

<http://RVRA.EsemD.org>

INTRODUÇÃO a REALIDADE

AVERTADIA
org



EDIÇÃO ESPECIAL

SVR2020

Atenção

Esta é a versão estável
LIVRO RV & RA_3a_ed_SVR2020_R1.1-05_11_20.pdf
publicada em 5/11/2020

Link para *download* da versão mais recente:

RVRA.EsemD.org

Neste [documento online](#) você pode acompanhar a próxima versão em construção, além de incluir comentários com correções e sugestões.

Boa leitura.

Como citar esta obra

- ABNT TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva (org.).
Introdução a Realidade Virtual e Aumentada. Porto Alegre: Editora SBC, 2018.
- APA Tori, R. & Hounsell, M. S. (Eds.). (2018). *Introdução a Realidade Virtual e Aumentada*. Porto Alegre: Editora SBC
- MLA Tori, Romero, and Marcelo da Silva Hounsell, eds.
Introdução a Realidade Virtual e Aumentada. Porto Alegre: Editora SBC, 2018.
- IEEE R. Tori and M. S. Hounsell, Eds. *Introdução a Realidade Virtual e Aumentada*. Porto Alegre: Editora SBC, 2018.

Para citar um determinado capítulo faça a citação dos autores, seguido do título do artigo e inclua in: <uma das citações acima>.

Exemplo: citação do cap. 1 no formato ABNT

TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva; KIRNER, Claudio. Realidade Virtual; in: TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva (org.). **Introdução a Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre: Editora SBC, 2018.

I61 Introdução a realidade virtual e aumentada/ Romero Tori, Marcelo da Silva Hounsell, organizadores.
Porto Alegre (RS) : SBC, 2018.
446 p.: il.; 23 cm

Inclui bibliografia.
ISBN: 978-85-7669-446-5

1. Realidade virtual. 2. Realidade aumentada. I. Tori, Romero. II. Hounsell, Marcelo.
III. Sociedade Brasileira de Computação. IV. Título.

CDD: 006.6 - 1. ed.

Organizadores

Romero Tori
Marcelo da Silva Hounsell

Introdução a Realidade Virtual e Aumentada

3ª edição
(Pré-Simpósio SVR 2020)

Porto Alegre
Sociedade Brasileira de Computação - SBC
Comissão Especial de Realidade Virtual e Aumentada - CE-RV
2020

Introdução a Realidade Virtual e Aumentada

Romero Tori

Marcelo da Silva Hounsell

Organizadores

Anna Carolina Muller Queiroz

Produtora

Rodrigo Crissiuma

Capa

Editora

Sociedade Brasileira de Computação - SBC

2020

Este livro foi elaborado pela Comissão Especial de Realidade Virtual - CERV da SBC para difundir os conhecimentos fundamentais das áreas de Realidade Virtual e Aumentada. Sua versão DRAFT foi apresentada durante o XX Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (SVR 2017), realizado em Gramado-RS. O principal propósito desta obra é ser utilizada como material de apoio nas atividades dos pré-simpósios que fazem parte da programação do SVR. Periodicamente será atualizada pela CERV.

Atualizado, com inclusão dos capítulos 20, 21 e 22, para o Pré-Simpósio SVR 2020. Editores do suplemento SVR 2020: Cléber G. Corrêa e Eunice P. S. Nunes.

AUTORES

Alexandre Cardoso	João Luiz Bernardes Jr
Alexandre L'Erario	João Vitor de Matos Silva
Alinne C. Corrêa Souza	Jorge Fonseca e Trindade
Ana Grasielle Dionísio Corrêa	José Augusto Fabri
Anna Carolina Muller Queiroz	Keila K. Matsumura
Antonio Carlos Sementille	Leandro L. Dihl
Antonio L. Apolinário Jr.	Liliane S. Machado
Antonio Valerio Netto	Luciano Pereira Soares
Bruno Feijó	Luciano Silva
Claudio Kirner	Marcelo da Silva Hounsell
Cléber Gimenez Corrêa	Marcelo Hashimoto
Daniela Gorski Trevisan	Marcio E. Delamaro
Edgard Lamounier	Márcio Sarroglia Pinho
Eduarda Maganha de Almeida	Pedro M. Kayatt
Eduardo Filgueiras Damasceno	Polise de Marchi
Esteban Clua	Ricardo Nakamura
Eunice Pereira dos Santos Nunes	Robson Augusto Siscoutto
Ezequiel R. Zorzal	Rodrigo L. S. Silva
Fabiana Cecin	Romero Tori
Fábio A. C. Modesto	Rosa Maria E. M. da Costa
Fatima L. S. Nunes	Sergio Roberto Matiello Pellegrino
Gerson F. M Lima	Silvio Ricardo Rodrigues Sanches
Ildeberto Aparecido Rodello	Soraia Raupp Musse
Jauvane C. de Oliveira	Tales Bogoni
Jerônimo Freire	

