

DESIGN E REALISMO VISUAL

**no Desenvolvimento de Ambientes de Realidade
Virtual para Tratamento Psicoterapêutico**

**Fabício José Aguiar de Mira
Milton Koji Nakata**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

Bauru | 2017

DESIGN E REALISMO VISUAL

no Desenvolvimento de Ambientes de Realidade
Virtual para Tratamento Psicoterapêutico

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação – UNESP, câmpus de Bauru, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Design. **Orientador: Milton Koji Nakata**



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Bauru | 2017

Mira, Fabrício José Aguiar.

Design e realismo visual no desenvolvimento de ambientes
de realidade virtual para tratamento psicoterapêutico / Fabrício José
Aguiar de Mira, 2017

86 f : il.

Orientador: Milton Koji Nakata

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade
de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2017

1. Design. 2. Realidade virtual. 3. Percepção visual. 4. Desenho de
observação. 5. Realismo visual. I. Universidade Estadual Paulista.
Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. II. Título.

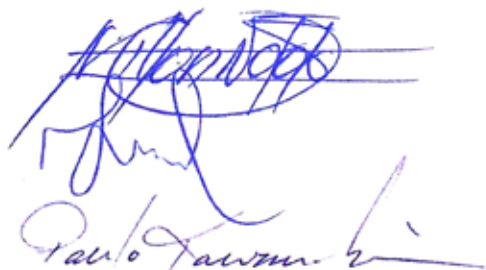
ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE FABRICIO JOSÉ AGUIAR DE MIRA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 21 dias do mês de março do ano de 2017, às 09:00 horas, no(a) Auditório da Secretaria de Pós-Graduação/FAAC, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. MILTON KOJI NAKATA - Orientador(a) do(a) Departamento de Design / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicacao de Bauru, Prof. Dr. FAUSTO ORSI MEDOLA do(a) Departamento de Design / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicacao de Bauru, Prof. Dr. PAULO KAWAUCHI do(a) Arquitetura e Urbanismo / Universidade de Marília - UNIMAR, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de FABRICIO JOSÉ AGUIAR DE MIRA, intitulada **DESIGN & REALISMO VISUAL NO DESENVOLVIMENTO DE AMBIENTES DE REALIDADE VIRTUAL PARA TRATAMENTO DO PSICOTERAPÊUTICO**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. MILTON KOJI NAKATA

Prof. Dr. FAUSTO ORSI MEDOLA

Prof. Dr. PAULO KAWAUCHI



AGRADECIMENTOS

À **minha família** pelo incentivo e apoio irrestrito.

Ao **Prof. Dr. Milton Koji Nakata**, pelos ensinamentos, conselhos, confiança e paciência, sem os quais este trabalho não poderia ser realizado.

Aos professores **Dra. Cássia Letícia Carrara Domiciano**, **Dr. Fausto Orsi Medola** e **Dr. Paulo Kawauchi** pela dedicação e pelos valiosos conselhos que em muito contribuíram com este trabalho.

Ao Prof. **Dr. Rafael Christophe da Rocha Freire** por ter aceitado esta parceria e por todo o suporte prestado.

Aos **professores** do Programa de Pós-graduação em Design da FAAC/UNESP – Bauru, pelos conhecimentos transmitidos, aos **colegas de curso** pela amizade e colaboração e à **Seção de Pós-graduação da FAAC** pela atenção e suporte.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES**, pelo apoio financeiro recebido para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

MIRA, F. J. A. **Design e realismo visual no desenvolvimento de ambientes de realidade virtual para tratamento psicoterapêutico**. 2017. 104f. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-graduação em Design, Projeto de Produto. FAAC, UNESP, Bauru, 2017.

Na área da psicologia, a realidade virtual tem sido referenciada como uma ferramenta eficiente para o tratamento de transtornos psiquiátricos, devido à sua capacidade de induzir alterações fisiológicas equivalentes àsquelas vivenciadas no mundo real. Para que o tratamento tenha sucesso, o paciente deve sentir-se suficientemente presente no ambiente virtual. Dentre os fatores que levam a um maior senso de presença está o realismo visual, área que tem evoluído rapidamente nos últimos anos mas que tem recebido pouca atenção nos estudos clínicos com realidade virtual. Diante disso, este estudo se propôs a definir o conceito de realismo visual e a investigar os requisitos necessários à sua concepção por meio de uma pesquisa bibliográfico-documental realizada em livros, artigos científicos, *sites* e documentações de *softwares*. Com base nos requisitos levantados, foi criado um instrumento de avaliação do realismo visual que serviu de base para o desenvolvimento de dois ambientes virtuais destinados ao tratamento do transtorno do pânico e agorafobia. A modelagem, texturização, atribuição de materiais, animação e programação destes ambientes foi realizada nos *softwares* Blender, Adobe Fuse/Mixamo, Colorgorical e Unreal Engine 4. Os resultados desta pesquisa evidenciam a importância do designer nas equipes de desenvolvimento de ambientes virtuais visualmente realistas. A escala de avaliação aqui proposta pode auxiliá-lo no delineamento da metodologia projetual a ser empregada, de acordo com os objetivos dos estudos. Além disso, a utilização desta escala em laboratórios multidisciplinares de pesquisa pode ser útil, uma vez que permite traduzir termos técnicos, de uso exclusivo dos designers, em uma linguagem compreensível para pesquisadores das mais variadas áreas, facilitando a comunicação entre os membros do grupo.

Palavras chaves: Design, Realidade Virtual, Desenho, Percepção Visual.

ABSTRACT

MIRA, F. J. A. **Design and visual realism in the development of virtual reality environments for psychotherapeutic treatment.** 2017. 104f. Dissertation (Master) — Programa de Pós-graduação em Design, Projeto de Produto. FAAC, UNESP, Bauru, 2017.

In the area of psychology, virtual reality has been referred to as an efficient tool for the treatment of psychiatric disorders due to its ability to induce physiological changes equivalent to those experienced in the real world. For treatment to be successful, the patient must feel sufficiently present in the virtual environment. Among the factors that lead to a greater sense of presence is visual realism, an area that has evolved rapidly in recent years but has received little attention in clinical studies with virtual reality. Therefore, this study aimed to define the concept of visual realism and to investigate the necessary requirements for its conception through a bibliographic-documentary research carried out in books, scientific articles, websites and software documentation. Based on the requirements raised, an instrument of visual realism evaluation was created that served as the basis for the development of two virtual environments for the treatment of panic disorder and agoraphobia. The modeling, texturing, assignment of materials, animation and programming of these environments was performed in Blender, Adobe Fuse / Mixamo, Colorgorical and Unreal Engine 4 software. The results of this research highlight the importance of the designer in the development teams of visually realistic virtual environments. The evaluation scale proposed here may help in the design of the design methodology to be used, according to the objectives of the studies. In addition, the use of this scale in multidisciplinary research laboratories can be beneficial, since it allows translating technical terms, for the exclusive use of the designers, in a language intelligible to researchers of the most varied areas, facilitating communication among group members.

Keywords: Design, Virtual Reality, Drawing, Visual Perception.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Estereoscópio de Sir Charles Wheatstone, 1838	16
Figura 2:	Dispositivo estereoscópico de Holmes e DayDream VR	17
Figura 3:	View-Master de Gruber, 1939 e View-Master da Mattel, 2015	17
Figura 4:	Sensorama - visão estereoscópica com tecnologia multissensorial	18
Figura 5:	Ultimate Display, 1960 e Headsight, 1961	18
Figura 6:	Oculus Rift (Oculus/ Facebook) e HTC Vive (Steam)	20
Figura 7:	Ciclo de emergência de novas tecnologias	21
Figura 8:	Número de estudos com RV na área da psiquiatria	24
Figura 9:	Aplicações da RV	25
Figura 10:	Modelo conceitual do papel do realismo visual	27
Figura 11:	Jogo de realidade virtual para o Google DayDream VR	29
Figura 12:	Ambiente virtual da casa Barcelona Pavillion	29
Figura 13:	Imagem fotográfica da casa original	29
Figura 14:	Job Simulator (2016): baixo realismo visual	30
Figura 15:	Capacidade gráfica de HMDs	34
Figura 16:	Movimento dos olhos de um desenhista experiente e um novato	39
Figura 17:	Signos visuais percebidos por desenhistas e não-desenhistas	41
Figura 18:	Desenhos de artistas e do grupo de controle	42
Figura 19:	Referências fotográficas e ambiente virtual tridimensional	44
Figura 20:	Diagrama de Berlyne	47
Figura 21:	Agrupamentos induzem à noção de conjunto	48
Figura 22:	Níveis de simplificação por meio da simetria	48
Figura 23:	<i>Redesign</i> do corredor de um hospital norte-americano	49
Figura 24:	Emoções associadas às salas com paredes de cores diferentes	50
Figura 25:	Recursos utilizados na criação de objetos virtuais	53
Figura 26:	Escala de avaliação do realismo visual estático	54
Figura 27:	Ambientes virtuais extraídos de artigos científicos	56
Figura 28:	Ambientes virtuais extraídos de artigos científicos	57
Figura 29:	Medidas-guia retiradas do metrô real	60

Figura 30: Imagens do vídeo fornecido pelo LABPR	61
Figura 31: Visualização aramada do modelo 3D da Est. Central do Brasil	61
Figura 32: Fases da modelagem da cabine do trem	63
Figura 33: Teste de renderização do modelo 3D do trem	64
Figura 34: Paletas de cores utilizadas nos AVIs	66
Figura 35: Layout dos ambientes projetados para usuários novatos e experientes	67
Figura 36: Brihos, reflexos e sombras dinâmicas	69

LISTA DE ABREVIATURAS

AVI	Ambiente virtual imersivo
AVII	Ambiente virtual imersivo e inteligente
RV	Realidade virtual
RVE	Realismo visual estático
TP	Transtorno do pânico
TERV	Terapia de exposição à realidade virtual

SUMÁRIO

Agradecimentos	5
Resumo	6
<i>Abstract</i>	7
Lista de Figuras	8
Lista de Abreviaturas	9
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
3.1 Realidade Virtual	
3.1.1 Conceito	15
3.1.2 História da Realidade Virtual	15
3.1.3 Ambientes Virtuais Imersivos (AVIs)	20
3.1.4 A Realidade Virtual Hoje	21
3.1.5 Aplicações da Realidade Virtual	22
3.1.6 A Realidade Virtual na Psicologia	23
3.2 Realismo em Realidade Virtual	26
3.2.1 Realismo Visual	27
3.2.2 Senso de Presença em AVIs não Realistas	30
3.2.3 Realismo Visual: Requisitos de <i>Hardware</i>	31
3.2.3.1 Computador	31
3.2.3.2 <i>Head-mounted display</i>	33
3.2.4 Realismo Visual: Requisitos de <i>Software</i>	35
3.2.4.1 Modelagem	35
3.2.4.2 Texturização	36
3.2.4.3 Materiais	37
3.2.4.4 Iluminação	37
3.2.5 Realismo Visual: Requisitos de Design	38
3.2.5.1 Desenho	38
3.2.5.2 Psicologia da percepção	40
3.2.5.3 Estudo de caso	43
3.3 Design e Emoção	45

3.3.1 Do ambiente real para o virtual	45
3.3.2 Complexidade Visual	46
3.3.3 Biofilia	48
3.3.4 Altura do teto	49
3.3.5 Cores	49
4 MATERIAIS E MÉTODOS	51
5 RESULTADOS	52
5.1 Escala de Avaliação do Realismo Visual Estático (RVE)	52
5.1.1 Levantamento Bibliométrico para Avaliação do RVE	54
5.2 Desenvolvimento dos Ambientes Virtuais Imersivos	60
5.2.1 Definindo as Referências	60
5.2.2 Modelagem de <i>Hard Surfaces</i>	61
5.2.3 Modelagem Orgânica da Cabine	62
5.2.4 Texturas e Materiais	62
5.2.5 Animação do Trem	65
5.2.6 Modulando os Graus de Dificuldade	65
5.2.7 Desenvolvimento do Aplicativo	68
5.2.8 Avaliação do realismo visual estático	68
5.2.9 Avaliação do realismo visual dinâmico	68
6 DISCUSSÃO	70
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
7.1 Limitações e Futuros Estudos	74
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1 INTRODUÇÃO

A realidade virtual (RV) pode ser considerada uma das formas mais avançadas de interface com o usuário de computador. Atualmente, é utilizada em inúmeras áreas do conhecimento humano como a engenharia, as artes, a educação, o entretenimento, a medicina, a publicidade, o jornalismo, o design e a arquitetura. Na área da psicologia, é crescente o número de estudos sobre o uso de terapias de exposição à realidade virtual no tratamento de transtornos de ansiedade (BOTELLA et al., 2007). São estudos voltados a fobias específicas como o medo de voar, o medo de dirigir, o medo de falar em público, aracnofobia, acrofobia, claustrofobia, entre outros. Há ainda pesquisas na área de reabilitação cognitiva, alcoolismo, transtorno de estresse pós-traumático e transtorno do pânico, com ou sem agorafobia (LEONCIO et al., 2016; CARVALHO, 2010).

O presente estudo aborda especificamente o uso da realidade virtual para o tratamento do transtorno do pânico (TP) e agorafobia. O TP é uma enfermidade caracterizada por crises recorrentes e repentinas de forte ansiedade ou medo, acompanhadas da sensação de mal-estar físico e mental. A agorafobia pode se desenvolver a partir do TP, e caracteriza-se por um comportamento de evitação de situações e lugares onde o escape seria difícil e embaraçoso. A pessoa passa a ter medo de determinadas situações nas quais acha que pode passar mal e não conseguir ajuda para escapar (FREIRE et al., 2010). Ambas as patologias são bastante comuns e apresentam alta prevalência ao longo da vida, levando a um comprometimento da capacidade laborativa e à redução na qualidade de vida (RANGÉ & BERNIK, 2001; GRANT et al., 2006; ROY-BYRNE et al., 2006).

O tratamento convencional é usualmente feito com a prescrição de terapia e medicamentos. A terapia consiste em induzir ansiedade nos pacientes por meio da exposição de imagens (impressas ou em vídeo) ou da solicitação ao paciente para que imagine um ambiente ou um estímulo fóbico. Mas de acordo com Botella, essas técnicas não são suficientemente fortes para provocar ansiedade sobre acontecimentos específicos (BOTELLA et al., 2007). Quanto aos tratamentos com antidepressivos e benzodiazepínicos, embora sejam eficientes, exigem um tempo prolongado de tratamento e em alguns casos os pacientes não atingem a remissão dos sintomas (BLAYA e MANFRO, 2005).

Por outro lado, a tecnologia da realidade virtual torna-se cada vez mais poderosa e acessível. O usuário, quando exposto a um ambiente virtual imersivo (AVI), vivencia o senso de presença, que é a sensação de que os acontecimentos o afetam, como se ele estivesse ali fisicamente. Os dispositivos de entrada, como os *head-mounted displays*, teclados, *joysticks* e controles, tornam-se extensões do corpo do usuário, que se esquivam, fecha os olhos, contrai os músculos e transpira como se estivesse em uma situação real (MCMAHAN, 2003). Reações similares foram observadas em pacientes com TP, que experimentam alterações fisiológicas, psíquicas e somáticas equivalentes aos sintomas provocados por acontecimentos da vida real (FREIRE, 2008). Por este motivo, a realidade virtual funciona como uma alternativa à exposição *in vivo*, uma vez que possibilita o controle de todas as variáveis do ambiente por parte do terapeuta, facilitando o processo de habituação do paciente aos estímulos ansiogênicos.

Para que a RV seja bem assimilada no tratamento, o paciente deve sentir-se suficientemente presente no ambiente virtual que lhe é apresentado (CARVALHO, 2010). Dentre os fatores que levam a um maior senso de presença está o realismo visual (SCHUBERT et al., 2001). Embora os recursos de computação gráfica atuais permitam uma representação bastante fiel do mundo real, o realismo visual tem recebido pouca atenção por parte dos pesquisadores que utilizam a RV em seus estudos. Um levantamento bibliométrico de artigos científicos que utilizaram o termo “realismo visual” (e outros termos equivalentes) revelou a predominância de AVIs com um baixo grau de realismo visual, bem abaixo da qualidade gráfica utilizada na indústria de jogos. Também evidenciou a falta de consenso, por parte dos pesquisadores, sobre o que pode ser considerado visualmente realista. Algumas hipóteses podem ser levantadas para explicar estas deficiências, tais como a ausência de designers nas equipes de desenvolvimento, o despreparo técnico dos desenvolvedores — uma vez que a rápida evolução dos equipamentos e *softwares* nos últimos anos demanda um conhecimento constantemente atualizado — e o juízo subjetivo com que o realismo visual é avaliado.

Diante disso, este estudo se propôs a definir objetivamente o conceito de realismo visual em RV, bem como identificar os requisitos para a sua criação, que envolvem configurações de *hardware*, recursos de *software* e técnicas de desenho de observação. A partir do levantamento destes requisitos, delineou-se uma meto-

dologia de desenvolvimento de AVIs visualmente realistas, como forma de garantir um senso de presença suficientemente forte. Com base nesta metodologia, foi feita a modelagem, texturização, atribuição de materiais e animação dos objetos 3D que integraram os AVIs aqui propostos. Em seguida, foram criados diferentes graus de dificuldade para pacientes iniciantes e experientes, através do gerenciamento dos estímulos visuais dos AVIs (formas, texturas, materiais e iluminação) por meio de um embasamento teórico na área do design e da percepção visual. Espera-se, desta forma, proporcionar uma adaptação progressiva aos pacientes e a efetividade do tratamento.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um instrumento para a avaliação do realismo visual de ambientes de realidade virtual. Desenvolver dois ambientes virtuais visualmente realistas destinados ao tratamento do transtorno do pânico e agorafobia, que permitam aos pacientes uma adaptação progressiva.

2.2 Objetivos Específicos

Este estudo pretende, em um primeiro momento, delinear objetivamente o conceito de realismo visual e identificar os requisitos necessários à sua elaboração. A partir do levantamento destes requisitos, será elaborada uma escala de avaliação do realismo visual de AVIs bem como uma metodologia de trabalho a ser utilizada no desenvolvimento dos ambientes virtuais acima descritos.

Em seguida, objetiva-se investigar como o designer pode controlar os efeitos dos estímulos visuais de AVIs sobre a percepção dos usuários, no intuito de modular a intensidade das emoções vivenciadas. Espera-se, desta maneira, projetar graus de dificuldade diferentes para cada ambiente virtual, como forma de proporcionar uma adaptação progressiva aos pacientes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Realidade Virtual

3.1.1 Conceito

O dicionário Michaelis define a palavra virtual como o “que é suscetível de exercer-se, embora não esteja em exercício; que equivale a outro, podendo fazer as vezes deste” (MICHAELIS, 2016). Já o termo realidade virtual foi utilizado pela primeira vez em 1938, no livro *Le Théâtre et son double* do autor francês Antonin Artaud, para designar um teatro onde “a ilusão natural de personagens e objetos criavam uma realidade virtual” (ARTAUD, 2006).

Este termo foi transposto para o campo das tecnologias digitais na década de 1970, quando o cientista da computação e artista americano Myron Krueger criou ambientes responsivos baseados na captura dos movimentos de usuários, o que permitia sua interação com objetos virtuais (KRUEGER et al., 1980). Na década de 1980, o também artista e cientista da computação Jaron Lanier foi responsável por popularizar o termo por meio da criação da primeira empresa a comercializar produtos de realidade virtual (BIOCCA, 1995). A *VPL Research*, empresa fundada por Lanier, desenvolvia ambientes virtuais que funcionavam com vários usuários simultâneos, representados por avatares e acessados por meio de um *head-mounted display* (HMDs) (LANIER, 2016).

Atualmente, a realidade virtual pode ser definida como uma técnica avançada de interface entre o usuário e um sistema integrado de *software* e *hardware* capaz de simular ambientes virtuais que possibilitam imersão, navegação e interação, utilizando canais multi-sensoriais (BURDEA, 1994; KRUEGER, 1991; TORI et al., 2006). Embora em RV o sentido da visão seja predominante, estímulos sonoros, táteis e olfativos também podem ser utilizados para enriquecer a experiência do usuário (TORI et al., 2006).

3.1.2 História da Realidade Virtual

Os diversos dispositivos de realidade virtual disponíveis atualmente têm uma gê-

nese em comum, pois derivam do primeiro óculos de visualização estereoscópica, criado em 1833 e apresentado em 1838 por Sir Charles Wheatstone (WHEATSTONE, 1838). Trata-se de um estereoscópio composto de um par de espelhos e duas fotografias refletidas por cada um deles, de modo que cada olho enxergue apenas a imagem projetada para ele (Figura 1). Desta forma, era criada a ilusão de profundidade binocular (*stereopsis*), a partir da interpretação do cérebro de que as duas imagens são uma só.

Utilizando este mesmo princípio, David Brewster exibiu uma versão aprimorada de dispositivo estereoscópico na 1ª Exposição Universal de Londres, impressionando a rainha Vitória e alcançando um grande sucesso de público. Na 2ª Exposição Universal de Londres, onze anos depois, Oliver Wendel Holmes apresentou um dispositivo estereoscópico que vinha acompanhado de uma enorme gama de cartões fotográficos estereoscópicos. Foram vendidos mais de um milhão destes cartões durante o evento (ADAMS, 1999). O dispositivo de Holmes foi desenvolvido para uma melhor adaptação ao uso, lembrando em muito os atuais dispositivos portáteis de realidade virtual, com a diferença de que estes últimos utilizam *smartphones* no lugar de fotografias impressas (Figura 2).

O lema de Holmes, “nenhuma residência sem o estereoscópio”, remete-nos a seu equivalente contemporâneo Mark Zuckerberg, que adquiriu em 2012, por mais

Figura 1 – Estereoscópio de Sir Charles Wheatstone, 1838.



Fonte: SCIENCE & SOCIETY, 2016.

de 2 bilhões de dólares, a *startup* Oculus, prometendo oferecer ao mundo uma forma revolucionária de comunicação e entretenimento.

No século XX, a estereoscopia ganhou novo fôlego com o surgimento dos filmes Kodachrome. Em 1939, na feira internacional de ciências de Nova York, o fotógrafo William Gruber apresentou um novo dispositivo chamado View-Master (GRUBER, 1950), que possibilitava a visualização de fotografias dispostas em um disco. O Google e a Mattel recentemente anunciaram uma nova versão do View-Master voltada para o público infantil. Acoplado a um *smartphone*, esta versão *high-tech* do View-Master possibilita experiências de realidade virtual e realidade aumentada (Figura 3).

Na década de 1950, Morton Heilig desenvolveu um equipamento capaz de integrar todos os sentidos do espectador. O Sensorama (Figura 4), como foi bati-

Figura 2 – Estereoscópio de Holmes, 1861 (esq.). Google DayDream View, 2016 (dir.).



Fonte: HOLMES, 1859; GOOGLE, 2016.

Figura 3 – View-Master de 1950 (esq.). View-Master da Mattel, 2015 (dir.).



Fonte: VIEWMASTER, 2016.

zado, exibia imagens estereoscópicas juntamente com som estéreo, sensações de vento, aromas e inclinação do corpo, produzindo uma experiência de imersão até então inédita (RHEINGOLD, 1991).

Em 1960, o cientista americano Ivan Sutherland criou o Ultimate Display, um aparelho que possibilitou, pela primeira vez, a experiência de telepresença (PACKER, 2001). Ao acoplar um *head-mounted display* (HMD) a duas câmeras posicionadas na laje de um edifício, era possível movimentar a cabeça horizontalmente

Figura 4 – Sensorama: visão estereoscópica com tecnologia multissensorial.

Introducing . . .

sensorama

PATENTED

The Revolutionary Motion Picture System that takes you into another world with

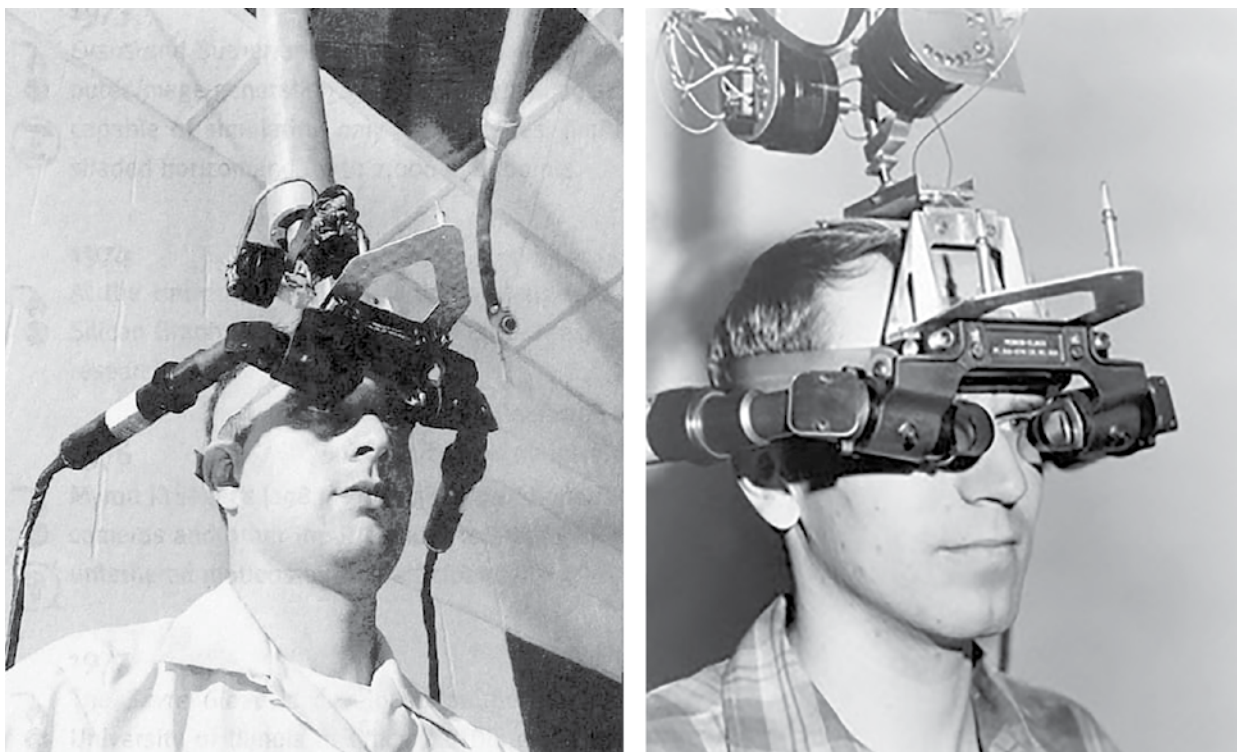
- 3-D
- MOTION
- STEREO-SOUND
- WIND
- WIDE VISION
- COLOR
- AROMAS
- VIBRATIONS

SENSORAMA, INC., 855 GALLOWAY ST., PACIFIC PALISADES, CALIF. 90272
TEL. (213) 459-2162



Fonte: www.mortonheilig.com.

