrigidos os problemas aqui dispostos deu-se sequencia ao procedimento de coleta de dados definitivo e sua posterior análise.

4.2 TESTE DEFINITIVO

O processo de coleta dos dados definitivos ocorreu durante os meses compreendidos entre janeiro e abril de 2013, cumprindo rigorosamente com os procedimentos metodológicos previstos. Foram executadas 81 sessões de teste. Destas 81 sessões 54 (67%) deram-se no laboratório DesignLab da Universidade Federal de Santa Catarina, instalado dentro do prédio A do departamento de Comunicação e Expressão Visual, na sala de número 105. Os 27 testes restantes (33%) foram conduzidos em laboratórios itinerantes montados pelo pesquisador em empresas, nas quais teve acesso e autorização para executar os referidos testes.

Tanto no laboratório fixo instalado na Universidade Federal de Santa Catarina, quanto nos laboratórios itinerantes, cuidados foram tomados para garantir a consistência dos dados. Tanto nos testes preliminares de visão, como nas seções de teste propriamente ditas as distâncias relativas para os monitores foram mensuradas e ajustadas de acordo com o explicitado no item 3.4, que trata dos procedimentos metodológicos. Como explicitado no referido item a distância dos participantes para com o estímulo sensível foi ajustada em função da resolução dos monitores e seu tamanho. O monitor do laboratório fixo possuía resolução *FullHD* e 42 polegadas em sua dimensão diagonal, o monitor itinerante possuía resolução *FullHD* e 23 em sua dimensão diagonal. Sendo assim a distância dos sujeitos para com os monitores foram respectivamente de 1,62m e 0,91m.

Dentre os participantes as idades variaram entre 17 anos e 63 anos, sendo a média das idades 25 anos. Quanto aos testes de visão aplicados classificar os participantes, vinte e seis participantes (32%) tiveram uma visão considerada abaixo do normal no teste de acuidade visual de Snellen; sete participantes (6%) foram classificados como autônticos no teste de Ishira. No teste de Random dot, que verificou a capacidade de esteriópse dos participantes apenas 2 participantes não obtiveram os resultados esperados. As seções de teste foram levadas normalmente com participantes que obtiveram resultados abaixo de esperado no teste de acuidade, ou que foram verificados como autônticos no teste de Ishira. Os dois participantes que não obtiveram resultado satisfatório no teste de Random dot mostraram interesse em fazer parte da pesquisa, mesmo não tendo capacidade de serem sensibilizados pelo efeito estereoscópico. No entanto, nos dois casos os participantes relataram fadiga visual e demasiado desconforto, o que os impossibilitou de dar sequência ao procedimento.

A Seção de testes mais rápida teve duração de dez minutos, e a mais longa teve duração de quarenta minutos. A média de duração dos testes foi de aproximadamente vinte minutos.

Exceto os dois participantes reprovados no teste de Random dot, todos os participantes preencheram todos os dados solicitados pelo pesquisador registrados em formulário. Ou seja, setenta e nove formulários foram devidamente preenchidos. Os participantes, em sua totalidade, assinaram um termo de esclarecimento, atestando sua ciência a respeito da natureza do trabalho e das características da coleta de dados. Os resultados da tabulação e análise dos dados são abordados no item seguinte.

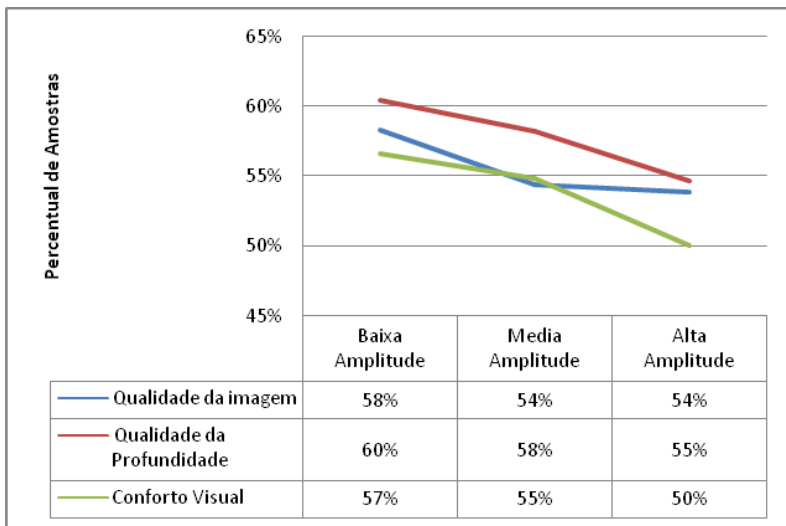
4.3 ANÁLISE DE DADOS

Após a coleta dos dados, todos os resultados foram digitalizados para o devido tratamento com auxílio de métodos da estatística. Como descrito no capítulo 3 item 3.7, a primeira parte deste tratamento foi a filtragem de dados quanto a transitividade das relações, sendo identificadas e substituídas as relações intransitivas dos tipos referências cruzadas e referências circulares. Referências cruzadas são aquelas onde o sujeito de pesquisa escolhe um estímulo como sendo melhor ou igual a outro e, em um teste posterior, se contradiz. Referências circulares são aquelas onde o sujeito de pesquisa valora os estímulos percebidos em uma ordem impossível pela lógica, como por exemplo **A** é melhor que **B** que é melhor que **C** que, por fim, é melhor que **A**. Estes dois casos denotam ambiguidade e a incapacidade do observador em encontrar a real diferença entre os estímulos percebidos (LEE; GOLDMANN; EBRAHIMI, 2012). Para refletir tal incapacidade estas relações são substituídas por relações de igualdade.

4.3.1 Referências cruzadas

Quanto as relações intransitivas do tipo referências cruzadas, sua ocorrência foi detectada em aproximadamente 56% de todas as amostras.

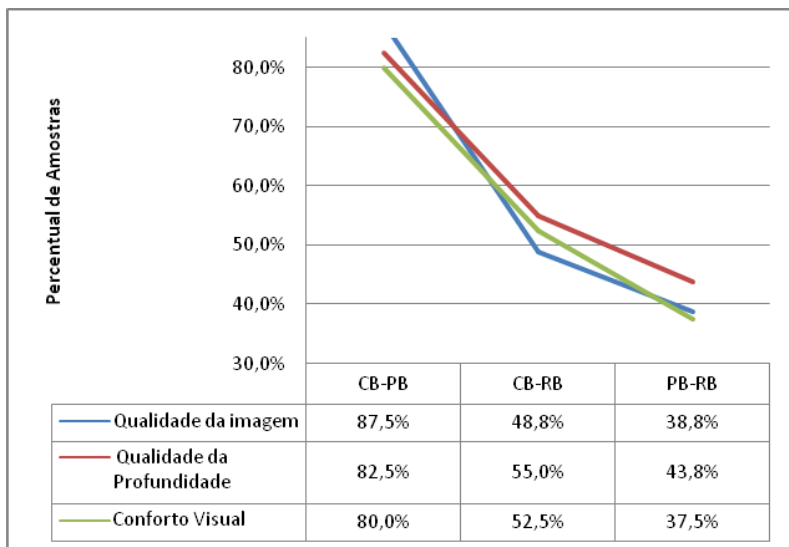
Nos testes com baixa amplitude de disparidade horizontal os testes de qualidade de imagem, qualidade de profundidade e conforto visual obtiveram respectivamente 58%, 60% e 57% das amostras com referências cruzadas; os testes em média amplitude resultaram respectivamente em 54%, 58% e 55%; e os testes em alta amplitude propiciaram respectivamente 54%, 55% e 50%. Como é possível verificar através destes dados e visualizar através da Figura 24, não há uma relação direta entre a amplitude do efeito estereoscópico e a ocorrência de referências cruzadas.