Editores

Romero Tori
Marcelo da Silva Hounsell

Produtora

Anna Carolina Muller Queiroz

Os editores e autores dos capítulos da edição especial SVR2020 encontram-se na pg 422

Sumário

- [1 Realidade Virtual](#)
- [2 Realidade Aumentada](#)
- [3 Holografia](#)
- [4 Estereoscopia](#)
- [5 Hardware](#)
- [6 Software](#)
- [7 Dispositivos Móveis](#)
- [8 Ambientes virtuais online](#)
- [9 Metodologias de Desenvolvimento](#)
- [10 Técnicas de Interação](#)
- [11 Avaliação](#)
- [12 Processamento Gráfico](#)
- [13 Física, Química e Matemática](#)
- [14 Engenharias](#)
- [15 Saúde](#)
- [16 Arquitetura e Design](#)
- [17 Marketing de Produtos](#)
- [18 Jogos e Entretenimento](#)
- [19 Educação](#)
- [20, 21 e 22 Pré-Simpósio SVR 2020](#)

Glossário

Índice

1 Realidade Virtual	11
2 Realidade Aumentada	30
3 Holografia	60
4 Estereoscopia	75
5 Hardware	92
6 Software	103
7 Dispositivos Móveis	112
8 Ambientes virtuais online	120
9 Metodologias de Desenvolvimento	148
10 Técnicas de Interação	165
11 Avaliação	196
12 Processamento Gráfico	235
13 Física, Química e Matemática	275
14 Engenharias	288
15 Saúde	316
16 Arquitetura e Design	357
17 Marketing de Produtos	378
18 Jogos e Entretenimento	393
19 Educação	400
20, 21 e 22 Pré-Simpósio SVR 2020	422
Glossário	480

APRESENTAÇÃO

Em 2004, por ocasião do VII SVR, que ocorreu em São Paulo no Centro Universitário Senac, foi realizada a primeira edição do Pré-Simpósio (PS). Como naquele momento a Comissão Especial de Realidade Virtual (CE-RV) da SBC tinha como metas a internacionalização, a ampliação da comunidade, uma maior difusão do conhecimento e uma melhor formação de profissionais, a ideia do PS foi atrair, motivar e preparar novos participantes para o evento. Naquele ano o SVR foi realizado em conjunto com um evento sobre Mídias, a exemplo da parceria com o SBGames, a partir de 2017. Muitos participantes desse evento paralelo aproveitaram para conhecer melhor a área de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) participando do PS e do SVR. Como resultado do material que foi preparado para o PS foi gerado um livro, que no VIII SVR (2006) foi atualizado e seu PDF disponibilizado gratuitamente na Internet, sendo até hoje muito referenciado (<https://bit.ly/2w47YS9>). Dez anos depois a Profa Fátima Nunes, coordenadora geral do XIX SVR, entendeu que era o momento de resgatar o formato original do Pré-Simpósio e nos convocou para essa missão. O desafio foi grande mas conseguimos a colaboração de grandes profissionais e pesquisadores, que doaram parte de seu tempo para esse projeto coletivo, muitos deles participantes das edições de 2004 e de 2006. A exemplo dessas edições estamos publicando um livro que, esperamos, possa ser referência para pesquisas e formação em RV e RA. Parte do conteúdo da edição de 2006 continua válida e atual, tendo sido incorporada à esta nova edição. Esta obra será atualizada periodicamente. Por isso contamos com a comunidade de pesquisadores de RV e RA e com você, leitor, para nos enviar críticas e sugestões.

Bem-vindo(a) à realidade, seja ela virtual ou aumentada.
Boa leitura!

Romero Tori tori@usp.br
Marcelo da Silva Hounsell marcelo.hounsell@udesc.br
Editores

Junho de 2018

Em 2020 foi lançada a terceira edição, com a inclusão de três novos capítulos especialmente produzidos para o Pré-simpósio do SVR 2020. Os organizadores do pré-simpósio de 2020 e editores desses 3 capítulos adicionais foram:

Eunice Pereira dos Santos Nunes, da UFMT e
Cléber Gimenez Corrêa, da UFTPR.