Figura 5 – Ultimate Display, Sutherland, 1960 (esq.). Headsight, Philco Corporation, 1961 (dir.).



Fonte: SUTHERLAND, 1965.

para observar a parte externa do prédio (Figura 5).

Apenas um ano depois, Comeau e Bryan, funcionários da Philco Corporation, desenvolveram uma configuração de HMD que serviria de modelo para tudo o que seria feito até os nossos dias. Batizado de Headsight, ele contava com dois monitores CRT acoplados aos óculos e um sistema magnético de *tracking*, que permitia ao computador determinar os movimentos da cabeça.

Atualmente, a realidade virtual pode ser considerada a forma mais avançada de interface com o usuário de computador. Diferentemente de seus antecessores, a versão digital desta tecnologia permite ao usuário navegar e interagir em tempo real com um ambiente virtual, podendo fazer uso de dispositivos multissensoriais para atuação ou *feedback* (SHERMAN, 2003; TORI et. al., 2006). Graças às tecnologias desenvolvidas para dispositivos *mobile*, como o giroscópio, o acelerômetro, o magnetômetro, a correção de distorção das lentes e os *displays* OLED de alta resolução, gerenciados por *drivers* e *softwares* para execução em tempo real, os HMDs atuais possibilitam um nível de imersão nunca antes experimentado.

Devido ao aumento na capacidade de processamento dos computadores, ao desenvolvimento de algoritmos mais robustos para computação gráfica e da constante redução dos custos de fabricação, o ano de 2016 foi marcado pelo lançamento de dispositivos de RV de alto desempenho para o grande público. O custo de um equipamento de realidade virtual em 1994 nos EUA, por exemplo, era de cem mil dólares (RIVA, 2002). Atualmente, estão disponíveis dispositivos a partir de \$15,00, como é o caso do Google Cardboard (CARDBOARD, 2017).

Uma opção superior ao Google Cardboard, mas ainda assim de baixo custo, é o Daydream View, que custa \$79,00 e acompanha um dispositivo de entrada (controle remoto) para interação em tempo real com os AVIs (DAYDREAM VIEW, 2017). Há ainda os *headsets* intermediários em termos de especificações de *hardware*, como o PlayStation VR e o Samsung Gear VR (PLAYSTATION VR, 2017; GEAR VR, 2017). Por fim, há os dispositivos de categoria superior, como o Oculus Rift e o HTC Vive (Figura 6), que oferecem uma taxa de 90 quadros por segundo, 110 graus de campo de visão e resoluções de tela de 2160x1200 pixels (1080x1200 pixels por olho) (OCULUS RIFT, 2017; HTC VIVE, 2017).

Embora as melhores experiências ainda dependam de HMDs de custos mais elevados, a grande aposta para a popularização da realidade virtual está no uso

de *headsets* portáteis para *smartphones*. Por conta disso, segundo o The Statistics Portal (2015), a previsão é de que até 2018 haverá 171 milhões de usuários de realidade virtual pelo mundo.

Figura 6 – Oculus Rift (Oculus/ Facebook) (esq.). HTC Vive (Steam) (dir.).



Fonte: OCULUS, 2016; VIVE, 2016.

3.1.3 Ambientes Virtuais Imersivos (AVIs)

Ambientes virtuais dotados de recursos que permitam um maior senso de presença do usuário tais como elementos dinâmicos, adaptação do ambiente, simulações de física e partículas, agentes inteligentes e modelos comportamentais gerados por um motor de jogos, caracterizam os chamados ambientes virtuais imersivos e inteligentes (AVIIs) (AYLETT e LUCK, 2000; AYLETT e CAVAZZA, 2001).

Por não estarem sujeitos às limitações físicas do mundo real, ambientes virtuais possibilitam a ampliação dos sentidos e das capacidades dos usuários. Pode-se, por exemplo, observar eventos de frações de segundos em *slow motion*, ou acelerar o tempo para observar ocorrências e fenômenos muito lentos (TORI et al., 2006). É possível ampliar elementos microscópicos a ponto de tornar possível navegar por dentro de uma célula, bem como reduzir o sistema solar ao tamanho de uma mão.

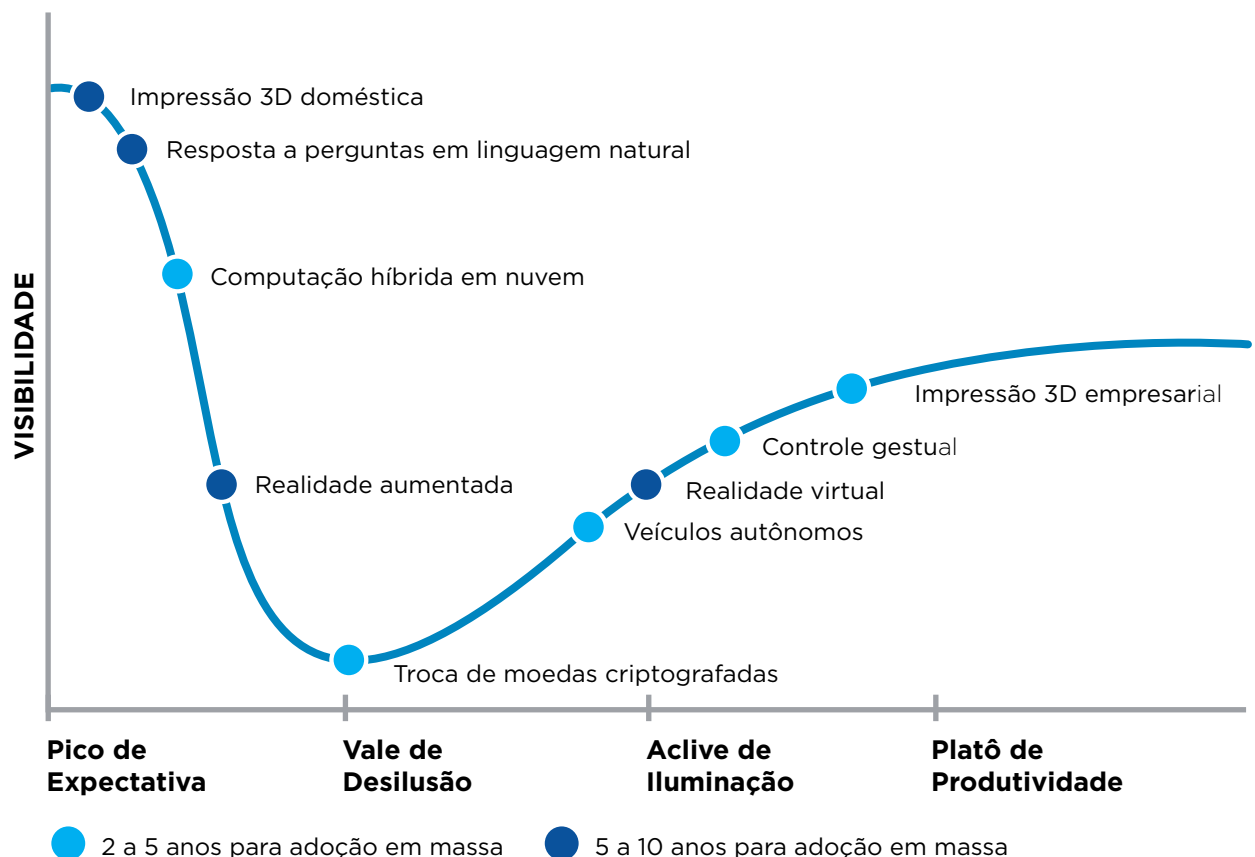
De forma geral, os AVIs possibilitam três formas diferentes de experiência: passiva, exploratória ou interativa (ADAMS, 1994). A experiência passiva ocorre quando o *software* conduz o usuário por um roteiro predefinido, sem possibilidade de interferência. Já a experiência exploratória permite ao usuário se deslocar livremente pelo ambiente virtual, escolher os pontos de observação e a duração

do passeio. A experiência interativa, por sua vez, proporciona uma exploração livre do AVI, bem como a possibilidade de interação com entidades contidas nele. Tais entidades (objetos, pessoas, veículos, etc.), quando ativadas pelo usuário, podem conter atributos de física, tais como peso, textura, resistência de materiais ou ainda desencadear eventos específicos, como um botão que abre uma porta ou um avatar que inicia uma conversa com o usuário.

3.1.4 A Realidade Virtual Hoje

A Gartner Inc., empresa de pesquisa e consultoria em tecnologia da informação, classifica a realidade virtual como uma das principais tecnologias disruptivas e comercialmente viáveis para a próxima década. Segundo a projeção divulgada em 2016 (Figura 7), a tecnologia de realidade virtual está deixando o chamado “vale de desilusão” — momento em que surgem dúvidas sobre sua viabilidade e ainda faltam soluções para problemas técnicos — e encontra-se agora no “active de iluminação”, onde produtos de segunda e terceira geração surgem com novas

Figura 7 – Ciclo de emergência de novas tecnologias.



Fonte: GARTNER, 2016.

soluções e as aplicações da nova tecnologia se ampliam. O gráfico da Figura 7 ainda indica que a realidade virtual deve chegar, entre 5 e 10 anos, ao “platô de produtividade”, onde a tecnologia realmente se consolida, tornando-se vantajosa para empresas e consumidores.

3.1.5 Aplicações da Realidade Virtual

Atualmente, a realidade virtual é utilizada em inúmeras áreas do conhecimento humano como a engenharia, as artes, a educação, o entretenimento, a medicina, a publicidade, o jornalismo, o design, arquitetura, entre outras.

No campo das artes visuais, a realidade virtual possibilita a criação de desenhos e pinturas em um espaço tridimensional, ao invés das superfícies bidimensionais tradicionais (TILT BRUSH, 2017). Os artistas podem disponibilizar suas obras digitais a usuários de realidade virtual de todo o mundo, que poderão imergir e interagir com seus trabalhos por meio de HMDs ou *headsets* para *smartphones* (DW, 2016; PEREIRA, 2016).

No cinema, já é possível assistir a filmes através de um HMD, como é o caso de *Star Wars: The Force Awakens* e de *The Martian* (STAR WARS, 2016; THE MARTIAN, 2017). Há ainda projetos em andamento que pretendem criar uma nova forma de contar histórias por meio da realidade virtual, através de técnicas de filmagem de histórias participativas (ELAYAT, 2016).

É possível explorar cidades através de imagens fotográficas aplicadas a modelos tridimensionais do Google Street View VR e do Google Earth VR (EARTH, 2017). Também é possível sobrevoar paisagens reais com o uso de um *drone* que transmite imagens em tempo real para o usuário no solo, por meio de um HMD (VR ONE, 2017).

No setor da comunicação e das redes sociais, em 2016, Mark Zuckerberg apresentou uma demonstração do Facebook Social VR, um aplicativo que possibilita a interação virtual entre usuários de redes sociais (ZUCKERBERG, 2016). Representados por avatares, os usuários podem conversar entre si, interagir simultaneamente com objetos 3D e viajar juntos para inúmeros locais do planeta e do espaço. Há também projetos para a transmissão de esportes e eventos de música ao vivo para dispositivos de realidade virtual (PRATA, 2016).

A realidade virtual também tem contribuído com o aperfeiçoamento do ensino nas escolas através de ambientes virtuais que simulam lugares e épocas distantes, como passeios pelo sistema solar, viagens à era dos dinossauros e a civilizações extintas, visitas a museus pelo mundo, demonstrações de fenômenos da física e da química, entre outras aplicações (NASA, 2016; VR MONKEY, 2015; MIT, 2013; YOU VISIT, 2017).

Na área do design, a realidade virtual tem sido cada vez mais incorporada no desenvolvimento de produtos. O designer pode trabalhar do *concept* à modelagem final totalmente imerso em um ambiente virtual (UE4 VR EDITOR, 2016). Na fase de validação, ele submete os *mockups* interativos à avaliação de sua equipe ou de usuários, que terão acesso ao protótipo por meio de HMDs. Incluem-se aí projetos automobilísticos, militares, arquitetônicos, da área médica entre outros (LOUKA, 2015; BAYART, 2015; VAN OOSTERHOUT, 2014; GASPERINI, 2010).

A área de jogos digitais para realidade virtual é, sem dúvida alguma, a que mais cresceu nos últimos anos. Em setembro de 2016, a loja de jogos Steam chegou à marca de 600 jogos e aplicativos para realidade virtual. No *ranking* dos melhores jogos, 30% são de realidade virtual (LANG, 2016). Devido ao alcance de um grande número de usuários, esta área tem sido a responsável pelos últimos aperfeiçoamentos de *hardwares* e *softwares* de RV. Mas ainda há desafios a superar, como o desconforto causado pelo uso prolongado de um HMD, além de disfunções oculares temporárias causadas pelos displays OLED muito próximos dos olhos (LEWIS, 2015; CRAWLEY, 2015).

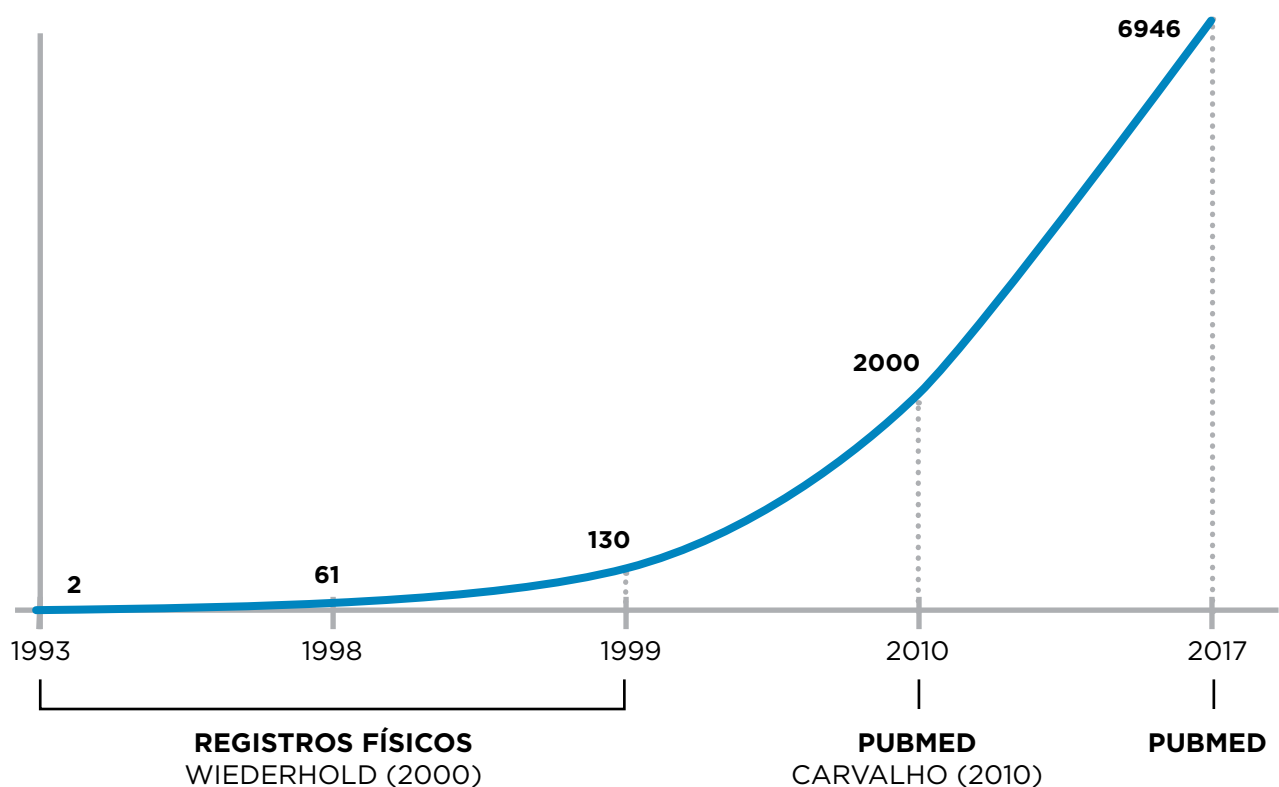
3.1.6 A Realidade Virtual na Psicologia

No campo da psicologia, a realidade virtual começou a ser estudada na década de 1990, quando Max M. North e seus colaboradores idealizaram o primeiro sistema de realidade virtual com propósitos terapêuticos (OPDYKE et al., 1995). North comprovou a eficiência da realidade virtual em psicoterapia, tendo conduzido tratamentos de exposição à realidade virtual em pacientes com acrofobia, aracnofobia, medo de viajar de avião e medo de falar em público. Estes experimentos deram origem a centenas de outros estudos que comprovaram a capacidade da realidade virtual de provocar alterações fisiológicas, psíquicas e somáticas simi-

lares às situações no mundo real (FREIRE et al., 2010). Pacientes fóbicos, quando expostos a um ambiente virtual, apresentam aumento da condutância da pele, da frequência cardíaca e do volume respiratório (Idem, 2010. p. 303). Através da exposição do paciente de forma gradual aos estímulos causadores de traumas, atinge-se um grau de dessensibilização e remissão dos sintomas.

Atualmente, há terapeutas que a utilizam para a reabilitação cognitiva, alcoolismo, transtorno de estresse pós-traumático e transtorno do pânico, com ou sem agorafobia (LEONCIO et al., 2016; CARVALHO, 2010). Há, ainda, inúmeros projetos em desenvolvimento ligados aos sentidos do tato e do olfato, que prometem ampliar ainda mais o espectro de atuação da realidade virtual (SCHMIDT, 2015). O interesse pela tecnologia de RV é apresentado no gráfico da Figura 8, onde se observa um crescimento expressivo no número de pesquisas na área da psiquiatria e da psicologia a partir dos anos 1990. Wiederhold (2000) demonstra que o crescimento se acentua a cada ano, no período que vai de 1993 a 1999. Carvalho (2010) prossegue com este levantamento até 2010, quando o número de estudos em relação à década anterior é 15 vezes maior. Atualmente, há 6.946 estudos médicos relacionados à RV no Pubmed.

Figura 8 - Número de estudos com RV na área da psiquiatria e da psicologia.

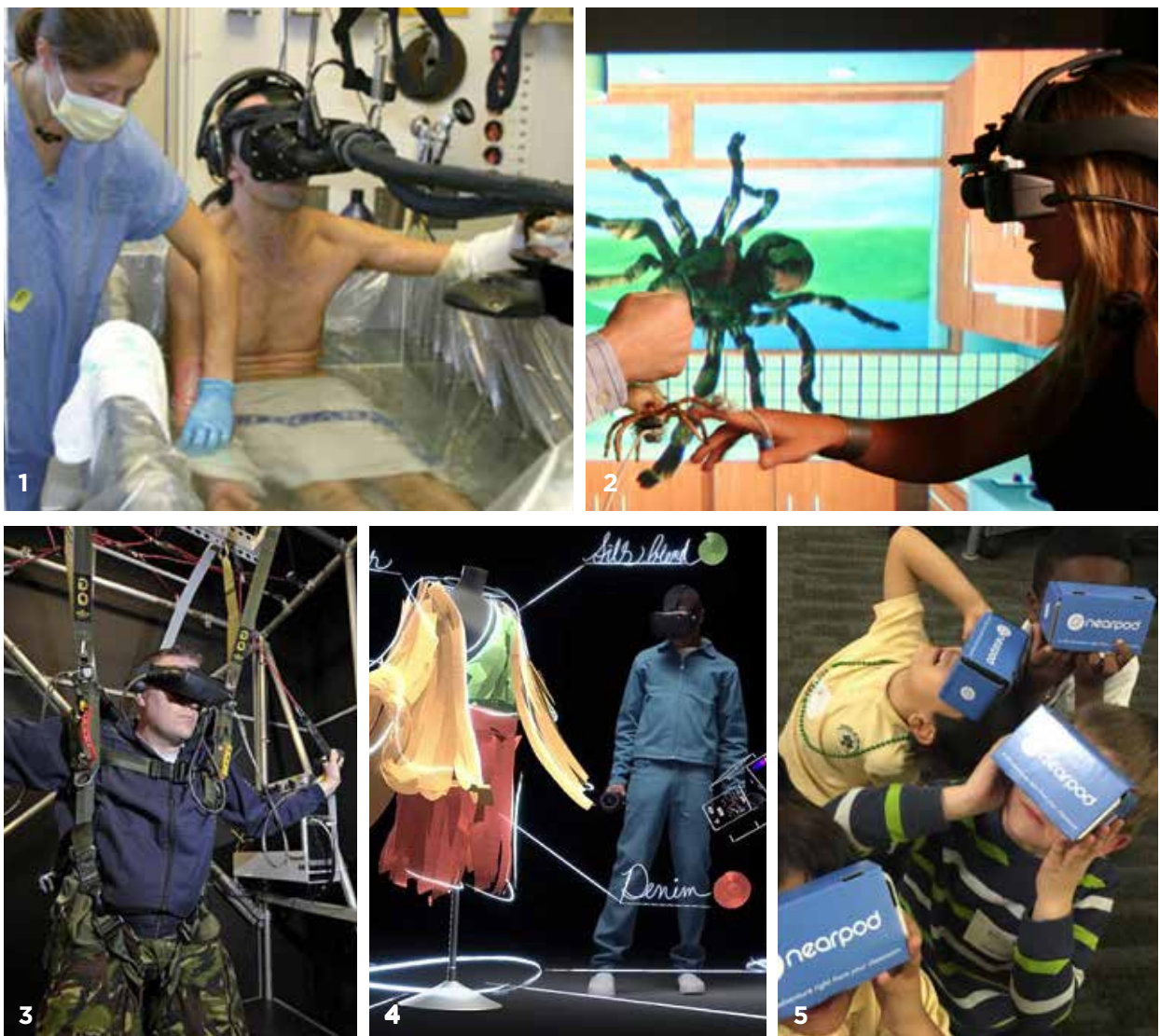


Fonte: Desenvolvido pelo autor, com base nos autores citados e no PubMed.

O presente estudo aborda especificamente o uso da realidade virtual para o tratamento do transtorno do pânico (TP) e agorafobia por meio da terapia de exposição (TE). As TEs são um tipo específico de terapia cognitivo-comportamental (TCC) voltadas ao tratamento do transtorno de estresse pós-traumático e fobias. Dentre as diversas técnicas da TCC, como as de respiração e relaxamento, a técnica de exposição é a mais eficaz para o tratamento do transtorno do pânico com agorafobia (SÁNCHEZ-MECA et al., 2010).

Considerando que os dispositivos de RV tornam-se cada vez mais poderosos e acessíveis a pesquisadores e ao público em geral, espera-se que a médio prazo, os benefícios desta tecnologia estejam disponíveis a milhões de usuários (Figura 9).

Figura 9 - RV aplicada na medicina, para o alívio da dor, na psicoterapia, para o tratamento de aracnofobia, no treinamento militar, no design de vestuário e na educação infantil.



Fonte: 1. HOFFMAN, 2011; 2. GANDEY, 2010; 3. REPORTER, 2011; 4: www.TILT BRUSH, 2017. 5: www.nearpod.com.

3.2 Realismo em Realidade Virtual

Esta seção tem como objetivo apresentar os conceitos de realismo multissensorial e de senso de presença, para, em seguida, delimitar o campo de estudo ao realismo visual, propondo sua definição, abordando seu papel na experiência do usuário de RV e elencando os requisitos de *hardware*, *software* e de design envolvidos em sua concepção. Tais dados servirão de base para o delineamento da metodologia que será utilizada no desenvolvimento dos AVIs deste estudo.

O grau de realismo de um ambiente virtual é um dos fatores que determinam o senso de presença do usuário. Para entender esta relação, é preciso, primeiramente, entender o conceito de presença, uma vez que esta é a principal forma de avaliar a interação do usuário com o AVI (PILLAI, 2013).

Presença é definida como a propensão do usuário em responder a estímulos virtuais como se eles fossem reais (SANCHEZ-VIVES & SLATER, 2005). Witmer e Singer (1994) definem presença como a experiência subjetiva de estar em um lugar quando se está em outro, fisicamente. A presença ocorre quando há a ilusão de não-mediação, ou seja, quando o usuário de realidade virtual não percebe a existência de uma mídia intercedendo entre ele e o ambiente virtual. Neste processo, o usuário aplica *inputs* no AVI, ao que este responde como se o aparato tecnológico não estivesse participando (LOMBARD & DITTON, 1997). Draper (1998) define presença como a percepção de “estar lá”, sendo esta sensação mensurável por meio de questionários de presença. Estas respostas podem ser verbais, comportamentais ou fisiológicas (alterações no ritmo cardíaco, condutância da pele e alterações no esforço respiratório, por exemplo).

O senso de presença descreve a intensidade com que o usuário se sente presente em um AVI (SLATER & WILBUR, 1997; SCHUBERT et al., 2001). Quanto mais realista for o ambiente virtual, mais realistas serão as reações dos usuários (FREEMAN et al., 2000; LOOMIS et al., 1999). É o senso de presença que assegura que o aprendizado alcançado dentro do AVI seja transferível para a vida do usuário no mundo real (SLATER et al., 2009).