Figura 24 - Referências cruzadas x Amplitude de Disparidade Horizontal

Fonte: O Autor, 2013.

Nos testes onde as amostras continham **baixa disparidade horizontal**, quando comparadas as imagens geradas por câmara convergentes e câmaras paralelas: 87,5% das amostras de qualidade da imagem, 82,5% das amostras de qualidade da profundidade e 80% das amostras de conforto visual apresentaram referências cruzadas. Ainda dentro do universo das amostras de baixa disparidade, quando comparadas imagens geradas por câmaras convergentes e imagens geradas por reconstrução: 48,7% das amostras de qualidade da imagem 55% das amostras de qualidade da profundidade e 52,5% das amostras de conforto visual apresentaram referências cruzadas. Por fim, quando comparadas as imagens geradas por câmaras paralelas e as imagens geradas por reconstrução, dentro do universo das imagens com baixa disparidade horizontal: 38,7% das amostras de qualidade da imagem 43,7% das amostras de qualidade da profundidade e 52,5% das amostras de conforto visual apresentaram referências cruzadas. A Figura 25 exhibe visualmente estes dados.

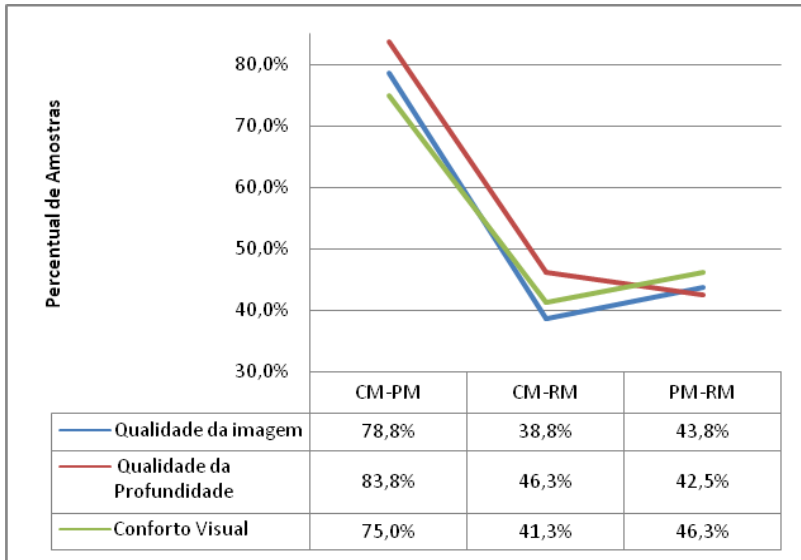
Figura 25 - Referências Cruzadas em Baixa Disparidade Horizontal. Incidência de referências cruzadas nos teste com imagens contendo **baixa disparidade horizontal**, entre os pares convergente e paralelo (CB-PB), convergente e reconstruído (CB-RB) e paralelo e reconstruído (PB-RB) quanto a percepção da qualidade da imagem, qualidade da profundidade e conforto visual observada pelos sujeitos de pesquisa.



Fonte: O Autor, 2013.

No universo das amostras de **média disparidade horizontal** a comparação entre imagens geradas por cameras paralelas e convergentes resultou em: 78,8% das amostras de qualidade da imagem, 83,8% das amostras de qualidade da profundidade e 75% das amostras de conforto visual apresentaram referencias cruzadas. A comparação entre imagens geradas por cameras paralelas e reconstrução resultou em: 38,8% das amostras de qualidade da imagem, 46,3% das amostras de qualidade da profundidade e 41,3% das amostras de conforto visual apresentaram referencias cruzadas. E por fim a comparação entre imagens geradas por cameras paralelas e por reconstrução resultou em: 43,8% das amostras de qualidade da imagem, 42,5% das amostras de qualidade da profundidade e 46,3% das amostras de conforto visual apresentaram referencias cruzadas. Estes dados podem ser observados também através da Figura 26.

Figura 26 - Referências Cruzadas em Média Disparidade Horizontal. Incidência de referências cruzadas nos teste com imagens contendo **média disparidade horizontal**, entre os pares convergente e paralelo (CM-PM), convergente e reconstruído (CM-RM) e paralelo e reconstruído (PM-RM) quanto a percepção da qualidade da imagem, qualidade da profundidade e conforto visual observada pelos sujeitos de pesquisa.

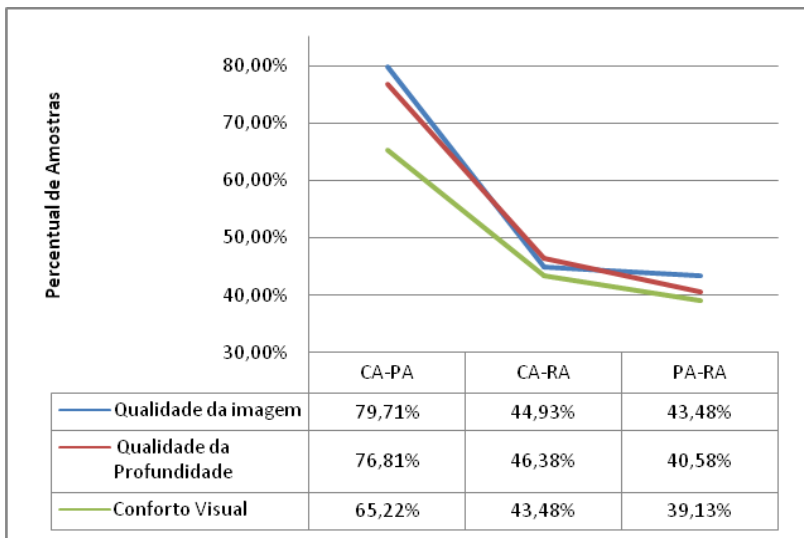


Fonte: O Autor, 2013.

No universo das amostras de **alta disparidade horizontal** a comparação entre imagens geradas por cameras paralelas e convergentes resultou em: 80% das amostras de qualidade da imagem, 76,3% das amostras de qualidade da profundidade e 70% das amostras de conforto visual apresentaram referencias cruzadas. A comparação entre imagens geradas por cameras paralelas e reconstrução resultou em: 40% das amostras de qualidade da imagem, 47,5% das amostras de qualidade da profundidade e 40% das amostras de conforto visual apresentaram referencias cruzadas. E por fim a comparação entre imagens geradas por cameras paralelas e por reconstrução resultou em: 37,5% das amostras de qualidade da imagem, 36,3% das amostras de qualidade da profundidade e 36,3% das amostras de conforto visual apresentaram

referências cruzadas. A Figura 27 exibe estes dados por meio de um gráfico.