Novembro de 2020

Parte 1: Introdução e Conceituação

1

1 Realidade Virtual

Romero Tori
Marcelo da Silva Hounsell
Claudio Kirner

Este capítulo apresenta os conceitos fundamentais relacionados à Realidade Virtual (RV), tais como sua definição, histórico e caracterização. São discutidos os conceitos de real, virtual, presença e imersão. O texto traz também uma visão geral sobre as principais tecnologias, técnicas, equipamentos, arquiteturas e aplicações da RV, temas esses que serão aprofundados nos demais capítulos deste livro.

1.1 Introdução

Aparentemente “Realidade Virtual” é um termo contraditório. Como algo que é virtual poderia ser ao mesmo tempo real? De fato, os ambientes virtuais são, ao mesmo tempo, reais. São realidades diferentes, alternativas, criadas artificialmente, mas são percebidas pelos nossos sistemas sensórios da mesma forma que o mundo físico à nossa volta: podem emocionar, dar prazer, ensinar, divertir e responder às nossas ações, sem que precisem existir de forma tangível (tocável). Até mesmo a tangibilidade já começa a fazer parte dos ambientes virtuais, tornando-os cada vez menos distinguíveis da “realidade real”.

A tecnologia hoje permite o acesso a ambientes sintéticos, imersivos e de alta definição, que conseguem nos transportar para realidades alternativas, a baixo custo. Basta um *smartphone* de última geração e um visor de papelão dobrável de custo irrisório para termos acesso a experiências imersivas que, há alguns anos, eram acessíveis a apenas poucos privilegiados com acesso a equipamentos caríssimos. Mas na essência, fora a economia de escala e o aprimoramento técnico (imagens com maior definição, sensores mais precisos, menos atrasos etc.), não há muita diferença entre conceitos, técnicas e tecnologias atuais e aqueles utilizados em gerações anteriores da realidade virtual. Os principais são discutidos a seguir.

1.1.1 Real e Virtual

É comum a contraposição entre real e virtual, como se o virtual fosse algo que de fato não existisse. Em alguns contextos, o termo virtual tem mesmo esse significado, como nas ilusões de óptica geradas por lentes e espelhos que produzem imagens que existem apenas em nossas mentes. Mas o que chamamos de realidade é formada por tudo aquilo que é captado por nosso sentidos. Logo, com exceção de coisas imaginadas na própria cabeça, seja durante o sonho ou provocadas por drogas ou doenças, todos os estímulos que vêm do meio externo e são percebidos pelos nosso sentidos, incluindo imagens atrás de espelhos ou projetadas tecnologicamente, compõem a nossa realidade.

O significado de “virtual” é “potencial” (do latim *virtus*, que significa força, energia, potência), ou seja, um elemento virtual é algo que tem potencial para vir a se tornar aquele elemento. Sementes de café possuem potencial para se tornar um cafézinho, mas também têm potencial para se transformar em plantas de café. O arquivo digital que representa um modelo 3D de uma chaleira tem potencial para se tornar uma chaleira de verdade, por meio de uma impressora 3D, mas também pode se tornar a imagem de uma chaleira exibida num tablet, por exemplo. Podemos então chamar sementes de café (reais) de cafézinho virtual, ou de planta de café virtual, assim como aquele arquivo do modelo 3D é uma chaleira virtual e também a imagem de uma chaleira virtual. A semente é real e ao mesmo tempo uma planta virtual, ou um cafézinho virtual. O arquivo digital é real e ao mesmo tempo um objeto virtual, ou imagem virtual. O que desencadeia a confusão que se faz com esses conceitos é que uma árvore virtual (semente) não pode ser ao mesmo tempo a árvore real. Mas isso não significa que a semente não seja real, ela apenas não é a árvore real. Ainda que seja algo diferente daquilo que virtualiza, o virtual certamente existe (caso contrário não teria potencial para nada).