Schubert e colaboradores (2001) identificam três principais fatores que determinam a presença: *presença espacial*, *envolvimento* e *realismo multissensorial*. *Presença espacial* é a capacidade de reação do AVI aos *inputs* do usuário, permi-

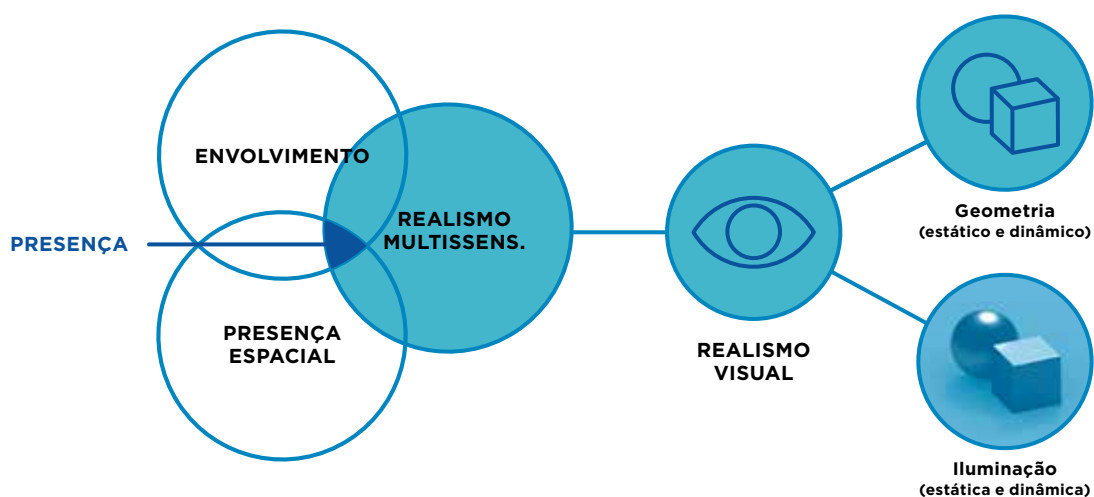
tindo que este o modifique (FLACH & HOLDEN, 1998). O usuário, ao movimentar a cabeça ou caminhar pela sala vestindo um HMD, tem seus movimentos reproduzidos pela simulação virtual como se fossem reais. O *envolvimento* ocorre quando os estímulos do AVI dominam a atenção do usuário a ponto de este não perceber as distrações do ambiente real. O envolvimento também pode ser intensificado de forma subjetiva, através de uma tarefa ou missão proposta pelo ambiente virtual, estimulando o engajamento do usuário. Por fim, o *realismo* abrange o conjunto de estímulos sensoriais capazes de mimetizar virtualmente o mundo real. É a capacidade de replicar fielmente as características espaço-temporais dos objetos, através da estimulação dos sentidos da visão, audição, tato, olfato e vestibular (DINH, 1999).

3.2.1 Realismo Visual

O realismo descrito por Schubert et al. (2001), engloba quatro estímulos sensoriais dentre os quais este estudo se limita a analisar apenas os estímulos visuais (Figura 10). Slater e seus colaboradores definem o realismo visual como uma variável constituída por dois componentes: *realismo geométrico* (o objeto virtual se parece com o objeto real) e *iluminação realista* (SLATER et al., 2009). Ambos os componentes possuem aspectos *estáticos* e *dinâmicos*.

Quanto ao *realismo geométrico*, um objeto pode parecer realista enquanto estiver estático, mas movimentar-se de maneira inverossímil irá comprometer todo o realismo visual percebido. Um automóvel virtual com modelagem e materiais

Figura 10 - Modelo conceitual do papel do realismo visual no senso de presença.



Fonte: Desenvolvido pelo autor com base em SCHUBERT (2001) e SLATER (2009).

realistas, por exemplo, pode não movimentar-se de maneira realista. Para garantir seu realismo dinâmico, é necessário que se aplique um comportamento baseado em física, determinando o peso da lataria e a resistência dos amortecedores. O mesmo cuidado é necessário com figuras humanas virtuais. Ao invés de animá-las manualmente, deve-se utilizar a captura de movimentos naturais (*bvh - biovision hierarchy*) como forma de alcançar o realismo geométrico dinâmico.

Quanto à *iluminação realista*, o comportamento da luz em um AVI pode ser corretamente estampado nos objetos de maneira estática, por meio de um processo chamado *baking lights* ou *light mapping*. Mas isso nem sempre é suficiente para garantir o realismo dinâmico da cena. Quando o usuário se desloca pelo ambiente, as sombras, brilhos e reflexos só serão realistas se movimentarem-se também, acompanhando o ponto de vista do observador, como ocorre no mundo real.

O realismo visual, portanto, pode ser definido como a correta representação das propriedades espaço-temporais (formas, texturas e materiais) dos objetos e de como elas se comportam sob a ação da luz. A literatura científica sobre o tema estabelece uma relação direta entre o realismo visual e o senso de presença, indicando que uma iluminação mais realística, com brilhos, sombras e reflexos dinâmicos promovem um senso de presença mais elevado, capaz de influenciar as emoções e o comportamento de usuários como se fossem estímulos do mundo real (BAILENSEN et al., 2006; BOWMAN, 2007; SLATER et al., 2009; YU, 2012; BENOIT et al., 2015; POPOVSKI et al., 2016). Os dispositivos de realidade virtual de alto desempenho disponíveis atualmente são capazes de calcular e reproduzir com fidelidade as formas, cores, texturas, brilhos, reflexos, sombras próprias e projetadas de objetos virtuais em um AVI, resultando em um alto grau de realismo e, conseqüentemente, em um maior senso de presença do usuário (Figuras 11, 12, 13).

O realismo visual é especialmente importante no caso de AVIs voltados à terapias de exposição (TEs), que são um tipo específico de terapia cognitivo-comportamental indicada para o tratamento do transtorno de estresse pós-traumático e fobias. Através da exposição do paciente de forma gradual aos estímulos causadores de traumas, atinge-se um grau de dessensibilização e remissão dos sintomas. São exemplos os tratamentos da síndrome do pânico, agorafobia, acrofobia, aracnofobia, entre outros. Além disso, o realismo visual é fundamental no caso de

treinamentos em simuladores de automóveis, de aviões ou de equipamentos cirúrgicos. Em tais casos, é imprescindível que o AVI tenha um alto grau de semelhança com o ambiente real para que a experiência adquirida virtualmente seja transferível para a vida do paciente.

Esta transferência torna-se possível porque, de acordo com Barrett e Bar (2009), as emoções participam da experiência do olhar, criando um histórico de memória afetiva. Quando se observa um objeto, é acessada uma representação do impacto afetivo que essas mesmas sensações visuais provocaram no passado. As experiências prévias com objetos servem de base para o cérebro prever como serão as sensações visuais no presente momento, incluindo decisões de como agir

Figura 11 - Jogo de realidade virtual para o Google DayDream View.

Figura 12 - Ambiente virtual da casa Barcelona Pavillion, de Ludwig Mies van der Rohe.

Figura 13 - Imagem fotográfica da casa original.



Figura 11: Fonte: ABSENTION, 2016. **Figuras 12 e 13:** UE4ARCH, 2016.

sobre elas no futuro próximo (BARRET e BAR, 2009).

Para que este efeito ocorra dentro da realidade virtual, é preciso que a representação visual do AVI seja altamente realista, uma vez que objetos virtuais que se parecem com objetos reais estabelecem uma relação direta com o histórico de memórias afetivas daquele objeto (BARRET e BAR, 2009), ressignificando as experiências prévias do usuário através de novas experiências positivas e preparando-o para uma rápida e natural adaptação quando confrontado com a situação real.

3.2.2 Senso de Presença em AVIs Não-Realistas

Como explicar, então, as experiências bem sucedidas com realidade virtual na década de 1990, quando Max M. North e sua equipe realizaram tratamentos de exposição à realidade virtual com uma qualidade gráfica bastante rudimentar, bem distantes do que o olho humano está acostumado a reconhecer como real? A eficiência destes AVIs deve-se ao fato de que o senso de presença, conforme apresentado por Schubert et al. (2001), ocorre pela interação de três fatores: *presença espacial*, *envolvimento* e *realismo tátil*, auditivo, olfativo e visual.

Nos experimentos de Max North (1995), o senso de presença dos pacientes

Figura 14 – Job Simulator: a presença espacial, o envolvimento e o realismo auditivo compensam o baixo realismo visual.



Fonte: JOB SIMULATOR (2016).

não estava ancorado no realismo visual, mas na presença espacial, no envolvimento e no realismo auditivo. Tais estímulos atuaram em conjunto para compensar a falta de realismo visual resultante das limitações tecnológicas da época. Isso também explica por que jogos digitais mais atuais, como o Job Simulator (2016), que possui um estilo visual cartunesco (*non-photorealistic rendering* - NPR), e portanto, com baixo realismo visual, são capazes de produzir senso de presença nos jogadores (Figura 14). Deve-se salientar que há situações em que o baixo realismo visual é preferível ao alto realismo visual. Quando o objetivo é transmitir conteúdos abstratos como conceitos da química, física, matemática ou biologia, por exemplo, por meio de infografias ou simulações de fenômenos naturais com objetivos educacionais. Para tais finalidades, o baixo realismo visual é ideal porque reduz a carga sensorial do signo e enfatiza a sua carga simbólica, estabelecendo uma comunicação mais direta e seletiva.

3.2.3 Realismo Visual: Requisitos de *Hardware*

As tecnologias de realidade virtual têm evoluído rapidamente devido aos investimentos bilionários das principais empresas do setor no desenvolvimento de novos *hardwares*. Por isso, ao investigar o realismo visual em computação gráfica, deve-se levar em consideração o seu caráter transitório, resultante do aperfeiçoamento tecnológico constante. Diante disso, foi feito um levantamento dos requisitos mínimos para a execução de aplicativos de realidade virtual atualmente, como forma de selecionar os parâmetros mais adequados para o uso de realismo gráfico em tratamentos de exposição com realidade virtual. Tais requisitos são apresentados a seguir.

3.2.3.1 Computador

Os principais HMDs do mercado, em termos de qualidade gráfica (Oculus Rift e HTC Vive), requerem placas de vídeo NVIDIA GeForce GTX 960, AMD Radeon RX 470 ou superiores, processadores Intel Core i3-6100, AMD FX4350 ou superiores, memória RAM mínima de 8GB, com entrada HDMI 1.3, duas entradas USB 3.0 e um sistema operacional Windows 7 SP1 ou superior. De acordo com Palmer Luckey, fundador da Oculus, a Apple ainda não possui computadores capazes de oferecer

uma experiência satisfatória em jogos de realidade virtual (PAUL, 2016). Isso só é possível por meio de uma placa de vídeo externa, acoplada ao iMac ou Macbook via portas *thunderbolts*. Assim, pode-se aumentar a performance do processamento de vídeo em até 5x em relação ao desempenho original (GARRET, 2016a).

A performance do computador é de suma importância para o realismo visual. Além da capacidade de renderizar imagens ricas em detalhes, uma alta performance também impede a ocorrência da *cybersickness*, que é um desconforto causado pelo uso de HMDs, desencadeado pela rotação da cabeça ou durante a caminhada dentro de ambientes virtuais. Este desconforto pode comprometer significativamente a experiência de um usuário de realidade virtual, chegando a provocar náusea durante ou após o uso prolongado do dispositivo. Estudos demonstram que a *cybersickness* influencia significativamente a avaliação afetiva de um AVI, devido à diminuição na agradabilidade atribuída à simulação (VAN DER SPEK, 2007). Por mais realista que seja o AVI, a *cybersickness* faz com que o cérebro não aceite o ambiente virtual como simulacro do mundo real, interrompendo o senso de presença.

Tal distúrbio perceptivo pode ser resultante de problemas técnicos inerentes aos dispositivos de realidade virtual, como a renderização do cenário com uma baixa taxa de quadros por segundo. Assim, ao rotacionar a cabeça ou locomover-se pelo ambiente virtual, o atraso na renderização pode causar fortes discrepâncias perceptuais (KEMENY, 2001). Pequenos *delays* podem induzir à náusea inerente a conflitos visuo-vestibulares, ou seja, discrepâncias percebidas entre os sistemas visual e vestibular humanos, onde as rotações não são percebidas pelo ouvido interno. Além disso, movimentos de translação e rotação são percebidos por diferentes órgãos no sistema vestibular: os otólitos para movimentos lineares e aceleração angular e os canais semicirculares, sensíveis à rotação (BERTHOZ, 2002).

A estabilidade postural também é mencionada em alguns estudos de caso como tendo possível relação com a *cybersickness* (RICCIO, 1991). Principalmente em usuários passivos, que não estejam dirigindo o veículo e, portanto, não são responsáveis pelas mudanças de trajetória e aceleração do veículo – como no caso dos simuladores de metrô e ônibus – os efeitos da *cybersickness* podem ser agravados (KEMENY, 2003).

Uma outra variável fisiológica a ser levada em conta é a velocidade do re-

flexo vestibulo-ocular, que é responsável pela fixação do olhar e atua numa velocidade aproximada de 20ms (BERTHOZ, 2002). Assim, durante movimentos com a cabeça, é necessário garantir uma taxa de quadros suficiente para não provocar atraso no reflexo vestibulo-ocular. A documentação dos principais *softwares* de criação de jogos do mercado (UE4, BGE, Cryengine e Unity) preconiza uma taxa de 60 FPS (frames por segundo) como configuração mínima para se evitar efeitos indesejados nos usuários. Atualmente, há dispositivos que trabalham numa taxa de 90Hz.

Pesquisas promissoras apontam para a eliminação da *cybersickness* via *hardware*. É o caso do HMD baseado em um sistema que cria imagens tridimensionais semelhantes a hologramas em cada lente, gerando experiências de uso mais satisfatórias. A nova tecnologia, desenvolvida pela parceria entre Nvidia e a Universidade de Stanford (EUA), pretende criar uma nova geração de HMDs que deixem de lado a simulação tridimensional convencional em favor de uma simulação baseada em duas telas OLED para cada lente, dispostas em camadas, onde cada imagem oferece mais pontos de referência focal, com mais detalhes de profundidade e uma variação nos pontos focais de cada elemento exibido pelo *headset*. A interpolação entre as duas telas constrói uma imagem tridimensional mais próxima da experiência da visão no mundo real, capaz de iludir o cérebro e evitar o cansaço e o enjoo após o uso prolongado de HMDs (HUANG, 2015).

3.2.3.2 Head-Mounted Display (HMD)

Graças às tecnologias desenvolvidas para dispositivos *mobile*, como o giroscópio, o acelerômetro, o magnetômetro, a correção de distorção das lentes e os *displays* OLED de alta resolução, gerenciados por *drivers* e *softwares* para execução em tempo real, os HMDs atuais possibilitam um nível de imersão nunca antes experimentado.

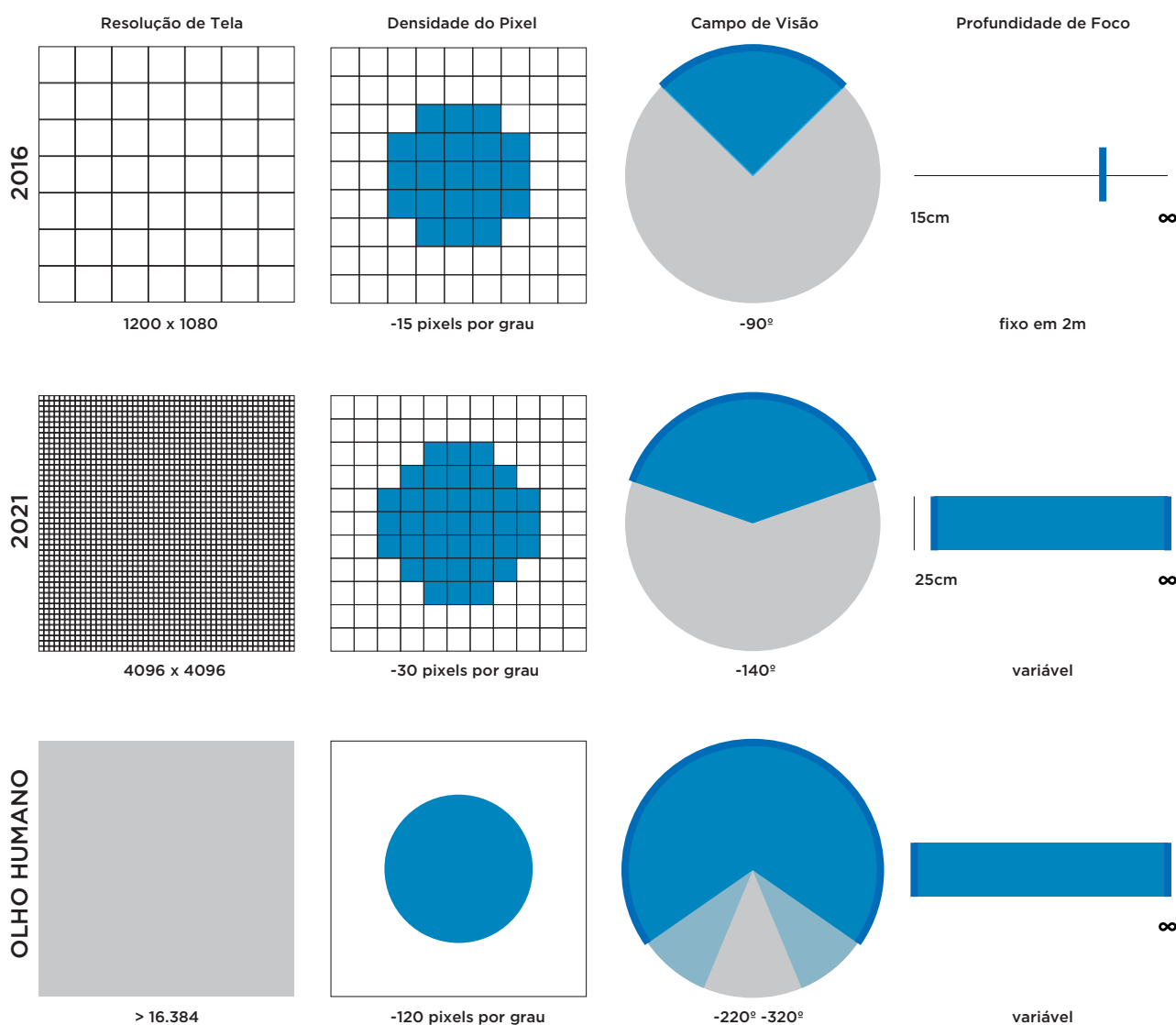
O ano de 2016 foi marcado pelo lançamento, para o grande público, de HMDs de alto desempenho, até então circunscritos aos laboratórios de universidades, de grandes empresas e do exército. Destacam-se o Oculus Rift, da Oculus/ Facebook e o HTC Vive, da produtora de jogos Steam (Figura 6, p. 19). Ambos os dispositivos oferecem um ângulo de visão de 110°, possibilitando a visão periférica responsável pela correta percepção da velocidade e da aceleração. Contam com monitores

OLED com resolução de 2160x1200 pixels, com cerca de 15 pixels por cada grau do campo de visão, uma profundidade de foco fixo em 2 metros e uma taxa de quadros de 90Hz.

De acordo com Michael Abrash, o olho humano é capaz de assimilar cerca de 120 pixels por grau, possui entre 220 e 320 graus de campo de visão, e uma profundidade de foco variável. É possível observar, na Figura 15, que há uma enorme defasagem entre a tecnologia atual e a capacidade do olho humano.

Segundo Raja Koduri, executivo da fabricante de processadores Radeon AMD, a realidade virtual só será realmente imersiva quando for capaz de exibir gráficos com resolução de 16K (16.384 pixels) a taxas de 240 quadros por segundo (GARRET, 2016b). Estas configurações dariam aos HMDs a capacidade de simular

Figura 15 – Capacidade gráfica de HMDs comparada à capacidade do olho humano.



Fonte: OCULUS CONNECT 3, 2016.

imagens tão próximas à realidade a ponto de se tornar difícil para o usuário dissociar o virtual do real. Atingir esses parâmetros técnicos pode levar décadas e não é possível definir datas, já que depende de investimentos pesados em *hardware* e em algoritmos robustos.

A seção que segue se propõe a identificar e descrever o estado da arte das tecnologias de produção de realismo visual, com o objetivo de delinear parâmetros objetivos que possibilitem a desenvolvedores criarem ambientes virtuais visualmente realistas.

3.2.4 Realismo Visual: Requisitos de *Software*

A evolução tecnológica impactou positivamente a organização do trabalho de desenvolvimento de jogos digitais. Um dos maiores exemplos disso é a técnica de programação por meio de *blueprints* ou *visual scripts* disponibilizada pelos principais *softwares* do mercado, que possibilita escrever linhas de código de uma maneira visual e intuitiva, beneficiando *designers* e outros profissionais que não sejam da área de TI. Desta forma, a criação de jogos se popularizou entre desenvolvedores individuais e pequenas equipes independentes, ao invés de permanecer restrita aos grandes estúdios de criação.

Existem diversos *softwares* que fazem parte do fluxo de trabalho de desenvolvimento de jogos para realidade virtual, como a Cry Engine, Unreal Engine 4, Unity, Blender, Autodesk Maya, 3D Coat, Substance Designer, Quixel, Mudbox, Photoshop e Gimp. Estes *softwares* compartilham recursos que possibilitam a criação de objetos virtuais realistas, que caracterizam os chamados jogos *next-generation*. *Softwares* de código aberto ou gratuitos têm destaque entre os desenvolvedores, como o *software* de modelagem tridimensional Blender (www.blender.org) e a *game engine* Unreal Engine 4 (www.unrealengine.com). A Unreal Engine 4 passou a oferecer suporte nativo para o desenvolvimento de aplicações para HTC Vive e Oculus Rift a partir de sua versão 4.13, de outubro de 2016.

Nos próximos tópicos, são apresentados os recursos disponibilizados pelos principais *softwares* de desenvolvimento do mercado.

3.2.4.1 Modelagem

Além dos fatores ligados ao *hardware* discutidos no capítulo anterior, o designer

deve tomar algumas medidas para evitar a *cybersickness* durante o desenvolvimento do AVI em *softwares* de modelagem 3D. Primeiramente, deve-se utilizar uma escala de 1:1 na modelagem tridimensional dos objetos. Isto induzirá não só a uma correta percepção das distâncias e das dimensões dos objetos, como também à correta percepção da velocidade e da aceleração durante o deslocamento, elementos cruciais para uma total imersão (LOOMIS, 2003).

Em aplicativos desenvolvidos para o grande público, é recomendado o uso de modelos *low poly* (com baixa contagem de vértices) ao invés de modelos *high poly*. Nestes casos, o nível de detalhamento das superfícies deve ser alcançado pelo uso de *normal* e *parallax mappings* (Figura 13). Para aplicativos de uso restrito a laboratórios, que serão executados em computadores com configurações de alto desempenho, modelos *high poly* podem ser utilizados, não só quando o modelo 3D for uma malha estática, mas também para modelos animados. Aconselha-se analisar cada caso individualmente, por meio de testes para avaliar se a taxa de quadros por segundo se mantém acima de 90FPS.

3.2.4.2 Texturização

Há dois tipos de texturas: as que serão visíveis como relevos e as que serão visualizadas como cores. Texturas para relevos podem otimizar modelos tridimensionais que tenham uma contagem de vértices elevada. Estes modelos demandam uma capacidade de processamento muito alta, que inviabilizaria a execução de ambientes complexos em computadores de desempenho mediano. Para contornar este problema, os mapas normais (*normal mapping*, técnica de renderização para texturas que serão visualizadas como relevos) substituem os vértices de um modelo por imagens *bitmap*, reduzindo a demanda por processamento. Esta técnica é ideal para a visualização de AVIs em telas de celulares e monitores, mas perdem seu efeito quando utilizadas em dispositivos de realidade virtual devido às lentes estereoscópicas.

Diante disso, em 2001, Tomomichi Kaneko desenvolveu uma técnica derivada da *normal mapping*, a *parallax mapping* (também conhecida como *offset mapping*), capaz de manter o efeito tridimensional de relevos mesmo em HMDs (CHALK, 2015), devendo ser sempre utilizada por desenvolvedores que buscam realismo gráfico em AVIs.

Com relação às texturas que serão visualizadas como cores, tais como texturas de madeira, pedra, concreto e têxteis, é recomendada a utilização de imagens fotográficas aplicadas sobre modelos 3D. Tais imagens podem ser encontradas em sites de bancos de imagens, como o www.textures.com. Outra opção altamente recomendada é o uso de programas como o 3D Coat e o Substance Designer para ilustrar digitalmente texturas fotorrealísticas com renderização baseada em física.

3.2.4.3 Materiais

Renderização é o processo de geração de uma imagem de um modelo bi ou tridimensional por meio de *softwares* gráficos. No caso de simulações de ambientes virtuais, os *softwares* devem produzir uma imagem bidimensional (para visualização em monitores) a partir de modelos tridimensionais armazenados em arquivos. Devido à complexidade de processamento da equação de renderização, um dispositivo de renderização tal como GPU (*Graphics Processing Unit*) pode ser utilizado para auxiliar a CPU no processamento dos cálculos complexos (MEDINA et al., 2015).

As tecnologias de renderização em tempo real baseadas em física redefiniram a indústria da computação gráfica na última década. Renderizações do tipo *physically-based rendering* (PBR) trouxeram aprimoramentos em termos de renderização de luzes e superfícies que rapidamente tornaram-se *standards* na produção de filmes, animações e jogos digitais, devendo ser sempre empregadas por desenvolvedores de AVIs com alto grau de realismo gráfico.

3.2.4.4 Iluminação

Há dois tipos de iluminação para jogos digitais: estática e dinâmica. A iluminação estática é produzida gravando-se nas texturas dos objetos os efeitos da luz ambiente, por meio de um processo chamado *baking lights*. Mas ela não suporta mudanças da localização da fonte de luz nem sofre o efeito de lâmpadas em movimento. Assim, a iluminação do tipo dinâmica é ideal quando o objetivo é produzir realismo visual. Além da movimentação dos feixes de luz, seu dinamismo produz efeitos bastante convincentes de luzes e sombras projetadas. Sua utilização deve levar em conta a configuração de *hardware*, demandando alta capacidade de processamento e memória. Efeitos de neblina e pós-produção também podem ser utilizados para alterar a iluminação atmosférica da cena.