Figura 27 - Referências Cruzadas em Alta Disparidade Horizontal. Incidência de referências cruzadas nos teste com imagens contendo **alta disparidade horizontal**, entre os pares convergente e paralelo (CA-PA), convergente e reconstruído (CA-RA) e paralelo e reconstruído (PA-RA) quanto a percepção da qualidade da imagem, qualidade da profundidade e conforto visual observada pelos sujeitos de pesquisa.



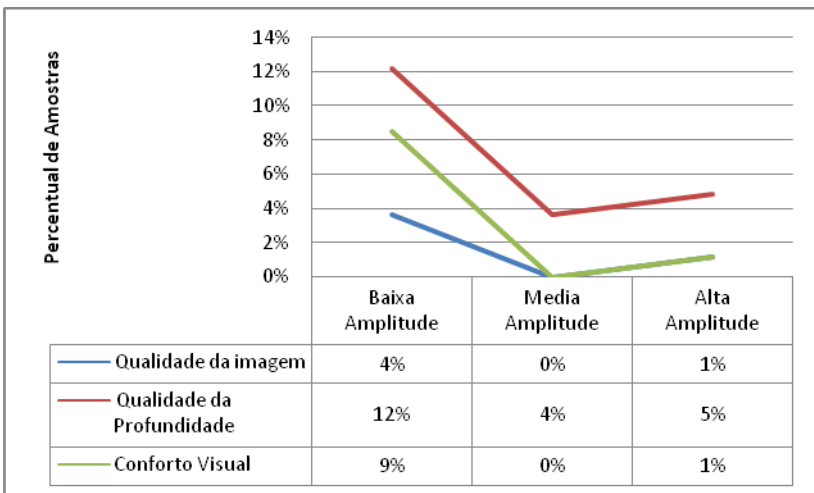
Fonte: O Autor, 2013.

Como é possível verificar nos dados anteriormente postos a incidência de relações intransitivas dos tipos referência cruzada, e consequentemente a dificuldade dos sujeitos de pesquisa em diferenciar os estímulos observados, é mais incidente nas comparações entre estímulos gerados por câmeras paralelas e convergentes que em quaisquer outras comparações. O que é um forte indicativo da maior semelhança entre estes dois estímulos, e de que as diferenças existentes entre eles não são de grande significância na percepção dos índices de qualidade mensurados

4.3.2 Referências circulares

Quanto as relações intransitivas do tipo referências circulares sua ocorrência foi detectada em 4% do total de amostras. Sendo que nas amostras de baixa amplitude houve uma incidência de 4% quanto a qualidade da imagem, 12% quanto a qualidade de profundidade e 9% quanto ao conforto visual; nas amostras de média amplitude 4% das avaliações da qualidade da profundidade; e em alta amplitude em 1% das análises de qualidade de imagem 5% na qualidade de profundidade e 1% no conforto visual. A Figura 28 ajuda a visualizar estes dados.

Figura 28 - Referências Circulares. Ocorrência de referências circulares em estímulos de baixa, média e alta amplitude de disparidade horizontal, frente a havaliação da qualidade da imagem, qualidade da profundidade e conforto visual proporcionados pelos estímulos.



Fonte: O Autor, 2013.

É possível notar por meio destes dados uma maior ocorrência relações intransitivas do tipo referência circular em ocasiões onde a amplitude da disparidade horizontal é baixa. Denotando assim maior

ambiguidade. Segundo Lee, Goldman e Ebrahimi (2012) a ocorrência de uma referência circular e consequente quebra da relação transitiva é um índice da incapacidade do participante em perceber diferença entre os estímulos observados.

4.3.3 Ordenação dos dados

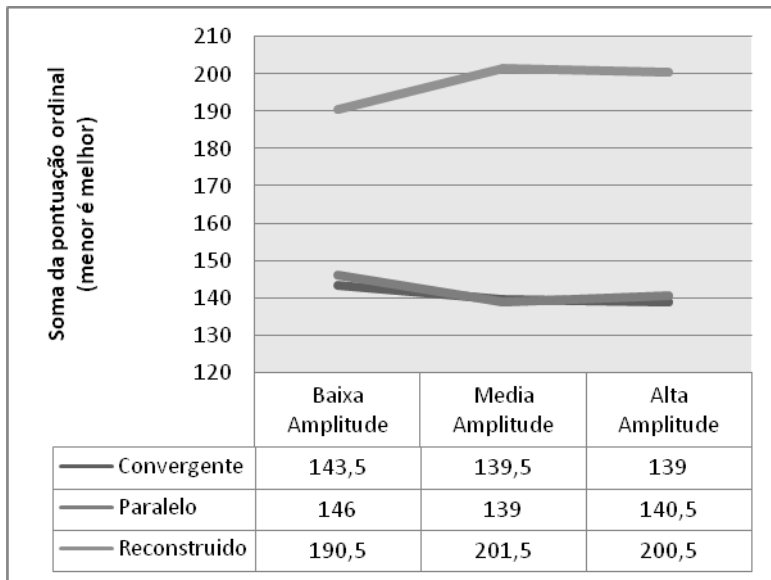
Seguindo os procedimentos metodológicos anteriormente expostos, depois de filtradas e substituídas as relações intransitivas, os dados foram ordenados. O estímulo preferido pelo participante, dentre os três de cada grupo de variáveis independentes, recebeu a nota 1, o segundo em preferência recebeu a nota 2 e o terceiro a nota 3. Nos casos onde os participante perceberam os estímulos como similares foi feita a média das notas entre os estímulos equivalentes. Por exemplo, nos casos onde houvesse um empate entre o primeiro e o segundo colocados ambos receberiam nota 1,5 e o terceiro colocado seguiria recebendo nota 3. Observa-se que a soma total das notas entre três estímulos é sempre 6.

Ao se analisar o somatório das notas de todas as amostras é possível verificar onde residem as maiores diferenças no fenômeno de percepção dos estímulos testados. Menores somatórios indicam estímulos julgados como de melhor qualidade pelos sujeitos de pesquisa.

No quesito qualidade de imagem, considerando respectivamente as situações de baixa, média e alta amplitude: os estímulos de reconstrução tiveram somatórios de 190,5, 201,5 e 200,5; os estímulos de câmeras convergentes tiveram somatórios de 143,5, 139,5 e 139; e os estímulos de câmeras paralelas tiveram somatórios de 146, 139 e 140,5. Tais dados refletem semelhança na maneira como são percebidos estímulos paralelos e convergentes, e como estes distanciam-se significativamente da maneira como são percebidos estímulos gerados por reconstrução. Nota-se também, de acordo com os dados que não é possível estabelecer uma relação entre a amplitude da disparidade horizontal e a diferença de qualidade de imagem nos diferentes estímulos.

A Figura 29 apresenta os dados relativos a ordenação dos dados frente a qualidade da imagem percebida pelos sujeitos de pesquisa.

Figura 29 - Qualidade de Imagem. Estímulos ordenados de acordo com a preferência dos sujeitos de pesquisa no que tange a qualidade da imagem em estímulos criados por diferentes métodos de geração de imagem estereoscópica (convergente, paralelo e reconstruído) em diferentes amplitudes de disparidade horizontal (baixa, média e alta). Menores valores indicam maior preferência.

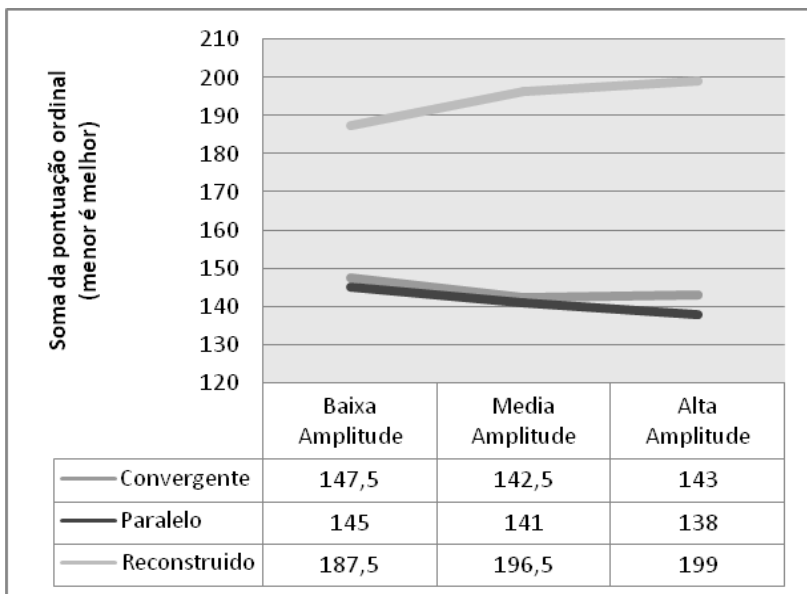


Fonte: O Autor, 2013.

Já no quesito qualidade de profundidade, considerando respectivamente as situações de baixa, média e alta amplitude: os estímulos de reconstrução tiveram somatórios de 187,5, 196,5 e 199; os estímulos de câmeras convergentes tiveram somatórios de 147,5, 142,5 e 143; e os estímulos de câmeras paralelas tiveram somatórios de 145, 141 e 138. Também neste caso nota-se semelhança na maneira como são percebidos estímulos paralelos e convergentes, e como estes distanciam-se da maneira como são percebidos estímulos gerados por reconstrução. Aqui também não é possível estabelecer uma relação entre a amplitude da disparidade horizontal e a diferença de qualidade de imagem nos diferentes estímulos.

A Figura 30 apresenta os dados relativos a ordenação dos dados frente a qualidade de profundidade percebida pelos sujeitos de pesquisa.

Figura 30 - Qualidade de Profundidade. Estímulos ordenados de acordo com a preferência dos sujeitos de pesquisa no que tange a qualidade da profundidade em estímulos criados por diferentes métodos de geração de imagem estereoscópica (convergente, paralelo e reconstruído) em diferentes amplitudes de disparidade horizontal (baixa, média e alta). Menores valores indicam maior preferência.



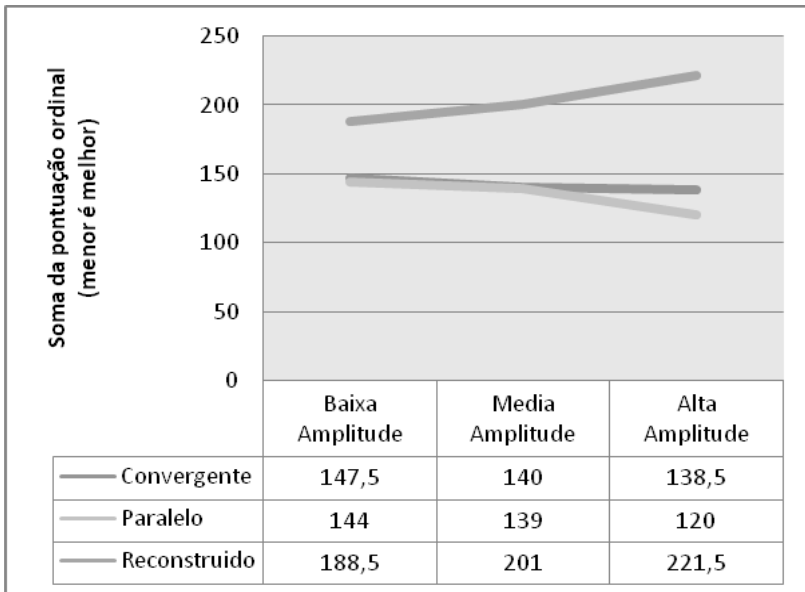
Fonte: O Autor, 2013.

No quesito qualidade de profundidade, considerando respectivamente as situações de baixa, média e alta amplitude: os estímulos de reconstrução tiveram somatórios de 188,5, 201 e 221,5; os estímulos de câmeras convergentes tiveram somatórios de 147,5, 140 e 138,5; e os estímulos de câmeras paralelas tiveram somatórios de 144, 139 e 120. Aqui também é possível encontrar semelhança na maneira como são percebidos estímulos paralelos e convergentes, e como estes distanciam-se da maneira como são percebidos estímulos gerados por reconstrução. Também neste caso não é possível estabelecer uma relação entre a amplitude da disparidade horizontal e a diferença de qualidade de imagem nos diferentes estímulos.

A Figura 31 apresenta os dados relativos a ordenação dos dados

frente ao conforto visual percebido pelos sujeitos de pesquisa.

Figura 31 - Conforto Visual. Estímulos ordenados de acordo com a preferência dos sujeitos de pesquisa no que tange o conforto visual em estímulos criados por diferentes métodos de geração de imagem estereoscópica (convergente, paralelo e reconstruído) em diferentes amplitudes de disparidade horizontal (baixa, média e alta). Menores valores indicam maior preferência.



Fonte: O Autor, 2013.

Os dados expostos apresentam uma relação clara entre o tipo de estímulo testado e a qualidade de imagem, qualidade de profundidade e conforto visual percebidos. Fica evidente que em todos quesitos avaliados a diferença entre os estímulos paralelo e convergente são mínimas. Fica claro também que em todos os casos testados as imagens estereoscópicas geradas por reconstrução são percebidas como piores pelos sujeitos de pesquisa.

Desta forma a ordenação dos dados permite concluir que a geração de imagens estereoscópicas por reconstrução é significativamente inferior nos quesitos qualidade de profundidade,

qualidade de imagem e conforto visual, em baixas, médias e altas amplitudes de disparidade horizontal, quando comparadas a imagens geradas por câmeras convergentes ou paralelas, que por sua vez são equivalentes. Restando apenas confirmar, através do teste de Friedman, que as diferenças encontradas são significativas e não frutos do acaso.

Tal afirmação tem implicações nos equipamentos, softwares e procedimentos utilizados para a criação destas imagens, que serão doravante especificados nas conclusões deste trabalho.

4.3.4 Teste de Friedman

A última etapa da análise dos dados consistiu na aplicação do teste de Friedman, que permite verificar que se as diferenças encontradas até então, referentes à percepção dos estímulos por parte dos sujeitos de pesquisa, são estatisticamente relevantes, dado um determinado grau de confiança. Os dados foram processados de acordo com a Equação 3, resultando em um valor para a variável X^2 . Tais resultados estão devidamente registrados na **Tabela 6**. Estes valores devem então ser comparados com os valores da tabela do teste de Friedman (Tabela 5), para que se possa determinar se a hipótese nula é ou não refutada e com que grau de confiança isto pode ser feito.