3.2.5 Realismo Visual: Requisitos de Design

A primeira parte desta seção se propõe a investigar os processos cognitivos envolvidos no ato de observar o mundo real (através de referências fotográficas, de vídeos ou *in vivo*) a fim de reproduzi-lo virtualmente com alta fidelidade. A habilidade de observar é desenvolvida durante a formação acadêmica do designer por meio das disciplinas de desenho de observação. Assim, o que pretende-se aqui é demonstrar a importância do designer em equipes de desenvolvimento de AVIs visualmente realistas, uma vez que, mesmo cumprindo com todos os requisitos de *hardware* e *software*, não é possível produzir realismo visual sem o domínio da observação. A segunda parte desta seção apresenta um levantamento teórico no campo do design a respeito dos efeitos dos estímulos visuais sobre as emoções e comportamentos de usuários. Estes dados servirão de guia para as decisões projetuais empregadas no desenvolvimento dos AVIs deste estudo com o objetivo de criar dois graus de dificuldade diferentes: um para pacientes iniciantes, outro para pacientes experientes.

3.2.5.1 Desenho

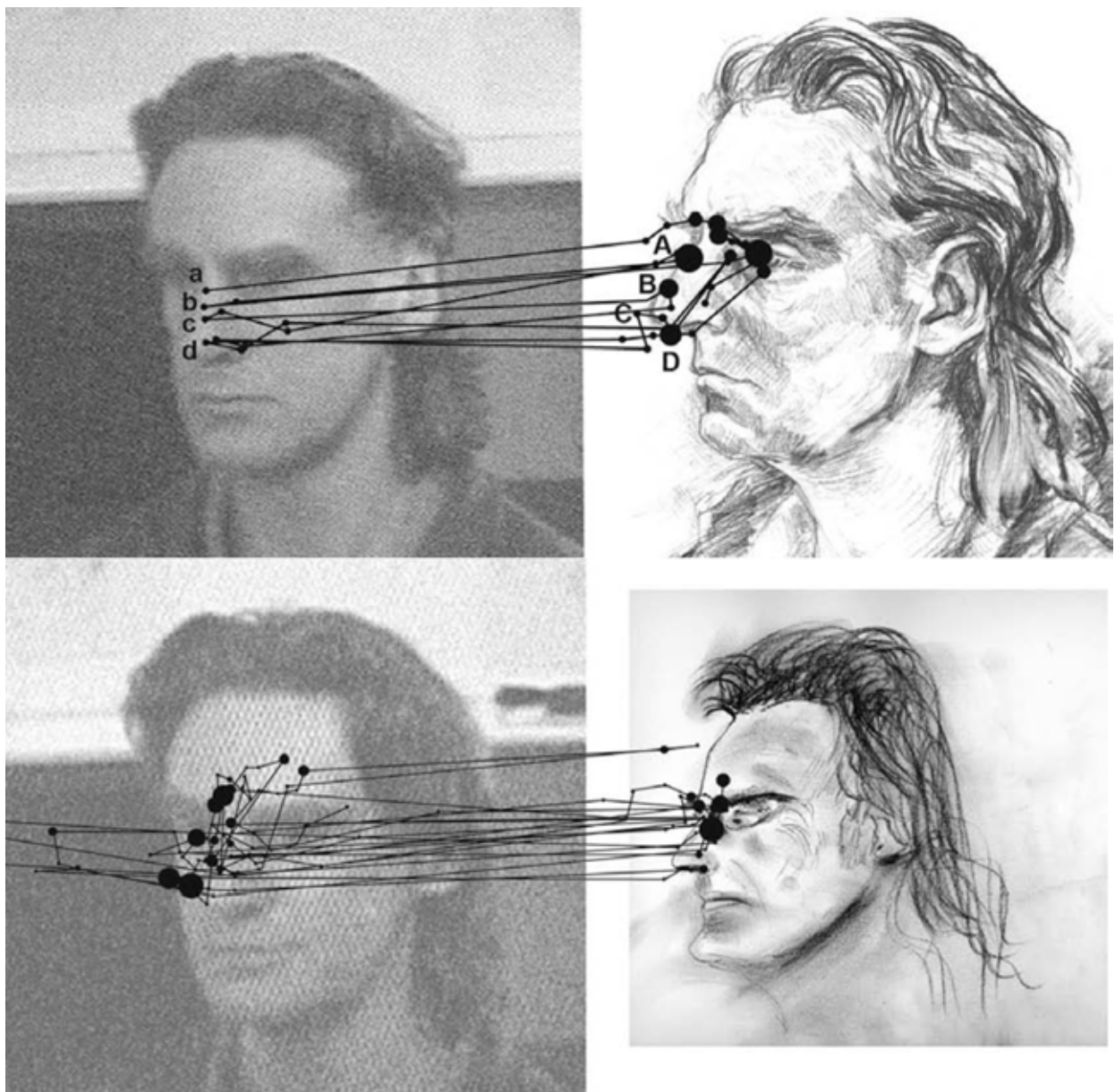
O surgimento dos jogos eletrônicos remonta a meados do século passado, nos laboratórios de pesquisa de cientistas da computação, como Alexander S. Douglas e William Higinbotham (ARANHA, 2004). A figura do designer como membro da equipe de desenvolvimento de jogos surgiu mais recentemente e foi se consolidando gradualmente, juntamente com os avanços na área da computação gráfica. Ainda assim, é possível desenvolver aplicações de realidade virtual por meio de linguagens de programação como C#, C++ e Javascript, e, por isso, é bastante comum que grupos de pesquisa científica utilizem AVIs inteiramente desenvolvidos por profissionais da área de TI (Tecnologia da Informação).

Mas quando se trata do desenvolvimento de ambientes virtuais visualmente realistas, a atuação do designer na equipe de desenvolvimento torna-se imprescindível. Além do domínio técnico das ferramentas e de uma base teórica consistente em matéria de percepção visual, há o fato de que a formação acadêmica do designer inclui disciplinas de desenho de observação. Segundo Nakata (2011), o designer que domina o desenho possui uma percepção visual mais desenvolvida e terá

“controle sobre as suas criações, articulando as suas ideias visuais, desenhando-as com as formas e proporções corretas”.

Saber desenhar é, antes de tudo, saber observar (NAKATA, 2011; EDWARDS, 2002). O ofício do desenho demanda uma atividade intensa não só das mãos, mas também dos olhos do artista. Estudos indicam que desenhistas experientes produzem cópias exatas de referências fotográficas, enquanto desenhistas novatos produzem cópias imprecisas na escala, nas proporções e nas formas do desenho, devido a uma capacidade de observação menos desenvolvida (TCHALENKO, 2009; COHEN, 2005). Desenhistas de retratos, por exemplo, apresentaram uma

Figura 16 – Movimentos dos olhos de um desenhista experiente (acima) e de um desenhista novato (abaixo), durante o desenho do nariz de um modelo vivo.



Fonte: TCHALENKO, 2009.

capacidade de discriminação perceptiva visual mais refinada de imagens de rostos, quando comparados ao grupo de controle (DEVUE, 2016).

A precisão do desenho realista, por sua vez, está relacionada não só às habilidades de discriminação perceptiva, mas também à frequência com que os olhos se movem. Tchalenko (2009) demonstrou em seu estudo que desenhistas novatos consultam a referência fotográfica por longos períodos e, em seguida, executam traços sucessivos sem fazer novas consultas, o que acaba gerando imprecisões. Já os desenhistas experientes movimentam os olhos repetidas vezes entre a referência e o desenho. Produzem traços breves e curtos para rapidamente voltarem a consultar a referência. Por utilizarem a memória de trabalho visuoespacial de curto prazo, preservam todos os detalhes e nuances da referência, resultando em um traçado mais preciso (TCHALENKO, 2009). Isto pode ser observado na Figura 16, que descreve o movimento dos olhos registrados por um *eye-tracker*, onde os pontos A, B, C e D foram desenhados por um desenhista experiente com base nos pontos a, b, c e d da referência, à esquerda.

3.2.5.2 Psicologia da percepção

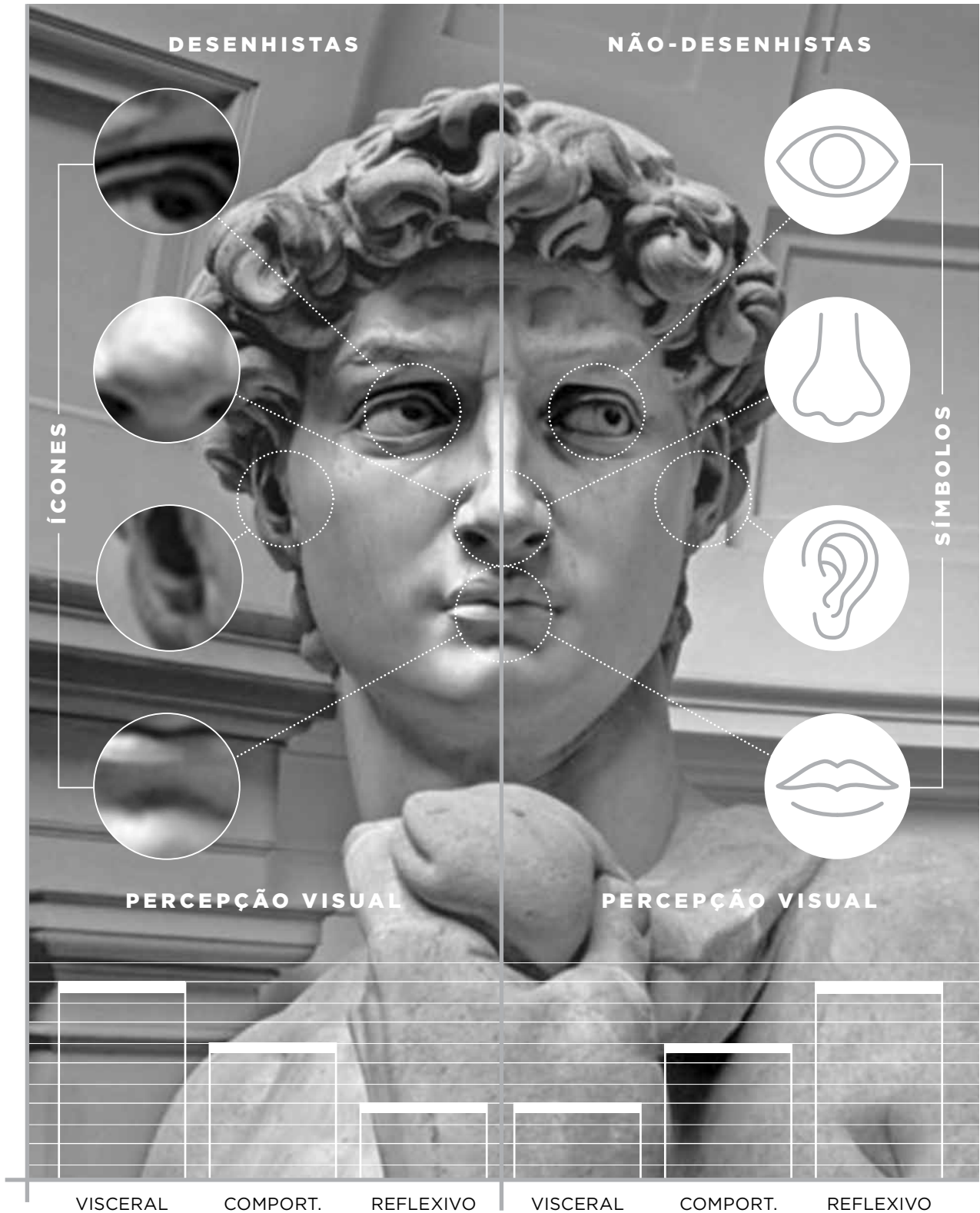
Do ponto de vista da psicologia da percepção, podemos dizer que desenhistas não observam o mundo da mesma maneira que os não-desenhistas. A semiótica nos fornece conceitos bastante adequados para explicar este fenômeno perceptivo. Nos termos da semiótica peirceana, desenhistas desenvolvem a habilidade de enxergar referências fotográficas (signos predominantemente indiciais) como ícones ou quali-signos. Observar uma fotografia em sua natureza icônica é acessar o signo antes de sua existência indicial ou simbólica, através de uma contemplação estritamente sensorial de sua conformação visual. A referência fotográfica é observada como um signo puro, que não se refere à nada além de si mesmo: um conjunto abstrato de cores e formas.

Em outras palavras, o desenhista que observa a referência fotográfica de um rosto não enxerga olhos, nariz ou boca, mas sim as formas naturais e abstratas que o constituem: linhas, ângulos, curvas, texturas diversas, massas de cores e degradês (Figura 17). Nos termos da escola de semiótica visual de Paris e Liège, o caráter figurativo da referência fotográfica é deixado de lado em favor da contemplação não-figurativa de padrões eidéticos e padrões cromáticos (formas e

cores) (EDELIN et al., 1992).

A habilidade que desenhistas desenvolvem de alterar a categoria do signo observado pode ser explicada por meio dos estudos sobre psicologia cognitiva de

Figura 17 - Signos visuais percebidos por desenhistas e não-desenhistas. Abaixo do gráfico: padrões cognitivos envolvidos na observação de uma referência fotográfica.

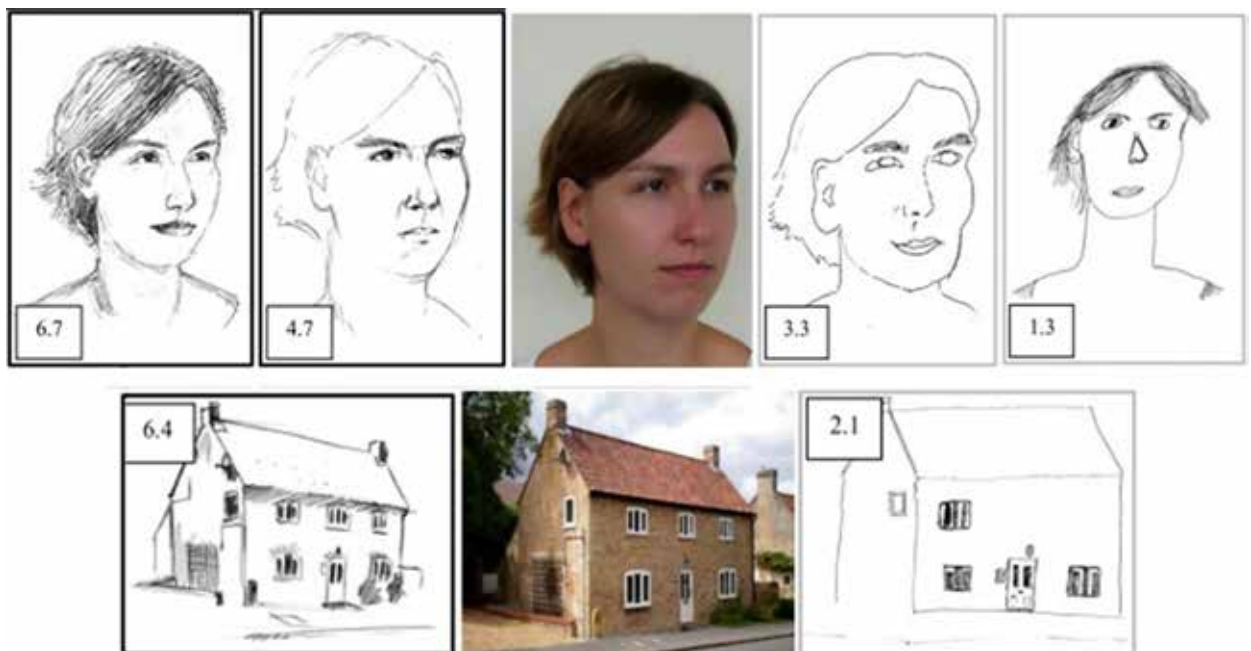


Fonte: Desenvolvido pelo autor sobre fotografia da galeria da Academia de Belas Artes de Florença.

Donald Norman. Segundo Norman (2004), nossa interação com imagens e objetos é mediada por três níveis de percepção: visceral, comportamental e reflexiva. O nível visceral é o mais primitivo dos três, sendo sensível à aparência imediata das coisas. Neste estado cognitivo, o observador tem uma experiência puramente sensorial, apenas reagindo às propriedades físicas do que é observado. Um observador em nível visceral é capaz de classificar algo como belo ou feio mas é incapaz de dizer o porque, já que o nível visceral é anterior à reflexão. O segundo nível, comportamental, está relacionado às experiências operacionais e o nível reflexivo é o nível da intelectualidade, que atribui significados ao que é observado.

Os três níveis coexistem em toda experiência cotidiana, mas há sempre a predominância de um deles, dependendo da atividade em execução. Produzir desenhos realistas a partir de referências fotográficas, por exemplo, demanda um estado mental altamente visceral, um nível comportamental moderado e uma baixa atividade reflexiva (Figura 17). Caso o nível reflexivo prevaleça, o desenhista enxergará signos simbólicos ao invés de icônicos, resultando em uma representação imprecisa. É como se o observador se rendesse ao que sua mente diz e se mantivesse alheio à referência fotográfica. Neste caso, as instruções para o desenho não virão de fora, da referência, mas de dentro, da mente repleta de símbolos consolidados na memória. Como exemplo disso, a Figura 18 apresenta uma série

Figura 18 – Desenhos de artistas (esq.) e do grupo de controle (dir.).



Fonte: DEVUE & BARSICS, 2016.

de desenhos feitos por desenhistas e não-desenhistas. Os desenhos à esquerda foram feitos por artistas e os da direita pelo grupo de controle. Notas de 1 a 7 foram atribuídas a cada desenho por 12 juízes independentes e a média das notas está ao lado de cada desenho. Nos desenhos do grupo de controle encontramos traçados longos e bastante imprecisos. Percebe-se também uma tendência em retratar formas prontas para os olhos, nariz, pescoço, boca e contorno dos olhos. O mesmo ocorre com o desenho da casa, à direita, que ignora a perspectiva da referência fotográfica devido ao pensamento racional de que telhados e paredes de casas são paralelos à linha do horizonte. Já nos desenhos feitos por artistas há uma maior correspondência com a referência devido ao uso adequado de técnicas de observação.

A capacidade de manter-se em um estado mental de nível visceral pode ser desenvolvida por meio do treinamento com técnicas de desenho específicas. Durante o aprendizado, o aluno é apresentado a exercícios que lhe permitem alfabetizar o olhar (NAKATA, 2011). Artifícios como o de desenhar os espaços em branco de uma figura (desenhar o fundo ao invés da figura) e virar a referência de cabeça para baixo são maneiras eficientes de provocar um estranhamento com relação a formas já conhecidas (EDWARDS, 2001). O pontilhismo e o desenho em negativo (lápis branco sobre papel preto) também são técnicas eficientes de desmecanizar o olhar (NAKATA, 2012; KAWAUCHI, 2016), uma vez que exigem do desenhista um foco voltado às formas abstratas, no caso do pontilhismo, e às variações tonais abstratas, no caso do desenho em negativo.

3.2.5.3 Estudo de caso

A Figura 19 apresenta um exemplo de como deficiências na observação da referência fotográfica podem comprometer o realismo de ambientes virtuais. Kuliga e seus colaboradores (2015) desenvolveram uma réplica virtual de um edifício real com o objetivo de comparar o desempenho de 30 participantes durante a execução de tarefas similares nos dois ambientes. As duas imagens à esquerda apresentam as salas reais e à direita estão os ambientes virtuais criados pela equipe de desenvolvimento.

As reproduções virtuais são bastante equivalentes do ponto de vista simbólico/ reflexivo: a localização e as dimensões dos elementos (mobiliário, objetos

decorativos e letreiros) correspondem à referência senão exatamente, de maneira satisfatória. Mas do ponto de vista das propriedades físicas dos materiais (icônico/visceral), nota-se que as cores e os efeitos da iluminação sobre as paredes e móveis foram completamente ignorados.

As paredes, além de não estarem representadas com as cores da referência, ainda possuem degradês simulando um sobreamento estático. Um material opaco foi atribuído à porta azul de metal, eliminando os brihos e os reflexos que a referência apresenta. O piso, o teto e as cadeiras não possuem sobreamento, por não sofrerem a ação da iluminação ambiente. Todas estas discrepâncias resultam em um ambiente com uma atmosfera diferente da real, o que reduz o senso de presença e altera a experiência dos usuários, podendo comprometer os resultados da pesquisa. É importante destacar que os autores descrevem o ambiente virtual da Figura 19 como “visualmente realista” e “altamente detalhado” (KULIGA et. al., 2015, p. 365). O que sugere que os critérios para a definição do realismo visual ainda são bastante vagos para profissionais de outras áreas, o que pode acarretar em problemas de comunicação entre os membros de grupos multidisciplinares de pesquisa.

Figura 19 – Referências fotográficas (esq.), ambiente virtual tridimensional (dir.).



Fonte: KULIGA et al., 2015.

3.3 Design e Emoção

Em uma equipe de desenvolvimento de ambientes virtuais, o designer é o profissional que atua para que todos os elementos visuais que compõem a cena sejam portadores de uma função. A intencionalidade com que ele gerencia tais elementos é o que diferencia a atividade projetual do designer de uma mera representação da realidade, esta última ausente de outra intenção senão a de retratar mecanicamente a aparência das coisas (NAKATA & SILVA, 2013).

Trabalhar com realidade virtual possibilita ao designer superar o mundo real, uma vez que ambientes virtuais não estão sujeitos às suas limitações físicas e financeiras. Além de cumprir com os requisitos técnicos para a criação de ambientes virtuais visualmente realistas, o designer deve gerenciar todos os objetos da cena de forma a intensificar ou atenuar seus efeitos emocionais sobre os usuários, de acordo com os objetivos da pesquisa.

Se o objetivo da terapia é provocar ansiedade em um ambiente controlado como método de dessensibilização do paciente, o designer pode potencializar este efeito através das escolhas que fará ao dispor os objetos no espaço virtual e ao definir suas formas, texturas, materiais e iluminação. Trata-se de não apenas concentrar seus esforços na criação das características individuais dos objetos, mas também de planejar o contexto que os envolve e a interação entre eles (BÜRDEK, 2010). Para o designer, “o todo é mais do que a soma de suas partes”, conforme nos lembra Ehrenfels (KÖHLER, 1947). Isto pode ser exemplificado por meio da melodia musical: ela é composta de inúmeras notas individuais, mas o seu efeito só se dá com a unidade entre elas (BÜRDEK, 2010).

Assim, esta seção apresenta uma revisão bibliográfica no campo da percepção visual no design e na arquitetura, que servirão de base teórica para as decisões projetuais empregadas no desenvolvimento dos ambientes virtuais deste estudo.

3.3.1 Do ambiente real para o virtual

Baseando-se no fato de que a realidade virtual é capaz de induzir reações emocionais análogas às daquelas do mundo real, este capítulo propõe a transferência de abordagens teóricas validadas em ambientes reais para os ambientes virtuais

que serão desenvolvidos aqui. Desde o final do século passado, pesquisas em design têm integrado importantes contribuições das ciências da computação, psicologia cognitiva e neurociência, aumentando a nossa compreensão dos aspectos emocionais relacionados a objetos, principalmente aqueles voltados à satisfação dos usuários na interação com produtos (NORMAN, 2008). Estes estudos demonstram a influência das emoções na maneira como pensamos e agimos (KRIPPENDORF, 1995; DAMÁSIO, 2000; DESMET, 2005).

A usabilidade dos sistemas, por exemplo, define os fatores que garantem benefícios emocionais ao usuário, como a efetividade (quando o usuário consegue realizar a tarefa proposta), a eficiência (quantidade de esforço necessário) e a satisfação (nível de conforto no uso) (SANTOS e MAIA, 2005). A visibilidade, a apropriação do campo visual e a qualidade do ambiente físico também contribuem para o bem-estar do usuário de interfaces (BAXTER, 2011). Além disso, objetos esteticamente agradáveis favorecem um melhor desempenho do usuário, ao passo que objetos que desencadeiam emoções negativas dificultam esta interação (KUROSU e KASHIMURA, 1995).

Algumas linhas de estudo foram escolhidas como base teórica para o desenvolvimento dos AVIs desta pesquisa, como a teoria da complexidade visual de Berlyne (1971), a biofilia de Kaplan (1982), os experimentos de Meyers-Levy (2007) a respeito da influência da altura do teto sobre a percepção de usuários e a influência das cores como estímulo ambiental.

3.3.1.1 Complexidade visual

O psicólogo canadense Daniel Berlyne realizou uma série de estudos sobre os objetos que as pessoas consideravam mais ou menos atraentes (BERLYNE, 1971). Com base nos resultados dos seus experimentos, ele construiu uma curva de preferência para a complexidade visual (Figura 20).

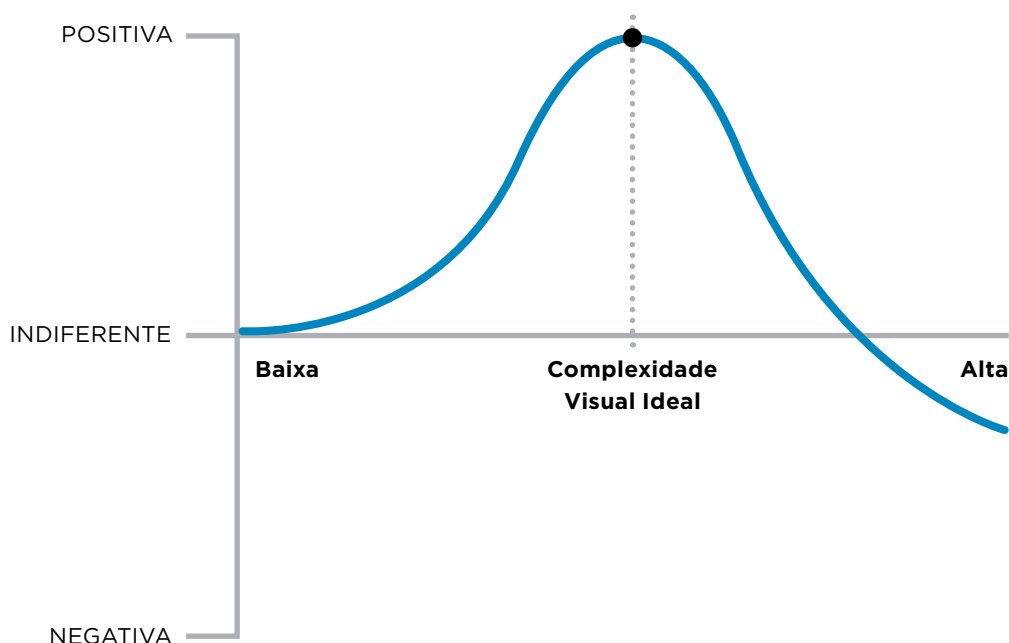
Produtos considerados muito simples ou muito complexos apresentaram baixo grau de preferência em relação àqueles que se colocaram nos níveis intermediários. Pode-se supor, então, que há um nível ótimo de complexidade, associado à atratividade máxima. Acima e abaixo desse nível, a preferência tende a cair. Em um ambiente virtual, o ponto ótimo de complexidade pode ser alcançado por diversos meios de configuração, como tipos de materiais, tratamentos de superfícies,

texturas, estruturas, cores ou mesmo por meio de grafismos nos produtos.