Dadas as características do presente trabalho X^2 deve ser maior que 5, para que se possa dizer com 95% de confiança que os resultados não são frutos do acaso; para valores de X^2 maiores que 9,21 é possível fazer a mesma afirmação com um índice de 99% de confiança.

Tabela 6 – Resultados para X^2 nas diferentes aplicações do Teste de Friedman executadas com os dados coletados.

Teste de Friedman			
	Qualidade da imagem	Qualidade da Profundidade	Conforto Visual
Baixa Amplitude	17,48	14,21	15,30
Media Amplitude	32,29	24,99	31,52
Alta Amplitude	30,76	28,67	73,05
Todas Amplitudes	79,12	118,31	113,00

Desta maneira pode-se afirmar com ao menos 99% de confiança que as diferenças encontradas na ordenação dos dados são estatisticamente significativas e, portanto, não são frutos do acaso. Assim, confirma-se em todas as amplitudes de disparidade horizontal testadas e em todas dimensões analisadas (qualidade da imagem, qualidade da profundidade e confoto visual) a diferença entre os estímulos gerados por reconstrução de imagens e os estímulos gerados por câmeras paralelas e convergentes. Sendo os estímulos gerados por reconstrução percebidos, consistentemente, como sendo piores que os dos outros dois tipos.

5 DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral desta pesquisa foi analisar a qualidade do fenômeno de percepção de imagens estereoscópicas, por seres humanos, dentro de ambientes virtuais cujas imagens foram geradas a partir de diferentes métodos.

A hipótese levantada de que “na criação de ambientes virtuais a qualidade de percepção das imagens estereoscópicas, por seres humanos, é afetada pelo método de geração destas imagens” foi confirmada em alguns casos e refutada em outros nesta pesquisa. Quando foram comparadas imagens geradas a partir de câmeras paralelas e câmeras convergentes foi possível verificar que estes dois métodos não provocam diferença significativa na percepção dos observadores, em nenhum dos quesitos e amplitudes de efeito investigados. Entretanto, quando estes dois métodos de geração de imagens foram comparados, constatou-se que na geração de imagens estereoscópicas por reconstrução existe uma diferença em todas as amplitudes testadas, tanto nos quesitos qualidade da imagem, quanto na qualidade de profundidade e no conforto visual.

Quanto a equivalência entre a qualidade percebida nos estímulos gerados por câmeras convergentes e paralelas, o resultado diverge daquele encontrado por IJsselsteijn, Ridder e Vliegen (2000). Os citados pesquisadores estudaram o impacto do tempo de visualização, distância interaxial e ângulo de convergência em câmeras convergentes. Concluíram que a convergência entre as câmeras causa uma distorção (*keystoning*) que afeta negativamente os sujeitos de pesquisa. No entanto, no resultado do presente estudo observou-se que a convergência entre câmeras e a distorção por *keystoning* não foram capazes de alterar, de modo impactante, a percepção dos observadores.

Na que tange a diferença da qualidade percebida entre os estímulos gerados por câmeras paralelas e convergentes frente aos estímulos gerados por reconstrução, a literatura encontrada não permite comparações diretas. Isto se deve a incompatibilidade entre os objetivos da presente pesquisa e de outros trabalhos dessa literatura que avaliaram a qualidade percebida em estímulos gerados por reconstrução.

Vários dos referidos trabalhos limitaram-se a comparar estímulos unicamente gerados por reconstrução, desconsiderando a avaliação de estímulos gerados por câmeras, dentre os quais pode-se citar: “Stereoscopic Image Generation Based on Depth Images for 3D TV” (ZHANG; TAM, 2005), “Spatio-Temporally Consistent Novel View

Synthesis Algorithm From Video-Plus-Depth Sequences for Autostereoscopic Displays” (CHENG; LIN; LAI, 2011), “Visual Fatigue Reduction Based on Depth Based Adjustment for DIBR System” (LIU, *et al.*, 2012). Um dos trabalhos encontrados comparou, efetivamente, a qualidade em imagens estereoscópicas geradas por câmeras e a qualidade em imagens geradas por reconstrução. No entanto, este citado trabalho de autoria de Lang et al. (2010), comparou pares de imagens com disparidades horizontais diferentes entre si, sendo esta uma metodologia bastante diferente da utilizada na presente pesquisa. Os resultados desta pesquisa preenchem, portanto, uma lacuna na comparação consistente entre estes diferentes métodos de geração de imagens.

Em relação as suas limitações esta pesquisa deu-se unicamente no contexto dos ambientes virtuais. Tais ambientes foram construídos de modo que o resultado final tivesse aparência foto realista, criado à imagem de em um ambiente do mundo real, respeitando limitações espaciais e de escala no que tange a distância interaxial e convergência das câmeras. Assim, os resultados e conclusões aqui apresentados não podem ser estendidos diretamente ao contexto da captura de imagens estereoscópicas do mundo real, visto que existem fenômenos deste contexto que aqui não foram reproduzidos, como: a distorção das lentes em uma câmera, ou a discrepância cromática entre foto-sensores. Portanto, a contribuição para o campo das imagens estereoscópicas captadas do mundo real é marginal.

Quanto aos métodos de reconstrução, faz-se necessário expor também que a literatura apresenta uma série de modelos computacionais para executar esta tarefa. Dentre estes trabalhos cabe destacar os seguintes: “Nonlinear Disparity Mapping for Stereoscopic” 3D (LANG *et al.*, 2010) e “A perceptual approach for stereoscopic rendering optimization” (BULBUL; CIPIOGLU; CAPIN, 2010). No entanto, no contexto desta pesquisa optou-se por utilizar métodos disponíveis comercialmente, dada a proximidade com a realidade dos que exercem a prática da construção de imagens estereoscópicas e visando também a viabilidade da pesquisa. Assim os resultados obtidos nesta pesquisa são relevantes, porém, se limitam aos modelos testados.

Quanto a natureza das imagens, é possível que elementos diversos, como: cor, forma dos elementos dispostos, velocidade dos movimentos exibidos e outros, exerçam influência sobre a qualidade percebida pelos sujeitos de pesquisa. Alguns testes com imagens estereoscópicas como os de Lee et al. (2012) e Lang et al. (2010) utilizaram imagens com temáticas diversas para evitar problemas desta

natureza. A presente pesquisa, no entanto, optou por testar um único vídeo gerado de diversas maneiras distintas. Tal escolha foi feita em razão do método de avaliação pareado, escolhido para esta pesquisa, implicando em um teste extenso e que expõe o sujeito de pesquisa ao mesmo estímulo diversas vezes em diferentes ordens. A adição de mais vídeos tornaria as seções de testes demasiadamente exaustivas.

Por outro lado as limitações de escopo do presente trabalho apresentam-se como oportunidades relevantes para futuras pesquisas. No que tange a captura de imagens do mundo real é importante entender se a percepção dos sujeitos de pesquisa é semelhante aquela observada nos ambientes virtuais. Esta lacuna fica ainda mais evidenciada quando se analisa trabalhos de vanguarda, como “*Computational Stereo Camera System with Programmable Control Loop*” (HEINZL *et al.*, 2011), que procuram compor em um único sistema a captura de imagens reais e o pós-processamento digital.

No que concerne os modelos computacionais para a reconstrução de imagens estereoscópicas é importante que futuras pesquisas busquem métodos ainda mais robustos que aqueles aqui utilizados, especialmente no que se refere a representação do fenômeno de desocclusão. Tal fator mostrou-se um limitador no modelo utilizado. Sugere-se também que futuros trabalhos, busquem utilizar conteúdos diferenciados na avaliação junto a sujeitos de pesquisa, contemplando assim diversas condições de forma, cor e movimento nas imagens testadas. Entende-se que isto poderá tornar as conclusões desta pesquisa ainda mais robustas.

Tendo em vista as lacunas encontradas no processo de fundamentação teórica do presente trabalho, sugere-se relacionar de maneira holística o papel da estereoscopia dentro da experiência dos usuários em ambientes virtuais.

Por fim, destaca-se que os resultados encontrados nesta pesquisa corroboram com a sua justificativa inicialmente posta de gerar conhecimento científicos e técnicos, aplicáveis a prática do design de conteúdo digital em mídias estereoscópicas, atualmente cada vez mais numerosas e importantes. O conhecimento construído, a respeito do fenômeno de percepção de imagens estereoscópicas, servirá como ferramenta para fundamentar escolhas práticas, com impacto no custo, nos métodos e no tempo necessário para construir este tipo de mídia.

REFERÊNCIAS

ANTHONY, S. 3D TV is dead. **PC Magazine**, p. 32, mar. 2013.

AUTODESK. Stereoscopy Whitepaper. **Autodesk**. 2010. Disponível em:

<http://images.autodesk.com/adsk/files/stereoscopic_whitepaper_final08.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2011.

BULBUL, A.; CIPLOGLU, Z.; CAPIN, T. A perceptual approach for stereoscopic rendering optimization. **Computer & Graphics**, v. 34, p. 145-157, 2010.

CHENG, C. M.; LIN, S. J.; LAI, S. H. Spatio-Temporally Consistent Novel View Synthesis Algorithm From Video-Plus-Depth Sequences for Autostereoscopic Displays. **IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING**, v. 57, n. 2, p. 523-532, jun. 2011.

CRUZ-NEIRA, C. et al. **The Cave**: audio visual experience automatic virtual environment. SIGGRAPH. Los Angeles: ACM, 1992. p. 64-72.

DARIBO, I. **Coding and rendering of 3D video sequences**; and applications to Three-Dimensional Television (3DTV) and Free Viewpoint Television (FTV). Paris: [s.n.], 2009.

DIXON, S. **Digital Performance**: a history of new media in theater, dance, performance art, and installation. Cambridge: MIT Press, 2007.

ENCYCLOPEDIA BRITANICA COMPANY. Transitive. **Merriam-Webster Dictionary**. 2012. Disponível em: <<http://www.merriam-webster.com/dictionary/transitive>>. Acesso em: 10 mar. 2012.

FEHN, C. **Depth-image-based rendering (DIBR), compression, and transmission for a new approach on 3D-TV**. Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XI. [S.l.]: SPIE. 2004. p. 93-104.

FIALHO, F. A. P.; BRAVIANO, G.; SANTOS, N. D. **Métodos e Técnicas em Ergonomia**. Florianópolis: [s.n.], 2005.

HEINZL, S. et al. Computational Stereo Camera System with Programmable Control Loop. **ACM Transactions on Graphics**, v. 30, n. 4, p. 10, jul. 2011.

HERON, S.; LAGES, M. Screening and sampling in studies of binocular vision. **Vision Research**, v. 62, p. 228-234, 2012.

HODGES, L. F.; DAVIS, E. T. **Geometric Considerations for Stereoscopic Virtual Environments**. Georgia: Georgia Institute of Technology, 1993. p. 11.

HOWARD, I.; ROGERS, B. J. **Perceiving in Depth**. v. 2. Stereoscopic Vision. Oxford: Oxford University Press, 2012.

IJSSELSTEIJN, W. A. Subjective Evaluation of Stereoscopic Images: Effects. **IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology**, v. 10, n. 2, p. 225-233, mar. 2000.

IJSSELSTEIJN, W. A.; RIDDER, H. D.; VLIEGEN, J. Subjective Evaluation of Stereoscopic Images: Effects of Camera Parameters and Display Duration. **IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology**, p. 225-232, mar. 2000.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION. **Subjective methods for the assessment of stereoscopic 3DTV systems**. Genebra: International Telecommunications Union, 2012. p. 24.

KOOI, F. L.; TOET, A. Visual comfort of binocular and 3d displays. **Displays**, v. 25, p. 99-108, ago. 2004.

KRUEGER, M. W. **Artificial Reality**. [S.l.]: Longman Higher Education, 1982.

LANG, M. et al. Nonlinear Disparity Mapping for Stereoscopic 3D. **ACM Transactions on Graphics**, v. 29, n. 4, p. 1-10, jul. 2010.

LEE, J. S.; GOLDMANN, L.; EBRAHIMI, T. Paired comparison-based subjective quality assessment of stereoscopic images. **Multimedia Tools and Applications**, v. 53, n. 3, p.1-18, fev. 2012.

LIU, R. et al. Visual Fatigue Reduction Based on Depth Based Adjustment for DIBR System. **KSII Transactions on Internet and Information Systems**, v. 6, n. 4, p. 1171-1187, abr. 2012.

MEESTERS, L. M. J. **A Survey of Perceptual Evaluations and Requirements of Three-Dimensional TV**, Endhoven. **IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY**, v. 14, n. 3, p. 381-391, mar. 2003.

MENDIBURU, B. **3d Movie Making**. Burlington: Focal Press, 2009.

MOVIE INSIDER. 3D Movies 2012. **Movie Insider**, 2012. Disponível em: <<http://www.movieinsider.com/movies/3d/2012/>>. Acesso em: 24 nov. 2012.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Funding a Revolution, Government Support for Computing Research**. Washington: National Academy of Science, 1999.

PINKER, S. **Como a mente funciona**. São Paulo: Companhia das Letras, 1954.

QUÉAU, P. **La pensée virtuelle**. Paris: Reséaux, 1993.

ROBINSON, S.; KOKARAM, A.; SEYMOUR, M. **Visual Algorithms for Post Production**. [S.l.]: ACM SIGGRAPH. 2009.

RODRIGUES, W. C. **Estatística Aplicada 2010**. [S.l.]: Edição do Autor, 2010.

SCHROEDER, R. Virtual Reality in the Real World. **Futures: A journal of forecasting**, Londres, v. 25, n. 9, p. 963-973, 1994.

SNOWDON, D.; CHURCHILL, E. F.; MUNRO, A. J. **Collaborative Virtual Environments**. [S.l.]: Springer Verlag, 2000.

THE FOUNDRY VISIONMONGERS. Ocula User Guida. **The Foundry**, 2012. Disponível em:
<http://thefoundry.s3.amazonaws.com/products/ocula/nuke/releases/3.0v3/Ocula_3.0v3_Nuke_UserGuide.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2013.