Há ainda outras maneiras de modular a complexidade de um AVI. A teoria da Gestalt ou “Configuração”, por exemplo, indica que as funções estético-formais contribuem para a percepção geral do objeto de design, pois demonstram como a percepção se submete a uma estruturação configurativa por meio de uma série de princípios de organização pelos quais os objetos são percebidos e agrupados no ambiente e no tempo. Assim, ritmo, proporções e harmonias são importantes elementos constituintes dos objetos (KRIPPENDORF, 1995).

Experimentos no campo da psicologia da percepção oferecem parâmetros que podem auxiliar o designer que projeta ambientes virtuais complexos, onde o excesso de elementos pode prejudicar o bem-estar do usuário. Sabe-se que objetos cuja aparência seja redutível a linhas simples, próximas das formas geométricas elementares, são mais suscetíveis de serem assimilados (ARNHEIM, 1980). Por meio da proximidade entre diferentes elementos, é possível reduzir a aleatoriedade de uma composição, uma vez que nosso cérebro tende a agrupar formas que estão próximas (Figura 21). Kepes (1995) aborda este fenômeno por meio de uma analogia com a leitura ao explicar que “lemos palavras como totalidades segregadas porque suas letras estão mais próximas entre si do que a primeira e a última letra estão das outras palavras”. Também é possível criar simplicidade pelo uso da simetria,

Figura 20 – O diagrama de Berlyne relaciona a atratividade dos objetos ao seu nível de complexidade.



Fonte: BERLYNE, 1971.

conforme exemplificado na Figura 22.

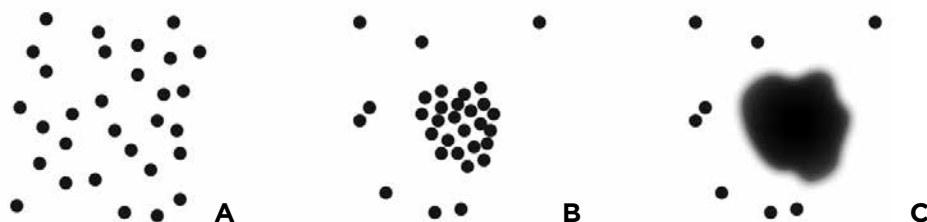
Estes exemplos demonstram como podemos garantir a pregnância da forma geral de um ambiente complexo, por atribuir algum tipo de ordem aos elementos. Seja por proximidade, semelhança, simetria ou continuidade, é possível simplificar uma composição sem a necessidade de excluir elementos.

Desta forma, o observador que está imerso em um ambiente com configuração formal de boa pregnância, estará sujeito a estímulos facilitadores da tarefa, como a sensação de organização, de previsibilidade e segurança.

3.3.1.2 Biofilia

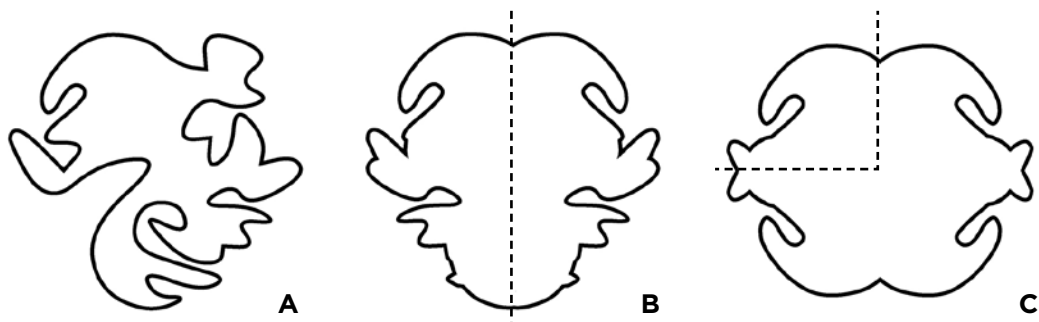
Kaplan (1982) realizou uma série de experimentos sobre biofilia, com o objetivo de testar empiricamente os efeitos de imagens naturais sobre a percepção de usuários. Os resultados revelam que ambientes ricos em imagens e paisagens naturais proporcionam benefícios emocionais aos usuários, reduzindo o estresse, aumentando o foco e a concentração (Figura 23). Acredita-se que o cérebro tenha um processamento diferenciado para imagens naturais, como afirmam Lidwell, Holden e Butler (2010):

Figura 21 - Diferentemente de A, o agrupamento nos induz a enxergar diversos pontos (B) como um objeto inteiro (C).



Fonte: MAEDA, 2006.

Figura 22 - Níveis de simplificação por meio da simetria. A figura A torna-se mais assimilável quando espelhada no eixo y (B) e quando espelhada nos eixos x e y, simultaneamente (C).



Fonte: Imagem desenvolvida pelo autor durante a pesquisa.

A tendência inata a cenas verdes talvez tenha evoluído nos primeiros seres humanos porque conferia uma vantagem seletiva, um viés provavelmente relacionado à preferência pela savana.

Heerwagen e Hase (2001) listam alguns resultados das pesquisas em biofilia: janelas com vista para paisagens naturais reduzem o estresse no ambiente de trabalho; árvores em locais de aglomerações humanas estão associadas ao aumento da interação social e do senso de comunidade em bairros urbanos; observar peixes tropicais em um aquário reduz a pressão arterial; pacientes em pós-operatório têm sua recuperação acelerada por serem expostos à natureza e a luz do dia (HEERWAGEN & HASE, 2001).

3.3.1.3 Altura do teto

Meyers-Levy demonstrou que a relação entre a altura percebida de um teto e a cognição pode influenciar a forma como processamos informações e abordamos a resolução de problemas. Tetos elevados estimulam o raciocínio abstrato, a criatividade e a sensação de liberdade. Tetos baixos, por sua vez, promovem o raciocínio concreto e orientado aos detalhes, além da sensação de confinamento (MEYERS-LEVY, 2007). Seus experimentos evidenciam, por exemplo, que consumidores levam em conta estas sensações na decisão de compra de produtos.

Assim, a altura do teto pode ser um elemento a mais para modular a avaliação emocional dos usuários em relação a um ambiente virtual.

Figura 23 – Redesign do corredor de um hospital norte-americano.



Fonte: LIDWELL, HOLDEN, BUTLER, 2010.

3.3.1.4 Cores

A cor pode agir como estímulo ambiental sutil e tem influências importantes

sobre o comportamento. Em testes realizados na Inglaterra com 20 estudantes, pesquisadores avaliaram se alterações na cor da iluminação do ambiente seriam capazes de influenciar o comportamento dos alunos. A coloração vermelha levou a um aumento dos níveis de distração dos estudantes. Mas a luz vermelha, quando combinada à luz incandescente, fluorescente e à luz do dia, produziu um aumento na produtividade (JOHNSON, 2013).

Elliot et al. (2007) cita quatro experimentos que demonstram que uma breve percepção do vermelho prejudica a performance em testes de raciocínio — como o teste de QI — e este efeito parece atuar à revelia da consciência dos participantes. Em outro estudo, 108 voluntários foram expostos a salas com paredes de cores diferentes. Na sala com paredes verdes, a emoção mais relatada pelos participantes foi a alegria, ao passo que a raiva, a surpresa, o medo e a tristeza foram as menos indicadas para esta cor. O cinza é a cor que mais suscitou emoções negativas, como aversão, tristeza e neutralidade, seguido pelo vermelho, relacionado ao mesmo tempo à alegria e à aversão. O azul foi associado a sensações de neutralidade.

Estes achados empíricos indicam que a escolha das cores de ambientes influencia o comportamento e as emoções humanas, e, se realizada de maneira criteriosa, pode resultar em estímulos positivos na execução de tarefas por parte dos usuários.

Figura 24 - Principais emoções associadas às salas com paredes de cores diferentes.

SALAS	EMOÇÕES						
	Irritação	Aversão	Neutro	Surpresa	Alegria	Medo	Tristeza
Sala Vermelha							
Sala Verde							
Sala Azul							
Sala Cinza							

Fonte: HELVACIOĞLU, 2011.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi baseado no método dedutivo, de natureza aplicada, e utilizou a pesquisa bibliográfico-documental com estudos de caso. A partir de um levantamento bibliográfico realizado em livros, artigos científicos e *sites*, foi possível definir um conceito objetivo de realismo visual. Os requisitos para a criação de realismo visual em ambientes virtuais foram determinados a partir do fluxo de trabalho mais utilizado na prática profissional de designers de games e de consultas à documentação dos *softwares* mais utilizados. O levantamento destes requisitos possibilitou a criação de uma escala de avaliação do realismo visual de AVIs, que serviu de guia para a metodologia empregada no desenvolvimento dos ambientes virtuais aqui propostos.

Em seguida, deu-se início ao desenvolvimento dos AVIs por meio da modelagem, texturização, atribuição de materiais e animação dos objetos virtuais. Esta etapa foi executada no Blender (BLENDER, 2017), um *software* de modelagem tridimensional de código aberto. Os modelos tridimensionais que representam os usuários do metrô serão gerados e animados no Adobe Fuse (FUSE, 2016). Neste processo, foi utilizada como referência uma gravação em vídeo do metrô do Rio de Janeiro com duração de 2 minutos, fornecida pela equipe do LABPR/UFRJ. Este vídeo foi gravado em primeira pessoa e acompanha todo o percurso que o paciente fará dentro dos AVIs, desde o embarque na estação Central do Brasil até o desembarque na estação Uruguayana. Devido à baixa qualidade das imagens, este vídeo foi utilizado apenas como referência dos sons dos ambientes, do tempo de viagem, e da quantidade e localização dos objetos nas duas estações. Pesquisas *online* foram realizadas a fim de selecionar fotos adicionais para serem utilizadas como referências de alta resolução para a modelagem do trem e das estações. Além disso, algumas medições com fita métrica foram feitas no trem do metrô, como a altura e a largura das portas do vagão, do corredor, dos bancos, entre outras. Estas medidas serviram de referência para o dimensionamento de todas as partes do trem.

As cores utilizadas nas roupas dos usuários do metrô, nas paredes, no piso e em todos os objetos que compõem os AVIs foram geradas por meio do Colorgical (GRAMAZIO et al., 2017), aplicativo *online* de criação de paletas de cores

baseadas em critérios estéticos e de distinção.

Os modelos 3D foram exportados para o motor de jogos Unreal Engine 4.13 (EPIC, 2017), escolhido por oferecer um contrato de uso gratuito para aplicativos sem fins lucrativos, além de vários recursos que possibilitam um alto grau de realismo visual. Além disso, a partir de outubro de 2016, a Unreal Engine anunciou suporte nativo para o desenvolvimento de jogos para o HTC Vive por meio de um *template*.

Os testes de desempenho foram feitos em um computador equipado com processador Intel i7-6700, de 3.4ghz, memória de 8GB (2x4) e placa de vídeo Geforce GTX 1080, 8Gb, 256 bits. Em pesquisas futuras, os voluntários terão acesso aos AVIs por meio do HTC Vive e utilizarão um *joystick* para se locomoverem pelo ambiente virtual.

Uma vez terminado o desenvolvimento, os AVIs foram submetidos à escala de avaliação do realismo visual estático, a fim de verificar se o grau de realismo visual desejado foi alcançado.

5 RESULTADOS

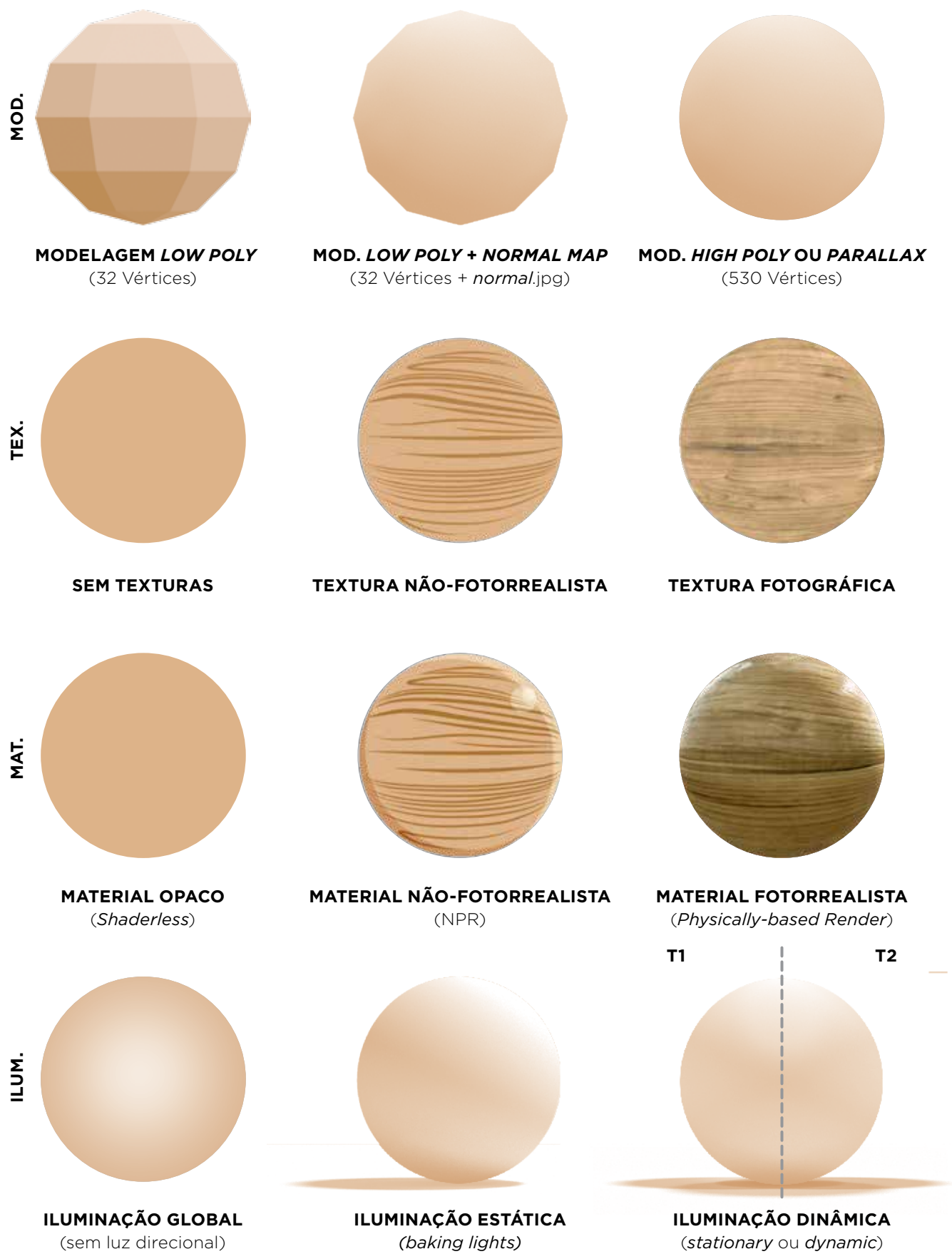
5.1 Escala de Avaliação do Realismo Visual Estático (RVE)

A partir do levantamento dos requisitos de *software* para a criação de realismo visual, pretendeu-se aqui elaborar um instrumento que permitiu avaliar com maior objetividade o grau de RVE de um ambiente de realidade virtual. Quatro requisitos foram definidos com base nos recursos disponibilizados pelos principais *softwares* de desenvolvimento do mercado: modelagem (MOD.), texturização (TEX.), iluminação (ILUM.) e materiais (MAT.). Cada um destes 4 critérios foi graduado com 3 pontuações diferentes: 0, 0.5 e 1. Cada pontuação representa o grau de realismo que o recurso em questão possibilita. A Figura 25 apresenta estes requisitos ordenados de acordo com o seu grau de realismo.

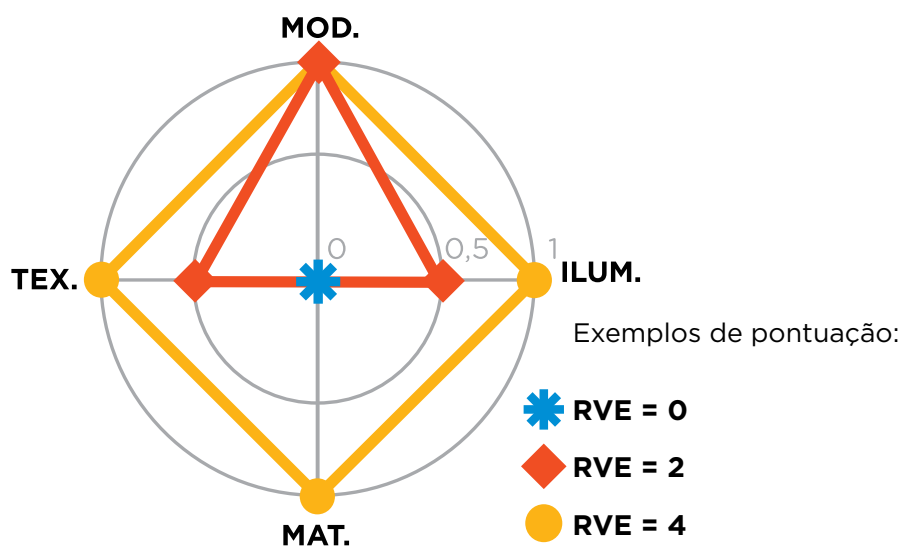
O próximo passo foi dispor os quatro requisitos nas extremidades dos eixos x e y de dois círculos concêntricos, onde o círculo maior equivale à pontuação 1, o círculo menor à pontuação 0.5 e o centro dos círculos à pontuação 0 (Figura 26).

Classificar um ambiente virtual com a pontuação máxima significa atestar que

Figura 25 — Recursos utilizados na criação de objetos virtuais, ordenados de acordo com o grau de realismo.



Fonte: Desenvolvido pelo autor durante a pesquisa.

Figura 26 – Escala de avaliação do realismo visual estático (RVE).

Fonte: Desenvolvido pelo autor durante a pesquisa.

ele utiliza toda tecnologia disponível atualmente, o que lhe confere o mais alto nível de realismo (Figura 26, em amarelo).

Por outro lado, o ambiente virtual que obtiver a pontuação mínima nos quatro critérios terá a nota final zero, sendo classificado como não realista (Figura 26, em azul). Assim, temos uma escala de avaliação que nos permite reduzir a subjetividade na classificação do RVE de ambientes virtuais e identificar até 9 diferentes graus de realismo.

5.1.1 Levantamento Bibliométrico para Avaliação do RVE

Com o objetivo de verificar a efetividade da escala aqui proposta, foi realizada uma busca nos bancos de dados Web of Science e Scopus por meio dos termos “*virtual reality*”, “*realism*”, “*realistic*”, “*high-fidelity*”, “*visual fidelity*” e “*HMD*”, compreendendo o período de outubro de 2011 a outubro de 2016. A busca retornou 39 artigos. Destes, apenas aqueles que apresentaram fotos dos ambientes virtuais utilizados na pesquisa foram selecionados, resultando em 10 artigos. Os graus de RVE das imagens selecionadas foi calculado pela soma da pontuação dos 4 requisitos da escala e são apresentados nas Figuras 27 e 28.

No primeiro AVI analisado (Figura 27.1), foi possível constatar a presença de relevos com detalhamento de intensidade mediana no madeiramento do teto e nos tijolos das paredes. Trata-se, possivelmente, de uma modelagem *low poly* com apli-

cação de *normal maps*, o que resulta em uma modelagem de nível 0.5 (MOD.=0.5). Texturas fotográficas foram utilizadas para representar os veios das madeiras, os tijolos das paredes, os azulejos do piso, a grama do jardim e as pedras na fonte de água e no muro, ao fundo (TEX=1). Os materiais aplicados sobre as texturas são bastante opacos, o que é característico de materiais não-fotorrealistas (MAT=0.5). Para incrementar o realismo visual dos materiais deste ambiente, o designer pode utilizar modulações entre pontos de brilho e embaçamento nas superfícies do piso e das pedras molhadas da fonte de água. Nestes locais onde incide a luz do sol, materiais com brilho reproduzem com fidelidade as propriedades físicas de materiais reais. Quanto à iluminação, conclui-se, pela descrição dos experimentos no artigo, que não há objetos em movimento e que o usuário não se move pelo ambiente. Assim, é provável que a luz do sol esteja gravada nas texturas, sendo, portanto, uma iluminação estática (ILUM=0.5). A soma dos 4 requisitos resulta em uma pontuação final de 2.5 de realismo visual estático, em uma escala de 0 a 4.

Na Figura 27.2, pode-se ver uma modelagem *high poly* nos equipamentos representados e o uso de *normal maps* para representar as dobras nas roupas do cirurgião (MOD=1). Foram utilizadas texturas fotográficas para as roupas e o piso (TEX.=1). Materiais metálicos, plásticos e acrílicos foram criados com um alto grau de fidelidade (MAT.=1). Não há referência, no artigo, ao uso de iluminação dinâmica (ILUM.=0.5).

O AVI da Figura 27.3 representa um ambiente virtual de um supermercado, criado com modelos *low poly* (MOD.=0), com aplicação de texturas fotográficas nas prateleiras (TEX.=1). É possível observar o uso de materiais reflexivos no piso, nos metais e plásticos (MAT.=1). Não há sombras projetadas, o que indica a ausência de uma fonte de iluminação (ILUM.=0),

A Figura 27.4 apresenta uma simulação de endoscopia, com uma representação detalhada da anatomia humana (MOD.=1) sem aplicação de texturas (TEX.=0). Os materiais utilizados para os equipamentos e para as paredes do estômago não são fotorrealistas (MAT.=0). Foi utilizada uma iluminação dinâmica, que representa os brilhos nas superfícies em tempo real (ILUM.=1).

A Figura 27.5 apresenta um simulador de guindaste desenvolvido para o treinamento de operadores. Os objetos na cena possuem o aspecto de modelos *low*

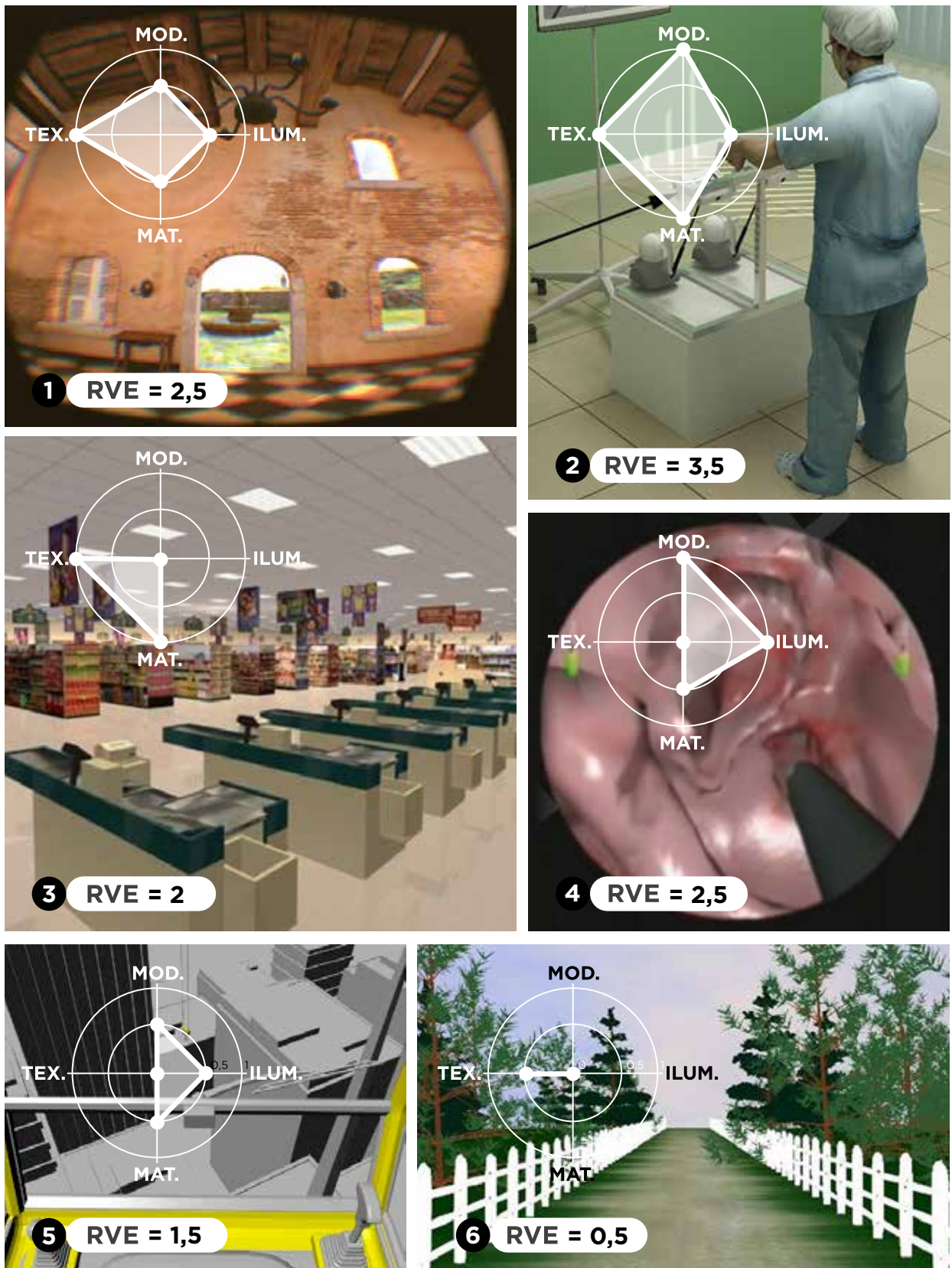
Figura 27 – Ambientes virtuais extraídos de artigos científicos.