THE OHIO STATE UNIVERSITY. Section 17: Virtual Reality. **A Critical History of Computer Graphics and Animation**, 2012. Disponível em: <<https://design.osu.edu//carlson/history/lesson17.html>>. Acesso em: 19 nov. 2012.

VIRTUAL Reality Centre. **Memories of Thorpe Park**, 1993. Disponível em: <<http://www.memoriesofthorpepark.co.uk/vrc.html>>. Acesso em: 10 dez. 2012.

WOODS, A.; DOCHERTY, T.; KOCH, R. **Image Distortions in Stereoscopic Video Systems**. Proceedings of the SPIE. San Jose: Curtin

University, 1993.

ZHANG, L.; TAM, W. J. Stereoscopic Image Generation Based on Depth Images for 3D TV. **IEEE Transactions on Broadcasting**, v. 51, n. 2, p. 191-199, jun. 2005.

ZONE, R. **Stereoscopic Cinema and the Origins of 3-D Filme 1838-1952**. Kentucky: University Press of Kentucky, 2007.

GLOSSÁRIO

CAD: Do inglês *Computer Assisted Design*, ou Design Auxiliado por Computador

CAVE: Do inglês *Cave Automatic Virtual Environment* ou cavernas de ambientes virtuais são salas em forma de cubo com todas as paredes cobertas por imagens de ambientes virtuais estereoscópicos.

Disparidade Horizontal: Disparidade horizontal é a medida da diferença de paralaxe entre ambas imagens do par estereoscópico. Esta medida está altamente ligada a sensação de profundidade percebida nestas imagens.

Disparidade Vertical: Similar a disparidade horizontal, no entanto no eixo vertical. Indesejável em imagens estereoscópicas, normalmente causada devido a *Keystoning* ou outras distorções de imagem.

Keystoning: desvio no alinhamento entre as imagens de um par estereoscópico causado pela convergência de câmeras.

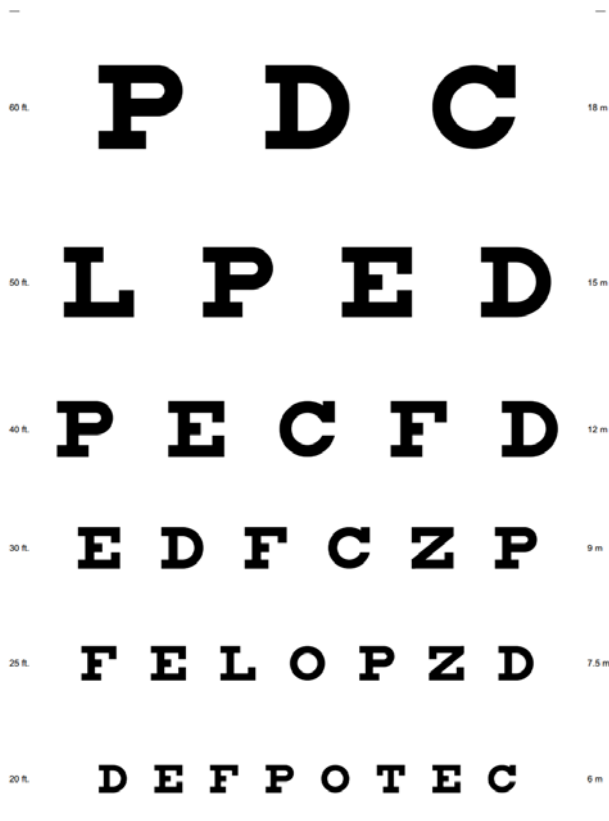
HIT: Do inglês *Horizontal Image Translation*, ou simplesmente translação horizontal da imagem

Wireframe: Imagem tridimensional constituída unicamente de linhas e curvas.

ANEXOS

ANEXO 1 - Teste Snellen para acurácia da visão

O Sujeito deve ser posicionado a 6 metros do cartaz com a imagem representada abaixo, a acurácia de sua visão é determinada pela fração entre a distância que o sujeito se encontra do cartaz e a última linha que o mesmo conseguiu ler sem cometer erros. Por exemplo se o sujeito de pesquisa conseguir ler até a quarta linha sua visão será uma fração de 6/12 (ou 1/2) da visão normal.

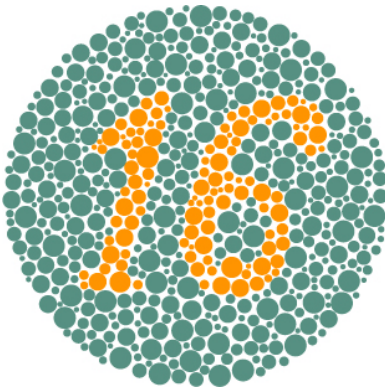


Fonte: <http://eyetestnow.com>

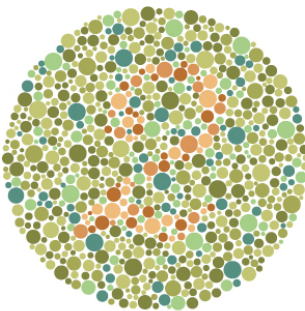
ANEXO 2 - Teste de Ishira para daltonismo

O teste de Ishira consiste em uma série de imagens de círculos coloridos onde o sujeito não afetado pelo daltonismo conseguirá enxergar determinados números. Já o sujeito com daltonismo pode identificar um número diferente do sujeito com visão normal, ou ainda número algum, dependendo da especificidade de sua deficiência visual.

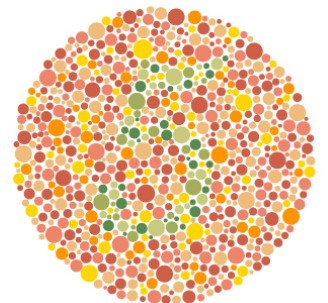
A imagem abaixo exemplifica o *layout* das imagens a serem utilizadas no teste. Ambos os indivíduos que sofrem ou não de daltonismo devem ser capazes de enxergar o número 16 na imagem abaixo.



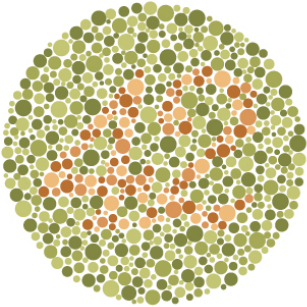
As demais imagens possuem na legenda o número que deve ser observado por sujeitos com a visão normal.



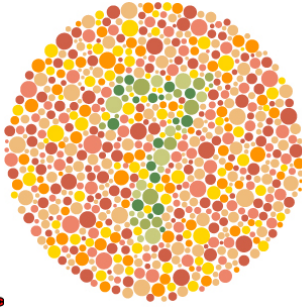
2



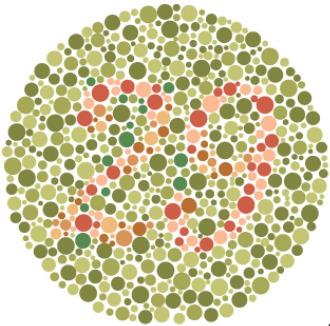
5



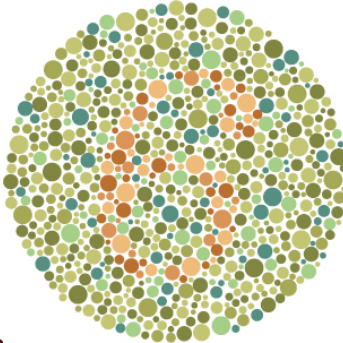
42



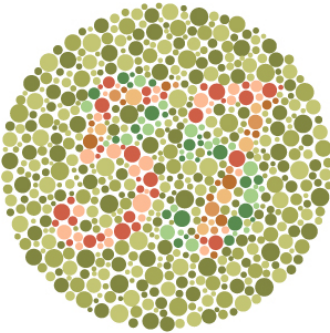
7



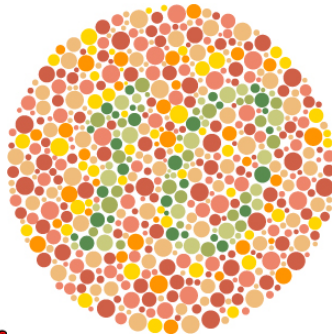
29



6



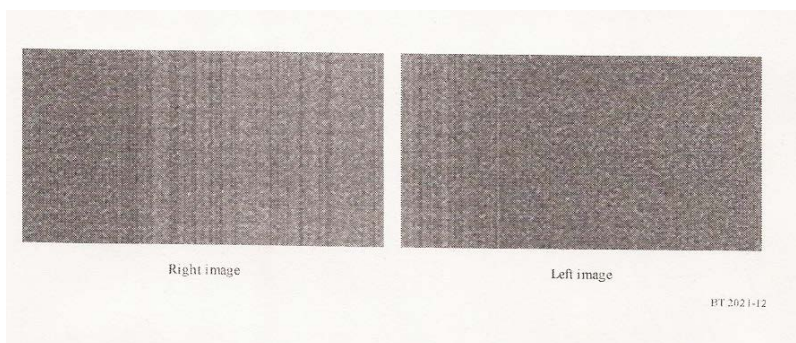
57



10

ANEXO 3 - TESTE RANDOM DOT PARA VISÃO ESTEREOSCÓPICA

As figuras da imagem abaixo devem ser exibidas em um televisor digital estereoscópico. Indivíduos com a visão normal devem enxergar um quadrado, enquanto indivíduos com déficit de capacidade estereoscópica devem enxergar apenas pontos.



ANEXO 4 - ROTEIROS PARA COLETA DE DADOS E ABORDAGEM AOS PARTICIPANTES

Roteiro de saudação e recepção aos participantes

Muito obrigado por considerar participar deste estudo.

O objetivo do projeto é avaliar a qualidade da percepção de imagens 3d. Para tanto você participante irá visualizar 18 pares de imagens e avaliá-los de acordo com aspectos de sua percepção, registrando os resultados em uma folha de papel. Para garantir a relevância dos resultados um teste de visão será aplicado antes da pesquisa de fato. O tempo médio do teste é de 30 minutos.

Nenhum dado pessoal seu registrado além do sexo e da idade. Não haverá registro de áudio ou vídeo das sessões de teste. Todos os dados coletados serão utilizados em um trabalho de dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina.

Se estiver em acordo com tais termos é pedido a vós que leia e preencha o formulário de consentimento, por favor, avise sobre qualquer dúvida que tiver a respeito.

Roteiro que descreve o teste de visão

Para garantir a qualidade dos resultados é preciso verificar a qualidade da visão dos participantes. Para tanto serão analisadas a nitidez de sua visão, dautonismo e esteriopse, que é a capacidade de enxergar imagens 3d.

(Os resultados dos testes de Snellen, Ishira e Randot devem ser preenchidos pelo pesquisador no formulário do pesquisador, anexo 6.)

Roteiro para explicação do procedimento

A pesquisa contará com 18 seções de teste, cada seção com duração mínima de 36 segundos. Em cada seção você irá observar duas imagens, uma após a outra, e então pedimos gentilmente que preencha no formulário seu julgamento acerca das imagens que observou.

Para cada seção de teste o formulário possui 3 perguntas, a primeira é sobre: a qualidade da imagem, que refere-se a qualidade de elementos como cor, resolução, e defeitos diversos na imagem como distorções, ou interferências.; a segunda é sobre a qualidade da profundidade que refere-se a habilidade do sistema em produzir em você sensação de profundidade; e a terceira é sobre seu conforto visual, que refere-se a sensação de desconforto em qualquer grau ao observar as imagens.

Para estas 3 perguntas você poderá responder se o primeiro

estímulo, que chamaremos de A, é melhor que o segundo estímulo, B, se é pior ou se ambos não apresentam diferença significativa.

Algumas imagens, provavelmente lhe parecerão muito similares, a observação de que não há diferença significativa entre as imagens é um resultado relevante para pesquisa como qualquer outro. No entanto, se você sentir a necessidade de rever qualquer par de imagens, para sanar alguma dúvida, basta comunicar ao condutor do teste.

Roteiro que dirige o comportamento dos participantes durante o teste

Alertas:

- “Você está confortável em avaliar estes vídeos, ou deseja que eu repita a exibição?”
- “Alguma das imagens está lhe causando desconforto, náusea, ou dor de cabeça?”

ANEXO 5 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

O objetivo desta pesquisa é verificar a **qualidade de imagens 3d** em um **ambiente virtual**.

Para isso, os participantes da pesquisa terão de observar 18 pares de imagens e julga-las de acordo com aspectos subjetivos de sua percepção. O resultado de tal julgamento deve ser transcrito para um formulário. Além deste formulário **não** serão coletados nenhum outro dado como áudio ou vídeo das seções.

Os testes serão acompanhados por este pesquisador, Gustavo Eggert Boehs.

Os participantes serão colocados a par de todos os procedimentos do teste antes de tomarem qualquer parte no mesmo. Poderão também a qualquer tempo, reivindicar os dados coletados em sua seção de teste, assim como todo o conteúdo do trabalho de mestrado do qual este teste faz parte.

Os participantes poderão a qualquer tempo, retirar seu consentimento, inclusive após a conclusão da pesquisa, sem qualquer penalização ou prejuízo.

O anonimato do participante será garantido.

Qualquer dúvida a respeito da pesquisa, contatar o pesquisador pelo telefone (48)8405-1243.

Estando esclarecido do teor da presente pesquisa, concordo que os dados coletados em minha seção de testes sejam utilizados neste estudo.

Assinatura

Reservado para uso do pesquisador:

Sujeito de Pesquisa n. _____

ANEXO 6 - FORMULÁRIO DO PESQUISADOR

Data: _____ Horário: _____ Local: _____

Sujeito Numero: _____ Sexo: _____ Idade: _____

Pré Avaliação:

- 1) Menor linha no teste de snellen: _____
- 2) Teste de Ishira (pontos coloridos) – Marque V ou F
 16 2 5 42 7 29 6 57 10
- 3) Teste randot, verifique se sujeito enxergou um quadrado na imagem

Avaliação:

- 1) Preencher de acordo com a ordem em que as seções de teste foram exibidas
 CB-PB CB-RB PB-CB PB-RB RB-CB RB-CB RB-PB
 CM-PM CM-RM PM-CM PM-RM RM-CM RM-CM RM-PM
 CA-PA CA-RA PA-CA PA-RA RA-CA RA-CA RA-PA
- 2) Tempo total de teste: _____