Fig. 1: KAWAMURA & KIJIMA, 2016; **Fig. 2:** SANKARANARAYANAN et al., 2016;
Fig. 3: HODGSON et al, 2015; **Fig. 4:** VARSHNEY, 2014; **Fig. 5:** PATRÃO & MENEZES, 2013;
Fig. 6: HODGSON et al, 2015.

Figura 28 – Ambientes virtuais retirados de artigos científicos.

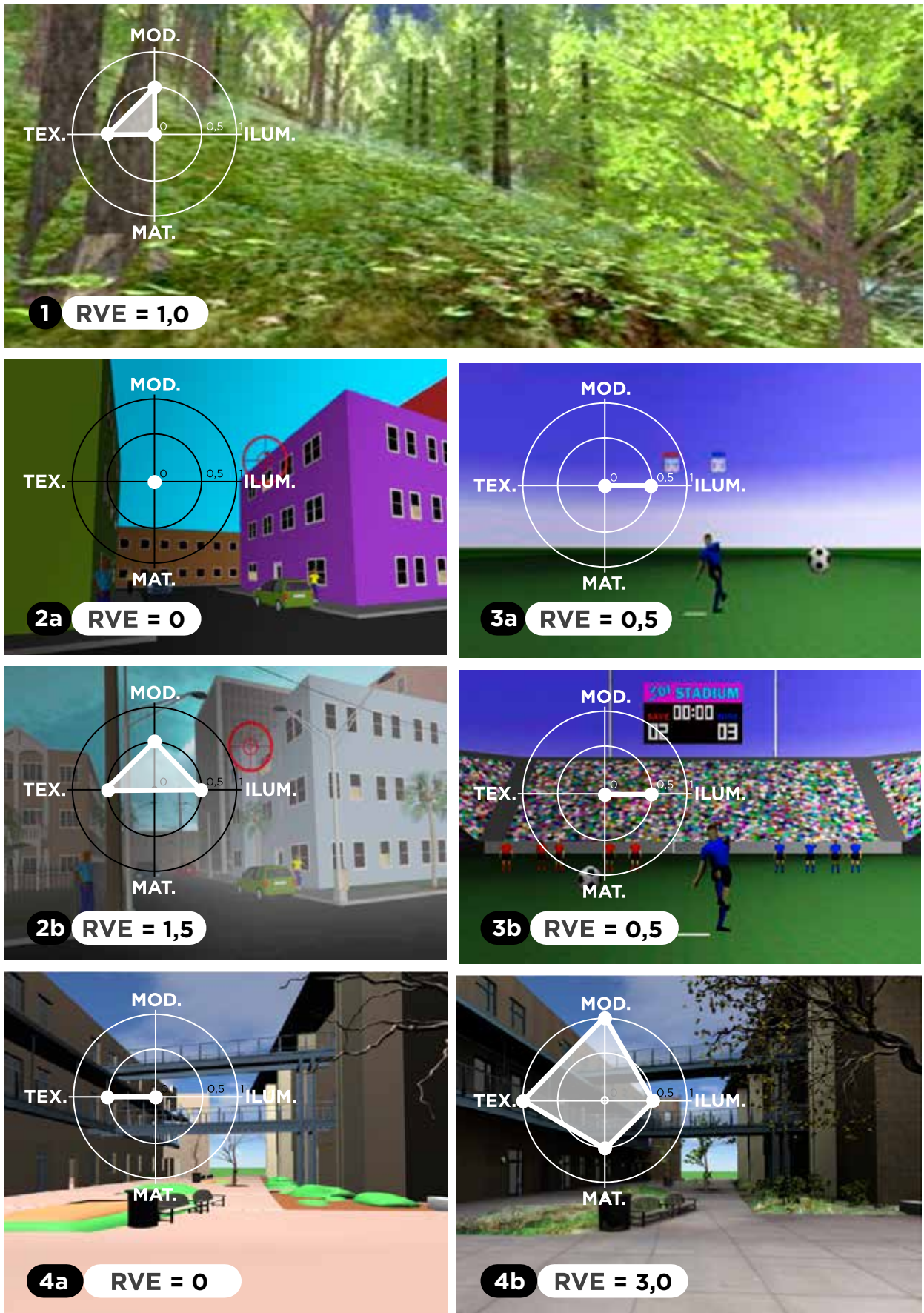


Figura 7: HARRINGTON, 2012; **Figura 8:** RAGAN et al., 2015;
Figura 9: STINSON & BOWMAN, 2014; **Figura 10:** LEE et al., 2013.

poly com a aplicação de *normal maps* (MOD.=0.5). Não há aplicação de texturas (TEX.=0) e os materiais utilizados reproduzem brilhos iguais tanto para objetos metálicos, quanto para plásticos e borrachas, caracterizando um material não-fotorrealista (MAT.=0.5). Não há sombras projetadas, o que é típico de uma iluminação global, sem fonte de luz direcional estática ou dinâmica (ILUM.=0).

O AVI da Figura 27.6 possui uma modelagem *low poly* (MOD.=0), com o uso de texturas não-fotorrealistas (TEX.=0.5), com materiais opacos (MAT.=0) e sem fonte direcional de iluminação (ILUM.=0).

A Figura 28.1 apresenta uma floresta cujas folhas das árvores, embora sejam modelos *low poly*, contêm um mapa para o canal alfa, o que possibilita representar, por meio de transparência, a silhueta das folhas com maior complexidade (MOD.=0.5). Houve a aplicação de textura fotorrealista nos troncos das árvores e no solo (TEX.=0.5). Até onde é possível visualizar na imagem, não há a utilização de materiais que simulem superfícies fotorrealistas (MAT.=0). Também não há uma fonte de luz direcional, que daria um ganho bastante considerável ao realismo visual da cena, apesar do alto custo de desempenho do *hardware* (ILUM.=0).

As Figuras 28.2 *a* e *b* apresentam duas variações de um mesmo ambiente virtual, onde o segundo possui maior complexidade, resultante da inclusão de objetos e texturas, e uma redução da visibilidade gerada por uma neblina. Ambos foram criados com modelos *low poly* (MOD.=0), mas no AVI 8b foram utilizados canais alfa para as folhas das palmeiras, aumentando a complexidade destes modelos (MOD.=0.5). Não há qualquer tipo de material atribuído aos dois AVIs (MAT.=0). O AVI 8a não utiliza texturas (TEX.=0), ao passo que o AVI 8b apresenta texturas não-fotorrealistas (TEX.=0.5). Não há luz direcional estática ou dinâmica no AVI 8a (ILUM.=0). Embora não haja uma fonte de luz no AVI 8b, foi utilizado um efeito de neblina que altera as cores dos elementos, criando uma atmosfera que contribui para a sensação de profundidade (ILUM.=0.5).

Os AVIs das Figuras 28.3 *a* e *b* foram criados com a finalidade de investigar a viabilidade do treinamento de atletas para situações de alta pressão usando realidade virtual. Embora sejam descritos no artigo como ambientes realistas, ambos foram criados a partir de modelos *low poly* (MOD.=0), sem o uso de materiais que simulam o comportamento físico dos materiais (MAT.=0) nem de texturas (TEX.=0). Há um degradê, tanto no céu quanto no gramado, que indica o uso de uma iluminação

estática e confere alguma perspectiva à cena (ILUM.=0.5).

Os últimos AVIs avaliados (Figura 28.4 a e b) destinam-se ao estudo dos efeitos do realismo visual em tarefas de reconhecimento de objetos em um ambiente de realidade aumentada (RA). O primeiro ambiente (10a) foi modelado com baixa contagem de polígonos (MOD.=0), utiliza textura apenas no céu (TEX.=0.5) e não contém materiais (MAT.=0) nem fonte de luz com sombras projetadas (ILUM.=0). No AVI 28.4b houve melhorias em todos os requisitos, por meio de modelagem *high poly* com canal alfa (MOD.=1), texturas fotográficas no piso, paredes e no gramado (TEX.= 1), materiais não-fotorrealistas (MAT.=0.5) e iluminação gravada nas texturas (ILUM.=0.5).

Os resultados das avaliações indicam a presença de diferentes graus de realismo visual nos AVIs analisados. Oito ambientes virtuais foram classificados com baixo nível de realismo visual, 2 apresentaram níveis médios e apenas 1 foi considerado visualmente realista. Nenhum ambiente virtual recebeu a pontuação máxima, que possibilitaria um realismo equivalente às imagens das Figura 11, 12 e 13 (p. 28).

A escala mostrou-se sensível às variações dos atributos visuais de AVIs, embora a avaliação de imagens em média e baixa resolução implique em algumas limitações, como a falta de informações sobre os recursos utilizados. Nestes casos, a avaliação deve considerar alguma margem de erro. Por outro lado, a utilização da escala durante o desenvolvimento de AVIs como guia para a criação de graus específicos de realismo visual não está sujeita a limitações semelhantes e será abordada na próxima seção.

5.2 Desenvolvimento dos Ambientes Virtuais Imersivos

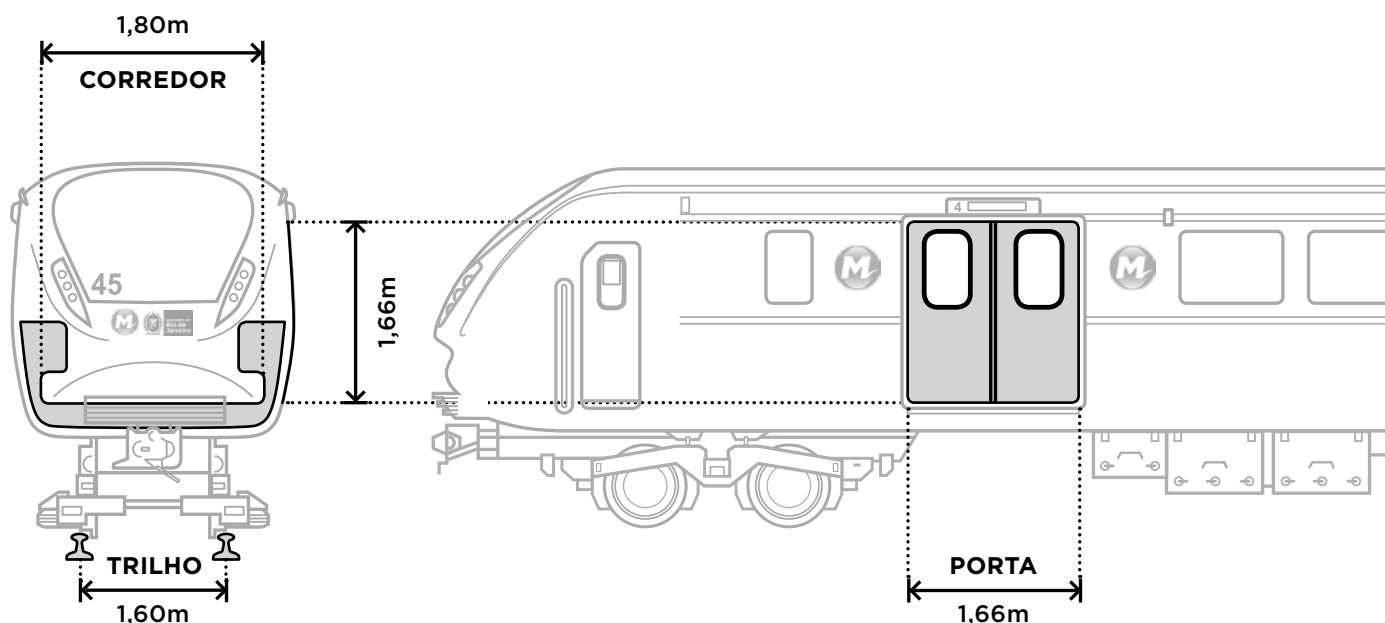
5.2.1 Definindo as Referências

Em projetos de reconstrução virtual de ambientes reais, há três fontes de referências possíveis: fotogrametria, *blueprints* e imagens fotográficas. A fotogrametria digital é um escaneamento tridimensional que pode ser realizado com o uso de um *smartphone*, por meio do qual são tiradas uma série de fotos de vários ângulos do objeto. Um *software* se encarregará de processar estas fotos, gerando um modelo tridimensional muito próximo do real. As *blueprints*, por sua vez, são os desenhos técnicos contendo as vistas e medidas reais do objeto.

Nesta pesquisa, foi utilizado o tipo mais comum de referências, as imagens fotográficas. Por ser o menos preciso dos métodos aqui citados, é necessário que se façam algumas medições-guia dos objetos reais a serem modelados e que se reúna, além das fotos de referência para o realismo visual estático (RVE), vídeos que servirão de referência para o realismo visual dinâmico (RVD). Esta técnica de reconstrução demanda um intenso trabalho de observação, conforme abordado no capítulo 3.2.6 (p. 37).

Com base nas medições das portas do trem, dos assentos para passageiros e do vão do corredor, foi possível dimensionar a modelagem em uma escala 1:1, fator essencial para a prevenção da *cybersickness* (Figura 29). Os trilhos do metrô do

Figura 29 – Medidas-guia retiradas do metrô real.



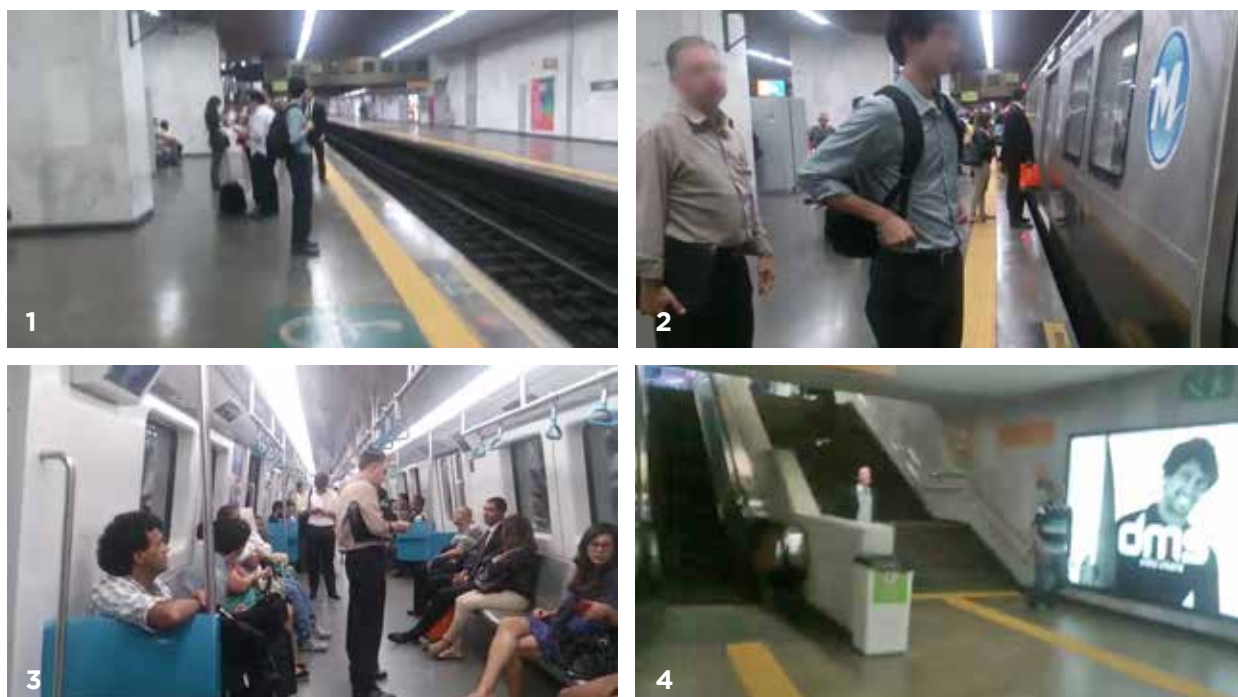
Fonte: Desenvolvido pelo autor durante a pesquisa.

Rio de Janeiro são do tipo “bitola larga brasileira”, com 1,6 metros de largura (PELLEGRIN, 2014). Este dado permitiu dimensionar tanto a carcaça do trem quanto o vão dos trilhos das estações (Figura 29).

5.2.2 Modelagem de *Hard Surfaces*

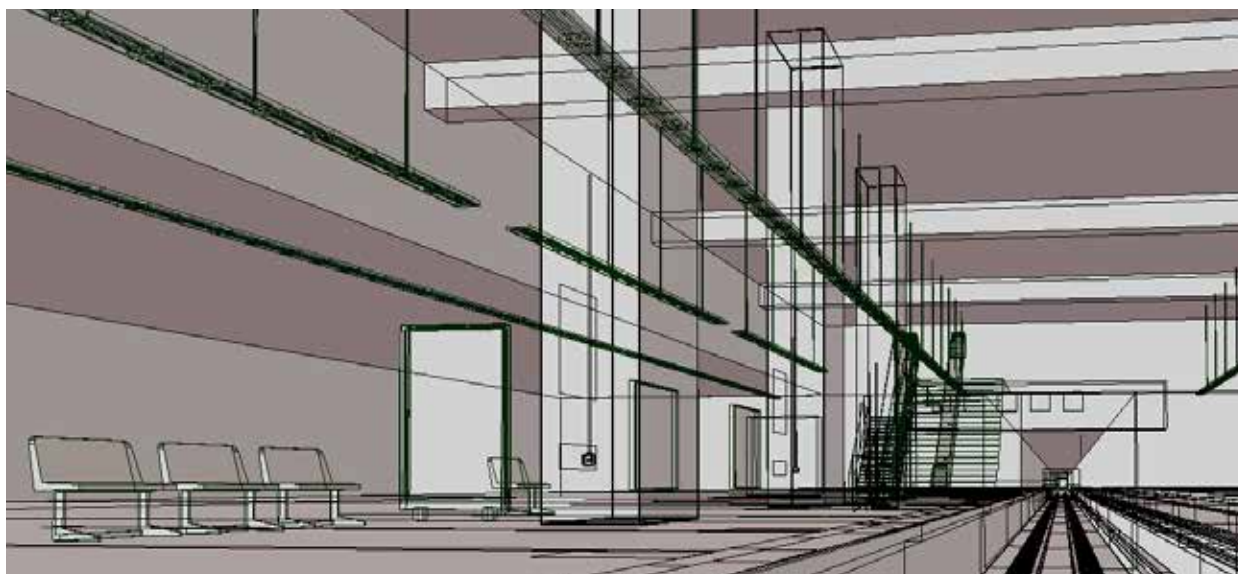
Com exceção da cabine, toda a parte externa e interna do trem foi modelada a

Figura 30 – Imagens do vídeo fornecido pelo LABPR mostram a Estação Central do Brasil (1, 2), a parte interna do vagão (3) e a Estação Uruguayana (4).



Fonte: Fotos de tela do vídeo fornecido pelo LABPR/ UFRJ.

Figura 31 – Visualização aramada do modelo 3D da Estação Central do Brasil.



Fonte: Desenvolvido pelo autor durante a pesquisa por meio do *software* Blender.

partir de primitivas geométricas, por meio dos comandos *extrude* e *edge loops*, com base nas fotos de referência obtidas *online* (Figura 30). A mesma técnica de *hard surface modeling* foi aplicada para a modelagem das estações do metrô e de todo o mobiliário presente nelas (Figura 31).

5.2.3 Modelagem Orgânica da Cabine

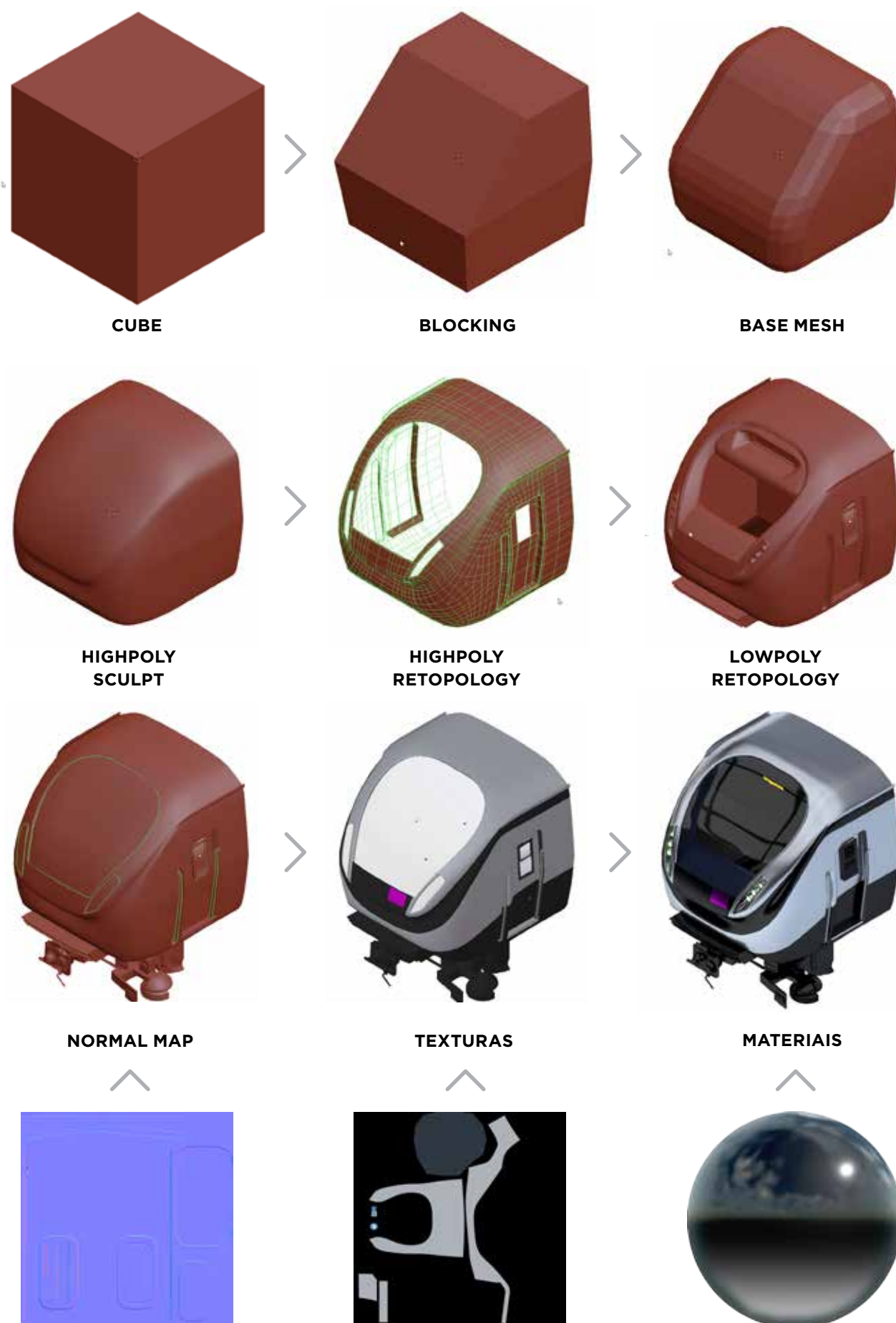
A modelagem iniciou-se a partir de um cubo, que foi subdividido para se aproximar do formato geral da cabine do trem (Figura 32). Deste ponto em diante, optou-se por trabalhar no modo *Sculpt* com o uso de uma caneta sobre uma mesa digitalizadora, ao invés de trabalhar no modo de edição de polígonos. Como a cabine possui formas orgânicas, o modo *sculpt* permite uma atuação mais intuitiva durante a modelagem, muito próxima do desenho livre sobre papel.

O processo de *sculpting* é destrutivo, ou seja, gera uma topologia bastante irregular e com excesso de polígonos. Por isso, uma vez atingido o formato final da cabine, uma nova malha é modelada manualmente sobre a escultura, num processo chamado de retopologia, gerando um objeto 3D com uma contagem baixa de polígonos, reduzindo a demanda por memória e processamento durante a execução do aplicativo.

5.2.4 Texturas e Materiais

A texturização do trem foi inicialmente feita no modo *Texture Paint* do Blender, sobre um mapeamento UV obtido a partir da planificação da malha *low poly*. Em seguida, esta textura foi exportada em formato .jpeg para o Adobe Photoshop onde foram feitos ajustes finos. Os materiais do painel, da lataria, dos vidros, dos letreiros luminosos e dos faróis foram criados no Blender para servirem de *slots* dos materiais que serão recriados posteriormente, na Unreal Engine.

Uma renderização de teste foi realizada para verificar a correspondência do modelo 3D com a referência fotográfica (Figura 33). O uso de diferentes lentes na fotografia e na renderização do Blender resultou em uma imagem com diferenças em termos de perspectiva. Mas o aspecto geral, as dimensões e o comportamento dos materiais apresentam uma semelhança satisfatória com o trem real.

Figura 32 – Fases da modelagem da cabine do trem.

Fonte: Desenvolvido pelo autor durante a pesquisa com o *software* Blender.

Figura 33.1 - Referência fotográfica obtida *online*. **Figura 33.2** - Teste de renderização do modelo 3D texturizado, com aplicação de materiais e iluminação ambiente, para avaliar a correspondência com a referência fotográfica.



Fonte 33.1: OPENBVEMETRORIO, 2016. **Fonte 33.2:** Desenvolvido pelo autor durante a pesquisa por meio do *software* Blender.

5.2.5 Animação do trem

Uma vez terminada a modelagem, a texturização e os materiais, foi feita a animação do trem, tendo como base o vídeo de referência fornecido. Foram calculados o tempo que o trem leva para chegar à estação, a desaceleração até a parada, a velocidade com que as portas abrem e fecham e a aceleração na saída da estação. Todo esse comportamento foi reproduzido na animação com o uso da *Timeline*, do *Dope Sheet* e do *Graph Editor* do Blender. Por fim, os modelos 3D do trem, das duas estações e as animações foram exportados em formato .fbx.

5.2.6 Modulando os graus de dificuldade

O transtorno do pânico e a agorafobia caracterizam-se, entre outros sintomas, por um comportamento de evitação de situações e lugares onde o escape seria difícil e embaraçoso. A pessoa passa a ter medo de determinadas situações nas quais acha que pode passar mal e não conseguir ajuda para escapar (FREIRE et al., 2010). Com base nestas características dos pacientes, foram desenvolvidos dois ambientes virtuais (Figuras 35.1 e 35.2) com diferentes configurações visuais, no intuito de modular os níveis de dificuldade.

O AVI 1 (Figura 35.1) foi projetado para facilitar a tarefa do usuário. Uma paleta com quinze cores foi criada a partir do aplicativo Colorgorical (GRAMAZIO, 2017), que utiliza critérios estéticos e de distinção para gerar variações de uma cor base. A cor base escolhida para o AVI 1 foi o verde ($R=0$, $G=55$, $B=0$). As quinze cores foram aplicadas às roupas dos usuários do metrô (Figura 34), além de displays de publicidade e placas de sinalização (Figura 35.1).

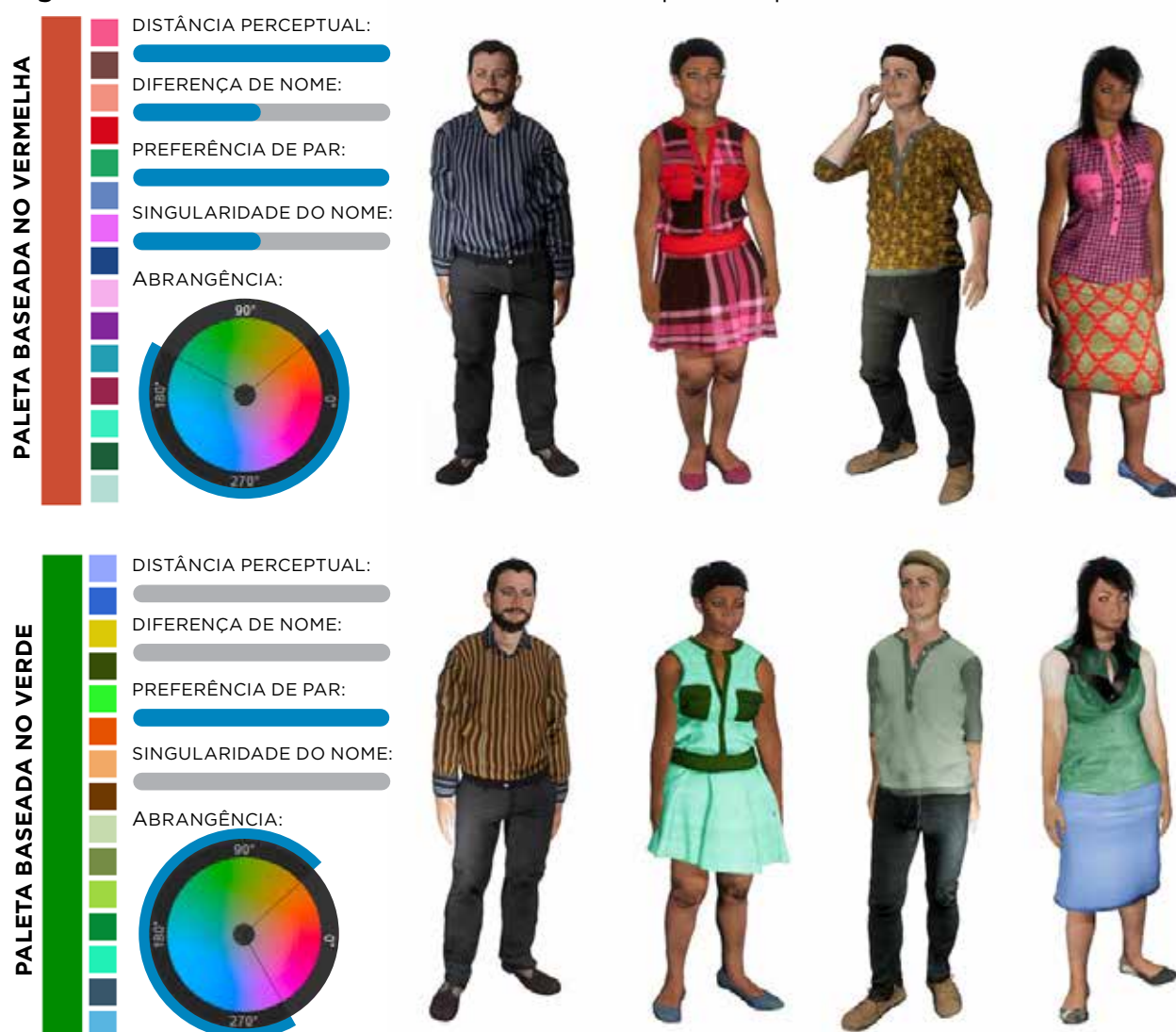
Quanto à quantidade de objetos na cena, buscou-se um equilíbrio entre simplicidade e complexidade, mantendo o aspecto geral da composição próxima do ponto ótimo definido por Berlyne (Figura 25, p. 69). Os usuários do metrô vistos na cena estão dispostos simetricamente em torno da porta do trem, com o cuidado de não formarem uma unidade compacta, contribuindo para a visibilidade de todo o ambiente e a consequente preservação das rotas de fuga. Ao invés de um teto, foi criado um átrio com formas orgânicas que permitem a visualização do céu e de árvores. A perspectiva criada pelos elementos arquitetônicos, pela sinalização no piso e pela disposição dos usuários na cena produz linhas em direção à porta do vagão, facilitando o senso de direção. Este efeito é atingido por relações de

proximidade, unidade e continuidade definidos pelas leis da Gestalt. Há uma fonte de luz natural na direção do olhar, cuja carga sensorial atua positivamente sobre o bem-estar do usuário.

Já a intenção projetual para o AVI 2 (Figura 35.2) foi a de dificultar a tarefa do usuário. Uma paleta de quinze cores foi definida a partir da cor vermelha (R=80, G=30, B=20) e aplicada às roupas, displays e placas de sinalização.

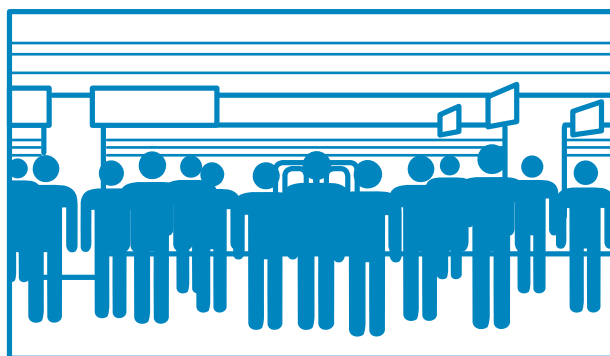
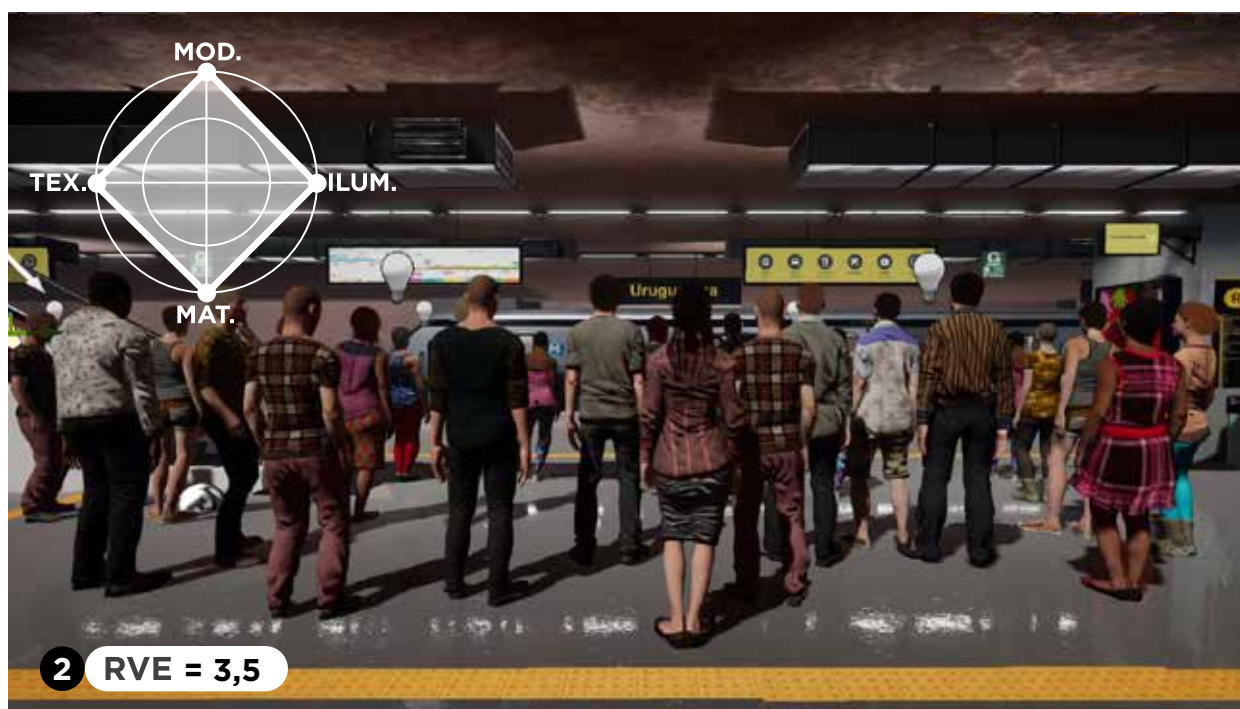
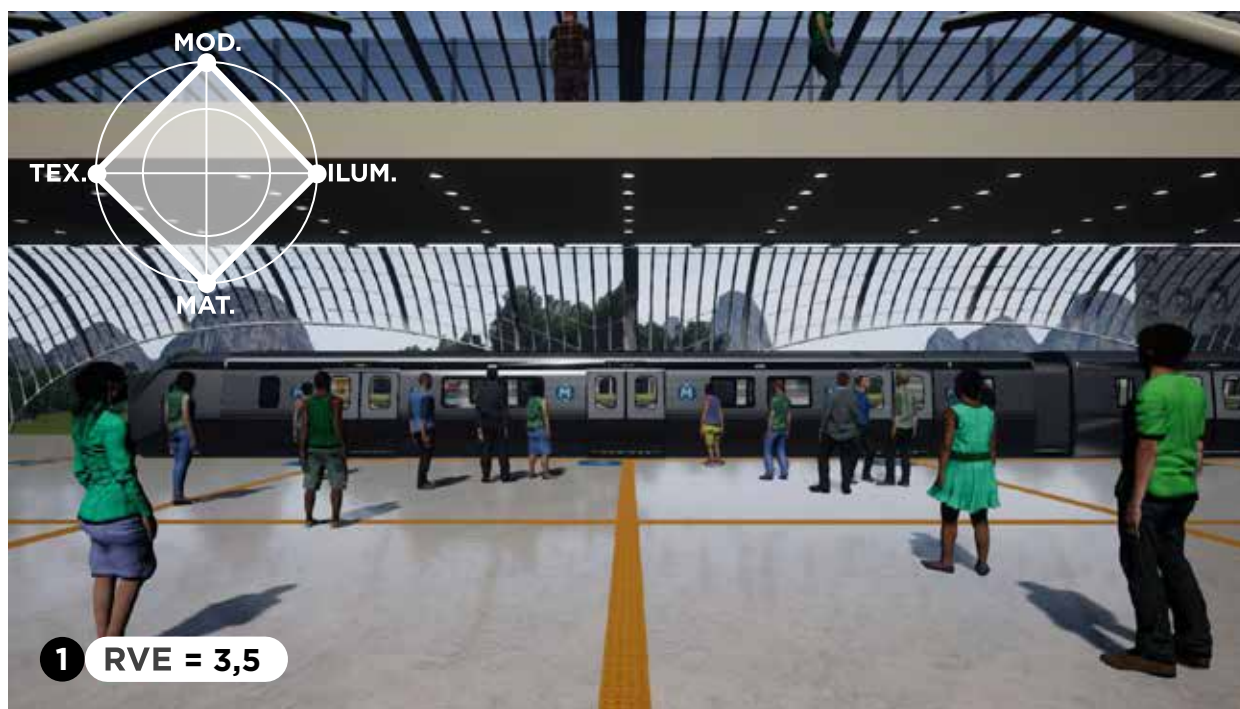
Ao contrário do AVI anterior, não há simetrias. Os usuários do metrô estão posicionados de forma a comporem uma unidade de conjunto, reduzindo a profundidade do campo de visão e criando um bloqueio visual entre o usuário e a porta do trem. Além disso, há poucos indícios de perspectiva, o que dificulta o senso de direção. Com o objetivo de incrementar a complexidade da composição e reduzir a pregnância das formas, foram adicionados diversos tipos de estampas

Figura 34 – Cores-base vermelho e verde e suas respectivas paletas.



Fonte: Desenvolvido pelo autor durante a pesquisa por meio do Colorgorical (GRAMAZIO, 2017).

Figura 35 – Layouts dos ambientes projetados para usuários novatos (1) e experientes (2).



Fonte: Desenvolvido pelo autor durante a pesquisa com o softwares Blender e Unreal Engine 4.

às roupas das pessoas, bem como placas de sinalização e displays.

Os reflexos no piso da estação foram intensificados com o objetivo de duplicar as silhuetas, criando a impressão de que há mais elementos na cena. Não há fontes de luz natural e a disposição das lâmpadas reforça a horizontalidade da composição.

5.2.7 Desenvolvimento do aplicativo

Todos os arquivos foram importados na Unreal Engine 4.13, dentro de um *template* nativo fornecido pelo *software* para uso com o HMD HTC Vive. Os materiais foram recriados, levando-se em conta as limitações de canais estipuladas na documentação da *engine* (UNREAL ENGINE, 2017). Iluminação e sombras dinâmicas foram habilitadas. Testes de desempenho foram realizados para verificar a taxa de quadros por segundo, que ficou em torno de 90FPS.

5.2.8 Avaliação do realismo visual

Ambos os ambientes virtuais foram desenvolvidos com base nas diretrizes descritas no capítulo 3.2 (p. 26) deste estudo, resultando em um nível de realismo visual de nível 4 (Figura 36). Devido à configuração de alto desempenho do *hardware* disponibilizado pelo LABPR/ UFRJ, foi possível utilizar modelos *high poly*, iluminação e sombras dinâmicas e materiais complexos e ainda assim manter o desempenho de maneira satisfatória.

5.2.9 Avaliação do realismo visual dinâmico

A animação dos usuários do metrô foi criada a partir da plataforma mixamo.com, que disponibiliza arquivos .bvh baseados na captura de movimentos reais. Para a animação do trem, uma janela da interface do Blender foi dedicada à reprodução do vídeo, de forma a servir de referência para que os movimentos fossem criados na *Timeline* com exatidão. Quanto à iluminação, foi incluída uma fonte de luz na cena e foram habilitadas luzes estacionárias e sombras dinâmicas, conferindo uma impressão geral realista.

Figura 36 – Brilhos, reflexos e sombras dinâmicas de ambiente projetado para pacientes iniciantes (1) e para pacientes experientes (2).



Fonte: Desenvolvido pelo autor durante a pesquisa com o softwares Blender, Adobe Fuse e UE4.13.

6 DISCUSSÃO

Nos dez artigos selecionados por meio da busca nos bancos de dados Web of Science e Scopus, constatou-se que não houve consenso entre os pesquisadores sobre o que pode ser considerado visualmente realista. O resultado das avaliações também revelou que os grupos de pesquisa trabalharam abaixo do grau de realismo visual possibilitado pelo estágio atual das tecnologias de computação gráfica. Assim, a maioria dos ambientes virtuais analisados ancoraram o senso de presença dos usuários na presença espacial, no envolvimento, no realismo auditivo e tátil, mas deixaram de recorrer ao realismo visual como forma de intensificar seus efeitos sobre as emoções dos usuários.

Dependendo dos objetivos da pesquisa, tal deficiência pode comprometer seus resultados. No caso de terapias de exposição do paciente a estímulos fóbicos, como nos tratamentos da síndrome do pânico, agorafobia, acrofobia, aracnofobia, entre outros, ou no caso de treinamentos em simuladores de automóveis, aviões ou equipamentos cirúrgicos, é aconselhável o emprego de um nível máximo de realismo visual ($RVE = 4$), uma vez que o ambiente virtual deve preparar o usuário para uma rápida e natural adaptação quando confrontado com a situação real.

Não foram encontrados estudos com propostas de instrumentos de avaliação do realismo visual de AVIs, apenas estudos que avaliaram o realismo visual através de variáveis independentes em situações específicas: Khanna (2006) e Yu (2012), compararam os efeitos de uma iluminação estática com uma iluminação dinâmica sobre a percepção de usuários, concluindo que sombras e reflexos dinâmicos estão associados a um maior realismo e, portanto, a um maior senso de presença; Langbehn (2016) apresenta um estudo piloto que descreve como a escala e a proporção de objetos em um AVI são importantes para a percepção de realismo; Shuang (2016) relaciona modelos tridimensionais *low poly* a um baixo realismo visual percebido; Meijer (2009) criou variações do grau de realismo de seus AVIs pela presença ou ausência de texturas fotorrealistas. Quando vistos em conjunto, tais estudos oferecem evidências que ratificam a estratégia de avaliação da escala aqui proposta.

De todos os estudos revisados, nenhum foi idealizado por designers. Diante disso, este trabalho pode contribuir com as pesquisas na área da RV por ofe-

recer uma nova perspectiva sobre os atributos visuais de AVIs. Esta nova abordagem é evidenciada pelas divergências nas terminologias utilizadas, como no caso do termo “complexidade visual”. Ragan et al. (2015), por exemplo, conduziu um experimento controlado para avaliar como diferentes graus de realismo visual de um AVI influenciam o desempenho de usuários em tarefas de reconhecimento de objetos. Seu estudo utilizou o termo “*visual complexity*” como sinônimo de realismo visual, atribuindo à esta variável a propriedade de “replicar adequadamente o mundo real por meio da quantidade de detalhes e do número de objetos” de um AVI (Idem, 2015. p. 02). No entanto, quando analisamos um AVI por meio da escala de avaliação do RVE, concluimos que complexidade visual não garante um alto grau de realismo. Isto fica claro no caso da Figura 28.1 (p. 57) que, embora seja um AVI com milhares de objetos (galhos e folhas), tem uma baixa pontuação de realismo (RVE=1). Isto se deve ao fato de que o ambiente não possui uma fonte de iluminação e as folhas não contêm texturas nem materiais que simulem a translucidez e o brilho característicos de árvores reais. Outro caso similar é encontrado no artigo de Stinson (2014) (Figura 28.3, p. 57), que relatou diferenças no grau de realismo entre as versões *a* e *b* de seus ambientes virtuais. Mas com base nas avaliações aqui apresentadas, não houve o aumento do realismo visual, apenas o aumento da complexidade visual devido ao acréscimo de objetos na cena.

A escala de avaliação do RVE foi idealizada com base nos recursos de computação gráfica disponíveis atualmente, no intuito de oferecer uma análise mais objetiva, em contraste com os juízos subjetivos descritos acima. Qualquer pessoa com conhecimentos básicos de computação gráfica é capaz de utilizá-la. Dez AVIs foram analisados por meio desta escala (Figura 27 e 28), que demonstrou sensibilidade aos atributos visuais estáticos de ambientes virtuais. A baixa resolução das imagens de AVIs podem dificultar a avaliação, sendo necessário considerar alguma margem de erro nos resultados.

Durante o desenvolvimento dos AVIs do metrô do Rio de Janeiro, a escala serviu de referência para as decisões projetuais. Como o objetivo era atingir o mais alto grau de realismo visual, conforme indicado para tratamentos de dessensibilização de pacientes, todos os quatro requisitos foram executados em sua pontuação máxima.

Assim, no requisito “modelagem”, foram criados modelos 3D *high poly* para todo os prédios e mobiliários, uma vez que as malhas estáticas não sobrecarregam o desempenho final da simulação. Já as malhas que continham movimento, como das pessoas e do trem, foram modeladas com uma baixa contagem de polígonos sobre as quais houve a aplicação de *normal maps* e *parallax maps* em casos específicos.

No requisito “texturas”, foram utilizadas texturas fotográficas, obtidas na resolução apropriada por meio de fotos feitas com um *smartphone* ou gratuitamente pelo site textures.com. As texturas das placas de sinalização foram redesenhadas no *software* Adobe InDesign, devido à baixa resolução em que se encontravam nas fotos de referência.

Quanto aos “materiais”, nos modelos 3D de pessoas criados através do *software* Adobe Fuse, foram utilizados *normal*, *specular* e *alpha maps* gerados pelo próprio programa. Já no caso do trem, foram utilizados *parallax maps* em locais estratégicos, como em detalhes do interior do trem, onde o usuário terá tempo de observar mais detalhes.

O último requisito, “iluminação”, foi configurado por meio dos recursos do *software* Unreal Engine 4. Foi utilizado o tipo de luz estacionária, que mantém a alta qualidade especular de uma luz móvel com um custo médio de desempenho. Este tipo de luz também possibilita a geração de sombras dinâmicas para objetos móveis, proporcionando um resultado geral bastante convincente.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho abordou o desenvolvimento de dois ambientes de realidade virtual destinados ao tratamento do transtorno do pânico e agorafobia. O caminho percorrido até o desenvolvimento dos AVIs envolveu fases preliminares, tais como a definição do conceito de realismo visual e a investigação sobre os requisitos para sua concepção.

Estes dados possibilitaram a criação de uma escala de avaliação do realismo visual estático. Este instrumento de avaliação contribuiu para o delineamento da metodologia projetual empregada no desenvolvimento dos AVIs deste trabalho, resultando em um realismo visual de nível 4. A importância disso reside no fato

de que ambientes virtuais visualmente realistas possibilitam ao terapeuta ressignificar as experiências prévias do paciente por meio de novas experiências positivas, preparando-o para uma rápida e natural adaptação quando confrontado com a situação real.

Além disso, a utilização desta escala em laboratórios multidisciplinares de pesquisa pode ser útil, uma vez que permite traduzir termos técnicos, de uso exclusivo dos designers, em uma linguagem inteligível para pesquisadores das mais variadas áreas, facilitando a comunicação entre os membros do grupo. Para designers, a escala é uma forma de identificar deficiências específicas em seu projeto, já que a pontuação baixa em um dos 4 requisitos indicará o caminho a ser seguido para incrementar o realismo visual. Trabalhar com uma escala também possibilita traçar uma relação direta entre o nível de realismo visual de um AVI e o senso de presença de usuários, além de permitir a comparação dos resultados alcançados entre pesquisas diferentes.

A revisão bibliográfica no campo da psicologia da percepção visual forneceu parâmetros que possibilitaram a criação de dois ambientes virtuais com cargas sensoriais distintas. O primeiro foi projetado para facilitar a tarefa de pacientes iniciantes. Este AVI possui menos elementos (pessoas e mobiliários), que foram dispostos de forma a preservar as rotas de fuga em um projeto arquitetônico que permite a visualização de estímulos visuais biofílicos. O segundo AVI foi projetado para dificultar a tarefa do paciente e é destinado a usuários experientes. A inclusão de um grande número de elementos neste ambiente foi utilizada como forma de provocar dissonâncias e tensões visuais, induzindo a momentos de desconforto e insegurança. Esta gradação dos níveis de dificuldade poderá auxiliar o terapeuta durante o tratamento, que utilizará o primeiro AVI para a habituação do paciente e o segundo para a dessensibilização sistemática.

Por fim, destaca-se a importância do papel do designer como parte da equipe de desenvolvimento. Seu conhecimento atualizado das ferramentas disponíveis, aliado ao domínio de técnicas de observação são fundamentais em projetos de realidade virtual, principalmente em aplicações visualmente realistas voltadas a tratamentos terapêuticos.

7.1 Limitações e Futuros Estudos

A relação entre o grau de realismo produzido e o grau de realismo percebido pode ser investigada em estudos complementares, em busca de evidências empíricas para a validação da escala de avaliação do realismo visual.

Esta escala limitou-se a mensurar os atributos de imagens estáticas, abrindo caminho para que futuros estudos a ampliem, incorporando variáveis dinâmicas como a animação de objetos tridimensionais, a atribuição de física e as simulações de fluidos e de partículas.

Estudos de acompanhamento da exposição de pacientes aos ambientes virtuais aqui desenvolvidos, mediante coleta de respostas subjetivas e dados biométricos, possibilitarão um entendimento maior a respeito da influência de estímulos visuais sobre o comportamento de usuários de realidade virtual.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABSENTION. Disponível em: <www.absention-game.com>. Acesso em: 12/10/2016.
- ADAMS, Gavin. **Um balanço bibliográfico e de fontes da estereoscopia**. Anais do Museu Paulista, v. 6, n. 1, p. 207-225, 1999.
- ADAMS, L. **Visualização e realidade virtual**, Ed. Makron Books, pp. 255-259, São Paulo, 1994.
- ARANHA, Gláucio. **O processo de consolidação dos jogos eletrônicos como instrumento de comunicação e de construção de conhecimento**. Ciências & Cognição, v. 3, p. 21-62, 2004.
- ARNHEIM, Rudolf et al. **Arte & percepção visual: uma psicologia de visão criadora**. 1980.
- ARTAUD, Antonin. **O teatro e seu duplo**. Tradução de Teixeira Coelho. Editora Martins Fontes, São Paulo, 2006.
- AYLETT, R. e CAVAZZA, M. **Intelligent Virtual Environments – A state of the art report**. Eurographics Conference. Manchester, UK, 2001.
- BAILENSON, Jeremy N. et al. The effect of behavioral realism and form realism of real-time avatar faces on verbal disclosure, nonverbal disclosure, emotion recognition, and copresence in dyadic interaction. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 15, n. 4, p. 359-372, 2006.
- BAYART, Benjamin et al. **TechViz XL helps KITs Formula Student car “become alive”**. In: 2015 IEEE Virtual Reality (VR). IEEE, 2015. p. 395-396.
- BARRETT, Lisa Feldman; BAR, Moshe. See it with feeling: affective predictions during object perception. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1521, p. 1325-1334, 2009.
- BAXTER, Mike. **Projeto de Produto**, São Paulo, Edgar Blücher, 2011.
- BENOIT, Michel et al. Is it possible to use highly realistic virtual reality in the elderly? A feasibility study with image-based rendering. **Neuropsychiatric disease and treatment**, v. 11, p. 557-563, 2015.
- BERLYNE, D.E. **Aesthetics and psychobiology**. New Vork: McGraw-Hill, 1971.
- BIOCCA, F.; LEVY, M. R. **Communication in the Age of Virtual Reality**. Lawrence

- Erlbaum Associates. Hillsdale, NJ: 1995.
- BLENDER, Institute. Disponível em: <www.blender.org>. Acesso em: 02/01/2017.
- BLAYA, C.; MANFRO, G. G. **Transtorno do pânico: diretrizes para o uso de psicofármacos e algoritmo**. Psicofármacos: Consulta Rápida; Porto Alegre, Artmed, 2005, p.351. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/psiquiatria/psiq/Algoritmo%20do%20Panico%20%20final.pdf>>. Acesso em: 10/01/2017.
- BLYTHE, M. A., Overbeeke, K., Monk, A. F. (eds). **Funology: from usability to Enjoyment**, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, Cap. 9, p. 111-123.
- BOTELLA, C., Garcia-Palacios, A., Villa, H., Banos, R.M., Quero, S., Alcaniz, M., Riva, G. **Virtual reality exposure in the treatment of panic disorder and agoraphobia: a controlled study**. Clin. Psychol. Psychother, 2007, 14, 3, 164-175.
- BOTELLA, Cristina et al. **Virtual Reality and Psychotherapy**, 2004.
- BOWMAN, Doug A.; MCMAHAN, Ryan P. **Virtual reality: how much immersion is enough?** Computer, v. 40, n. 7, 2007.
- BREWSTER, David. **The Stereoscope; Its History, Theory and Construction, with Its Application to the Fine and Useful Arts and to Education, Etc**. John Murray, 1856.
- BURDEA, G.; COIFFET, P. **Virtual Reality Technology**. John Wiley & Sons, 1994.
- BÜRDEK, B. E. **Design: História, teoria e prática do design de produtos**. São Paulo, Editora Blücher, 2010.
- CARDBOARD, Google. Disponível em: <<https://vr.google.com/cardboard/>>. Acesso em 02/01/2017.
- CARVALHO, M.R., Freire, R.C. **Virtual reality as a mechanism for exposure therapy**. The World Journal of Biological Psychiatry, 2010, 11(2): 220-230, ISSN 1814-1412 online.
- CRAWLEY, Dan. **We're not talking about what VR is doing to our eyes and our brains**. Venture Beat. Disponível em: <<http://venturebeat.com/2015/04/18/were-not-talking-about-what-vr-is-doing-to-our-eyes-and-our-brains/>>. Acesso em: 03/01/2017.
- DAYDREAM VIEW, Google. Disponível em: <<https://vr.google.com/daydream/>>. Acesso em 02/01/2017.

- DAMÁSIO, A. R., et al. **Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions**. Nature America Inc, 2000.
- DESMET, P. M. A. Measuring Emotions: development and application of an Instrument to measure emotional responses to products, in: DEVUE, Christel; BARSICS, Catherine. **Outlining face processing skills of portrait artists: Perceptual experience with faces predicts performance**. Vision Research, 2010, v. 127, p. 92-103, 2016.
- DINH, Huong Q. et al. **Evaluating the importance of multi-sensory input on memory and the sense of presence in virtual environments**. In: Virtual Reality, 1999. Proceedings., IEEE. IEEE, 1999. p. 222-228.
- DOMICIANO, C. L. C. et al. **Ensaio em design: arte, ciência e tecnologia**. Bauru: Canal 6 Editora, 2010. p.52 – 69.
- DW. **Artistas preparam exposição com pinturas em realidade virtual**. Disponível em: <<http://www.dw.com/pt-br/artistas-preparam-exposiao-com-pinturas-em-realidade-virtual/av-36523537>>. Acesso em: 02/01/2017.
- EDELINE Francis, KLINKENBERG Jean-Marie, MINGUET Philippe. **Traité du signe visuel: pour une rhétorique de l'image**. Ed : Groupe (Liège) - Seuil, Paris, 1992.
- EDWARDS, B. **Desenhando com o artista interior: um guia inspirador e prático para desenvolver seu potencial criativo**. 1. ed. São Paulo: Editora Claridade Ltda., 2002, 246 p.
- EDWARDS, Betty. **Drawing on the Right Side of the Brain**. Penguin, 2001.
- ELAYAT, Yasmin. **Scatter Project**. Disponível em: <<http://scatter.nyc/>>. Acesso em: 17/11/2016.
- ELLIOT, Andrew J. et al. **Color and psychological functioning: the effect of red on performance attainment**. Journal of experimental psychology: General, v. 136, n. 1, p. 154, 2007.
- EARTH, Google. Disponível em: <<https://vr.google.com/earth/>>. Acesso em: 02/01/2017.
- EPIC. Disponível em: <<https://www.unrealengine.com>>. Acesso em: 02/01/2017.
- FELTHAM, Jamie. **4K Headsets, 'Perfect' Eye-Tracking, and 'Augmented VR': Oculus' Abrash Predicts VR in 2021**. Disponível em: <<http://uploadvr.com/abrash-2021/>>. Acesso em: 12/10/2016.

- FLACH, John M.; HOLDEN, John G. **The reality of experience: Gibson's way.** Presence: Teleoperators and virtual environments, v. 7, n. 1, p. 90-95, 1998.
- FUSE, Adobe. Disponível em: <<http://www.adobe.com/br/products/fuse.html>>. Acesso em: 02/08/2016..
- FREEMAN, J., AVONS, S., MEDDIS, R., PEARSON, D., & IJSSELSTEIJN, W. **Using behavioral realism to estimate presence: a study of the utility of postural responses to motion stimuli.** Presence, 2000, 9(2), 149-164.
- FREIRE, R. C. **Novas Realidades no Tratamento do Pânico.** Agência de Notícias UFRJ, 2008. Disponível em: <http://www.olharvirtualital.ufrj.br/2006/imprimir.php?id_edicao=145&codigo=2>. Acesso em: 10/01/2017.
- FREIRE, R. C.; DE CARVALHO, M.R.; JOFFILY, M.; Nardi, A.E.; WALTER, A. Z. **Anxiogenic properties of a computer simulation for panic disorder with agoraphobia.** Journal of Affective Disorders, 2010. pp. 301-306.
- GANDEY, A. **Virtual reality programming relieves pain.** Disponível em: <<http://www.medscape.com/viewarticle/721680>>. Acesso em: 20/12/2016.
- GARTNER, Inc. Disponível em: <www.gartner.com/smarterwithgartner>. Acesso em: 10/11/2016.
- GARRET, Filipe. Disponível em: <<http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2016/08/acessorio-melhora-desempenho-de-games-e-realidade-virtual-no-mac.html>>. Acesso em 10/10/2016.
- GASPERINI, Ricardo. **Realidade virtual aplicada à ergonomia por meio do design participativo.** Tese de doutorado. Unesp, 2010.
- GEAR VR, Samsung. Disponível em: <<http://www.samsung.com/global/galaxy/gear-vr>>. Acesso em: 02/01/2017.
- GOOGLE. Disponível em: <<https://vr.google.com/daydream/>>. Acesso em 10/10/2016.
- GRAMAZIO, Connor C.; LAIDLAW, David H.; SCHLOSS, Karen B. **Colorgical: Creating discriminable and preferable color palettes for information visualization.** IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, v. 23, n. 1, p. 521-530, 2017.
- GRUBER, Wilhelm B. **Stereoscopic viewer.** U.S. Patent n. 2,511,334, 13 jun. 1950.

- HARRINGTON, Maria CR. The Virtual Trillium Trail and the empirical effects of Freedom and Fidelity on discovery-based learning. **Virtual Reality**, v. 16, n. 2, p. 105-120, 2012.
- HELVACIOĞLU, Elif. **Colour-emotion associations in interior spaces**. Tese (doutorado). BİLKENT UNIVERSITY, 2011.
- HEERWAGEN, J., Hase, B. **Building Biophilia: Connecting People to Nature in Building Design**. IIDA, ASID, postado em 03/08/2001.
- HOFFMAN, Hunter G. et al. **Virtual reality as an adjunctive non-pharmacologic analgesic for acute burn pain during medical procedures**. *Annals of Behavioral Medicine*, v. 41, n. 2, p. 183-191, 2011.
- HOLMES, Oliver Wendell. **The Stereoscope and The Stereograph**, 1859. Disponível em: <<http://www.stereoscopy.com/library/holmes-stereoscope-stereograph.html>>. Acesso em 10/10/2016.
- HODGSON, Eric et al. WeaVR: a self-contained and wearable immersive virtual environment simulation system. **Behavior research methods**, v. 47, n. 1, p. 296-307, 2015.
- HTC VIVE, Steam. Disponível em: <<https://www.vive.com/us/>>. Acesso em: 02/01/2017.
- ICSID Daily - **Seul Industrial Designers Declaration**, 2001, Day 4, Oct., 11, Seul.
- JOB SIMULATOR, Steam. Disponível em: <<http://jobsimulatorgame.com/>>. Acesso em 12/11/2016.
- JOHNSON, Cynthia S.; RUITER, Gysbert A. **Envisioning Classroom Design with light and colour**. *Academic Research International*, v. 4, n. 4, p. 550, 2013.
- KAPLAN, S., & Kaplan, R. **Cognitive and Environment: Functioning In a Uncertain World**, CL: Praeger Publishers, 1982.
- KAWAMURA, Soma; KIJIMA, Ryugo. Effect of HMD latency on human stability during quiescent standing on one foot. In: **2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)**. IEEE, 2016. p. 141-144.
- KEPES, Gyorgy. **Language of vision**. Courier Corporation, 1995.
- KHANNA, Pankaj et al. Presence in response to dynamic visual realism: a preliminary report of an experiment study. In: **Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology**. ACM, 2006. p. 364-367.

- KÖHLER, W. **Gestalt psychology**. New York, Liveright, 1947.
- KRIPPENDORF, K. On the Essential Contexts of Artefacts or on the Proposition that Design is Making Sense (of Things). In: Margolin, V., Buchanan, R., (Eds.), **The Ideal of Design**, London, The MIT Press, 1995, p. 156-184.
- KRIPPENDORFF, Klaus. **Principles of design and a trajectory of artificiality**. Journal of product innovation management, v. 28, n. 3, p. 411-418, 2011.
- KRUEGER, M. W. **Artificial reality** (2nd ed.). Reading, MA: Addison-Wesley, 1991.
- KRUEGER, M., GIONFRIDDO, T., & HINRICHSSEN, K. **Videoplace -An artificial reality**. Proceedings of CHI, 1985.
- KULIGA, Saskia Felizitas et al. **Virtual reality as an empirical research tool—Exploring user experience in a real building and a corresponding virtual model**. Computers, Environment and Urban Systems, v. 54, p. 363-375, 2015.
- KUROSU, M., Kashimura, K. **Apparent usability vs. inherent usability: experimental analysis on the determinants of the apparent usability**, Denver, Colorado, Conference companion on human factors in computing systems, 1995, pp. 292-293.
- LANG, Ben. **Steam Now Boasts More than 600 VR Games and Apps, 30% of Top 10 Steam Games Are VR**. Disponível em: <<http://www.roadtovr.com/steam-vr-600-games-apps-30-percent-top-10-rated-games-virtual-reality/>>. Acesso em: 17/11/2016.
- LANGBEHN, Eike; BRUDER, Gerd; STEINICKE, Frank. Scale matters! Analysis of dominant scale estimation in the presence of conflicting cues in multi-scale collaborative virtual environments. In: **3D User Interfaces (3DUI), 2016 IEEE Symposium on**. IEEE, 2016. p. 211-220.
- LANIER, Jaron. Disponível em: <www.jaronlanier.com>. Acesso em 12/10/2016.
- LEE, Cha et al. **The effects of visual realism on search tasks in mixed reality simulation**. IEEE transactions on visualization and computer graphics, v. 19, n. 4, p. 547-556, 2013.
- LEONCIO CAIANA, Tayane; DE LIMA NOGUEIRA, Dhyego; DANTAS DE LIMA, Ana Carollyne. **A realidade virtual e seu uso como recurso terapêutico ocupacional: revisão integrativa**. Cadernos de Terapia Ocupacional da UFSCar, v. 24, n. 3, 2016.

- LEWIS, Tanya. **Samsung Gear VR: Virtual Reality Tech May Have Nasty Side Effects. Live Science.** Disponível em: <<http://www.livescience.com/49669-virtual-reality-health-effects.html>>. Acesso em: 03/01/2017.
- LIDWELL, W., Holden, K., Butler, J. **Princípios Universais do Design.** Porto Alegre: Bookman, 2010.
- LOMBARD, Matthew; DITTON, Thereza. **At the heart of it all: The concept of presence.** Journal of Computer-Mediated communication, v. 3, n. 2, 1997.
- LOOMIS, J. M., BLASCOVICH, J. J., & BEALL, A. C. **Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology.** Behavior Research Methods, Instruments & Computers, 31(4), 557-564.
- LOUKA, Michael N. **Using Virtual Mock-ups and Automated Assistance to Support Human Factors Engineering Design Evaluation Activities for Control Room Layouts,** 2015.
- MAEDA, J. **The laws of simplicity.** MIT press, 2006.
- MCCARTY, W. D., et al. **A virtual cockpit for a distributed interactive simulation,** IEEE Computer Graphics and Application, 1994.
- MCMAHAN, A. Immersion, engagement, and presence: a methos for analyzing 3-d video games. in: Wolf, M. J. P. (org.), **The video game theory reader, New York: Routledge,** 2003, pp. 67-86.
- MEIJER, Frank; GEUDEKE, Branko L.; VAN DEN BROEK, Egon L. Navigating through virtual environments: Visual realism improves spatial cognition. **CyberPsychology & Behavior,** v. 12, n. 5, p. 517-521, 2009.
- MEYERS-LEVY, J., Zhu, R. J. **The influence of ceiling height: The effect of priming on the type of processing that people use.** Journal of Consumer Research, 2007, 34, 2, pp. 174-186.
- MICHAELIS. Disponível em: <www.michaelis.uol.com.br>. Acesso em: 15/01/2016.
- MIT, Game Lab. **A Slower Speed of Light.** Disponível em: <<http://gamelab.mit.edu/games/a-slower-speed-of-light/>>. Acesso em: 02/01/2017.
- MOSHELL, J. M., et al. **Dynamic terrain Simulation,** 1994, 62, 1, pp. 29-40.
- NAKATA, M. K. **Desenho no design: aplicação de uma metodologia no desenho de observação para uma instrumentalização em design gráfico.** Ensaios em Design: arte, ciência e tecnologia. Bauru: Editora Canal 6, 2010.

- NAKATA, M. K. **Introdução ao alfabetismo visual: uma proposta de ensino de desenho para o curso de design através da técnica de pontilhismo.** Ensaios em Design: ensino e produção de conhecimento. Bauru: Editora Canal 6, 2011.
- NAKATA, M. K., Silva, J. C. P. **Concept Art para Design: criação visual de objetos e personagens.** Bauru: Editora Canal6, 2013.
- NASA. **Virtual Reality**, 2010. Disponível em: <https://www.nasa.gov/mission_pages/shuttle/shuttlemissions/sts134/multimedia/gallery/2010-08-27.html>. Acesso em: 02/01/2017.
- NORMAN, D. **Design Emocional: por que adoramos (ou detestamos) os objetos do dia-a-dia**, Rio de Janeiro: Rocco, 2008.
- OCULUS. Disponível em: <www.oculus.com>. Acesso em 12/10/2016.
- OCULUS CONNECT 3, 2016. Disponível em: <<https://www.oculusconnect.com/>>. Acesso em 12/10/2016.
- OCULUS RIFT, Facebook. Disponível em: <<https://www.oculus.com/>>. Acesso em: 02/01/2017.
- OPDYKE, Dan; WILLIFORD, James S.; NORTH, Max. **Effectiveness of computer-generated (virtual reality) graded exposure in the treatment of acrophobia.** Am J Psychiatry, v. 1. N. 152, p. 626-25, 1995.
- OPEN BV E METRO RIO. Disponível em: http://openbvmetrorio.blogspot.com.br/2015_12_01_archive.html. Acesso em: 18/06/2016
- OWEN, J. V. **Simulation: art and science.** Manufacturing Engineering, 1995, pp. 61-63.
- PACKER, R.; JORDAN, K. **Multimedia: From Wagner to Virtual Reality.** WW Norton & Co. New York: 2001.
- PATRÃO, Bruno; MENEZES, Paulo. A virtual reality system for training operators. **International Journal of Online Engineering (iJOE)**, v. 9, n. S8, p. 53-55, 2013.
- PAUL, Ian. Disponível em: <<http://www.macworld.com/article/3040860/mac/oculus-rift-founder-reiterates-apples-macs-cant-handle-vr.html>>. Acesso em 10/10/2016.
- PELLEGRIN, Rodolfo Bez Batti De, et al. **Proposta técnica para expansão integrada da malha ferroviária de Santa Catarina**, 2014. Disponível em: <ht-

- tps://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/121997>. Acesso em: 13/12/2016.
- PEREIRA, Nelson. **Arte na Realidade Virtual: Experiências pioneiras na Academia Real Inglesa**. Disponível em: <<http://pt.euronews.com/2016/11/28/arte-na-realidade-virtual-experiencias-pioneiras-na-academia-real-inglesa>>. Acesso em: 02/01/2017.
- PILLAI, Jayesh S.; SCHMIDT, Colin; RICHIR, Simon. **Achieving presence through evoked reality**. *Frontiers in psychology*, v. 4, 2013.
- PLAYSTATION VR, Sony. Disponível em: <<https://www.playstation.com/en-us/explore/playstation-vr/>>. Acesso em: 02/01/2017.
- POPOVSKI, Filip et al. **Interactive Scientific Visualization in 3D Virtual Reality Model**. *TEM JOURNAL*, v. 5, n. 4, p. 435-440, 2016.
- PRATA, Dori. **Futuro da realidade virtual pode não estar nos games, diz engenheiro da Oculus**. Disponível em: <<http://meiobit.com/356094/futuro-da-realidadevirtual-pode-nao-estar-nos-games/>>. Acesso em: 02/01/2017.
- RAGAN, Eric D. et al. Effects of field of view and visual complexity on virtual reality training effectiveness for a visual scanning task. **IEEE transactions on visualization and computer graphics**, v. 21, n. 7, p. 794-807, 2015.
- REPORTER, Daily Mail. **Troops set to take virtual plunge: MoD launches £500,000 parachute jump simulator**, 2011. Disponível em: <<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-1361500/MoD-launches-500-000-parachute-jump-simulator.html>>. Acesso em: 12/12/2016.
- RESSLER, S. **Virtual reality for manufacturing - case studies, National Institute of Standards and Technology**, 1997. Disponível em: <<http://www.nist.gov/itl/div894/ovrt/projects/mfg/mfgVRcases.html>>. Acesso em: 13/10/2016.
- RHEINGOLD, H. **Virtual Reality**. Touchstone. New York: 1991.
- RIVA, G. **Virtual reality for health care: the status of research**. *Cyberpsychology & Behavior*, 2002, 5(3), 219-225.
- SANCHEZ-VIVES, Maria V.; SLATER, Mel. **From presence to consciousness through virtual reality**. *Nature Reviews Neuroscience*, 2005, v. 6, n. 4, p. 332-339.
- SANCHEZ-MECA J, Rosa-Alcazar AI, Marin-Martinez F, Gomez-Conesa A. **Psychological treatment of panic disorder with or without agoraphobia: a meta-analysis**. *Clin Psychol Rev*. 2010; 30 (1) : 37-50.

- SANKARANARAYANAN, Ganesh et al. Face and construct validation of a next generation virtual reality (Gen2-VR©) surgical simulator. **Surgical endoscopy**, v. 30, n. 3, p. 979-985, 2016.
- SANTOS, R., Maia, F. **A importância da usabilidade de interfaces para a qualidade do aprendizado mediado pelo computador**. Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade, Design de Interfaces e Interação Humano-computador, 5, 2005.
- SANTOS, V. A. **Comparação de eficácia da terapia cognitivo comportamental convencional e da terapia de exposição à realidade virtual para o tratamento do transtorno de pânico: um ensaio clínico randomizado e controlado**. Tese de doutorado. LABPR, Instituto de Psiquiatria. UFRJ, 2017.
- SCIENCE & SOCIETY, Picture Library Prints. **Reflecting stereoscope originally used by Charles Wheatstone, 19th century**. Disponível em: <<http://www.ssplprints.com/image/129529/reflecting-stereoscope-originally-used-by-charles-wheatstone-19th-century>>. Acesso em 10/10/2016.
- SCHMIDT, André et al. **Tactile Communication in Extreme Contexts: Exploring the Design Space Through Kiteboarding**. In: Human-Computer Interaction -INTERACT 2015. Springer International Publishing, 2015, pp. 37-54.
- SCHUBERT, T., FRIEDMANN, F., & REGENBRECHT, H. **The experience of presence: Factor analytic insights**. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 2001, v. 10, pp. 266-281.
- SHERMAN, W. R.; CRAIG, A. B. **Undersanding Virtual Reality: interface, application and design**. Morgan Kaufmann. San Francisco, CA: 2003.
- SLATER, Mel. **Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments**. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 364, n. 1535, p. 3549-3557, 2009.
- SLATER, Mel; WILBUR, Sylvia. **A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments**. Presence: Teleoperators and virtual environments, v. 6, n. 6, p. 603-616, 1997.
- SHUANG, Hou. Visualization Research on Realistic Forest Scene. **Revista de la Facultad de Ingeniería**, v. 31, n. 7, 2016.
- SILVA, J. C. P.; NAKATA, M. K.; SILVA, J. C. R. P e KAWAUCHI, P. **A técnica do lápis branco sobre fundo preto como expressão na concepção de novos produ-**

- tos.** In: Assentamentos Humanos: Revista de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Universidade de Marília, v. 18, n.º 2. CAET/UNIMAR, 2016.
- SHUANG, Hou. Visualization Research on Realistic Forest Scene. **Revista de la Facultad de Ingeniería**, v. 31, n. 7, 2016.
- STAR WARS. **Star Wars: The Force Awakens**. Disponível em: <<http://www.star-wars.co.uk/vr>>. Acesso em: 02/01/2017.
- STINSON, Cheryl; BOWMAN, Doug A. Feasibility of training athletes for high-pressure situations using virtual reality. **IEEE transactions on visualization and computer graphics**, v. 20, n. 4, p. 606-615, 2014.
- SUTHERLAND, I.E. **The Ultimate Display**. Proceedings of IFIP 65, 1965, vol 2.
- TCHALENKO, John. **Segmentation and accuracy in copying and drawing: Experts and beginners**. Vision research, v. 49, n. 8, p. 791-800, 2009.
- THE MARTIAN. **The Martian VR Experience**. Disponível em: <<http://store.steam-powered.com/app/350380/>>. Acesso em: 02/01/2017>.
- THE STATISTICS PORTAL, 2016. **Number of active virtual reality users worldwide from 2014 to 2018 (in millions)**. Disponível em <<http://www.statista.com/statistics/426469/active-virtual-reality-users-worldwide/>>. Acesso em: 10/10/2016.
- TILT BRUSH, Google. Disponível em: <<https://www.tiltbrush.com/>>. Acesso em: 07/01/2017.
- TORI, R.; KIRNER C.; SISCOOTTO, R. A. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Editora SBC, 2006.
- UNREAL ENGINE. **Virtual Reality Best Practices**. Disponível em: <<https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Platforms/VR/ContentSetup/>>. Acesso em: 02/01/2017.
- UE4ARCH. Disponível em: <ue4arch.com>. Acesso em: 12/10/2016.
- UE4 VR EDITOR. Disponível em: <<https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Engine/Editor/VR/>>. Acesso em: 02/01/2017.
- VAN OOSTERHOUT, J. et al. **Interactive virtual mock-ups for Remote Handling compatibility assessment of heavy components**. Fusion Engineering and Design, v. 89, n. 9, p. 2294-2298, 2014.

- VARSHNEY, Rickul et al. Development of the McGill simulator for endoscopic sinus surgery: a new high-fidelity virtual reality simulator for endoscopic sinus surgery. **American journal of rhinology & allergy**, v. 28, n. 4, p. 330-334, 2014.
- VIEW-MASTER. Disponível em: <<http://www.view-master.com/en-us>>. Acesso em: 10/10/2016.
- VIVE. Disponível em: <www.vive.com>. Acesso em 12/10/2016.
- VR MONKEY. **Dinos do Brasil**. Disponível em: <<http://www.dinosdobrasil.com.br/>>. Acesso em: 02/01/2017.
- VR ONE, Zeiss. Disponível em: <<http://vrone.us/flyfpv>>. Acesso em: 02/01/2017.
- WIEDERHOLD B. K. **Virtual Reality in the 1990s: What did we learn?** *Cyberpsychol Behav* 3(3):311-314, 2000.
- WITMER, B. G.; SINGER, M. J. **Measuring immersion in virtual environments**. Tech. Rep. 1014, YS Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, 1994.
- WHEATSTONE, Charles. **The Scientific Papers of Sir Charles Wheatstone**. Taylor & Francis, 1879.
- WHEATSTONE, Charles. **Contributions to the physiology of vision. On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision**. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, v. 128, p. 371-394, 1838.
- WSKG, 2014. Disponível em: <<http://wskg.org/history/view-master/>>. Acesso em: 10/10/2016.
- YOU VISIT. Disponível em: <<http://www.youvisit.com/tour/virtualreality/louvre-museum>>. Acesso em: 02/01/2017.
- YU, Insu et al. Visual realism enhances realistic response in an immersive virtual environment-part 2. **IEEE computer graphics and applications**, v. 32, n. 6, p. 36-45, 2012.
- ZUCKERBERG, Mark. **Facebook Social VR**. Disponível em: <<https://www.facebook.com/zuck/videos/10103154531425531/>>. Acesso em: 2/01/2017.
- ZUIN, Lídia. **Um breve panorama do mercado de Realidade Virtual**. Disponível em: <<http://www.updateordie.com/2016/07/04/um-breve-panorama-do-mercado-de-realidade-virtual/>>. Acesso em: 07/01/2017.