Como visto, o arquivo digital de uma imagem é uma imagem virtual. Quando essa imagem é materializada, seja em papel, seja na tela de um computador, passa a ser real. Mesmo assim é usual continuarmos a chamar essa imagem de virtual. A foto de uma pessoa não é o virtual daquele indivíduo, uma vez que não tem potencial para nele se transformar. A foto é real e é a representação de algo, não é o virtual daquilo que representa. No entanto, tendo em vista que o termo virtual já é de uso comum quando nos referimos a elementos e ambientes criados por meios digitais (desde que não materializados por meio de impressora, de papel ou 3D), usaremos neste texto o seguinte significado para virtual, no contexto das tecnologias digitais, ainda que não rigorosamente aderente aos conceitos trazidos por filósofos, como Pierre Levy (2003), já discutidos acima :

“Virtual se refere a ambientes ou elementos que são sintetizados por meio de dispositivos digitais e que podem ser replicados de forma imaterial”.

Por outro lado utilizaremos a seguinte definição de real, tendo em vista nossa experiência prática e os objetivos desta obra:

“Real se refere a ambientes ou elementos que o usuário considere como sendo pertencentes à sua realidade.”

Na área de RV, durante muito tempo real e virtual eram tratados como mutuamente exclusivos. O objetivo da RV era tirar do usuário a percepção do mundo real e fazê-lo se sentir apenas no ambiente virtual, como continua a ser hoje. Na década de 1990, no entanto, surgiu o conceito de Realidade Aumentada (RA) (ver cap. 2) e a mistura entre real e virtual passou a ser uma possibilidade. Em 1994 um importante artigo publicado por Milgram e mais três colegas (Milgram et al., 1994) apresentou o que passou a ser conhecido como “Contínuo real-virtual” ou “Contínuo de Milgram” (Fig. 1.1).

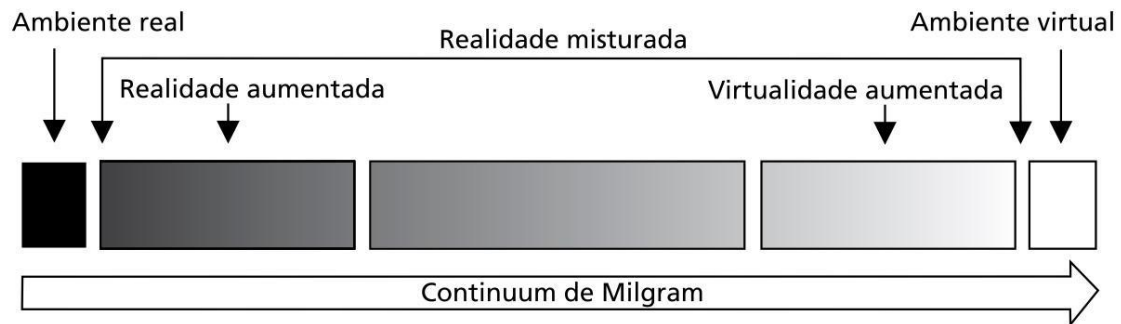


Figura 1.1 Contínuo Real-Virtual, conforme proposta por Milgram et al. (Milgram et al., 1994). Adaptado do original por Tori (2017).

A RV se situa no extremo direito, enquanto que o mundo “real” encontra-se no extremo esquerdo. A RA é obtida quando o usuário, sentindo-se no ambiente real, pode interagir com elementos virtuais devidamente registrados tridimensionalmente com o espaço físico real. Já a virtualidade aumentada (VA) ocorre quando o usuário é transportado para uma realidade sintética (virtual) enriquecida com elementos do mundo real. Um exemplo de VA é o chamado vídeo avatar (Siscoutto e Tori, 2004), técnica que captura o vídeo de uma pessoa em tempo-real e o introduz como um avatar no ambiente virtual. Outra possibilidade, que começa a ser utilizada em parques de diversão, é fazer com que as sensações do mundo real sejam incorporadas ao ambiente virtual, como numa montanha russa em que os participantes usam capacetes de RV e, portanto, não vêem nada do mundo real, mas os acontecimentos do ambiente virtual são registrados e sincronizados com os movimentos, esses reais, da montanha russa. Há autores, como Jerald (2015), que consideram os vídeos imersivos como um tipo de VA. Ainda que alguns autores prefiram fazer essa distinção, na prática é muito difícil definir os limites de onde termina um tipo de realidade e começa outro. A única distinção clara é aquela existente entre os ambientes totalmente virtuais, os totalmente reais e aqueles que misturam real e virtual em qualquer proporção. A denominação mais adequada para esse último é “Realidade Misturada”, como propõe o “Contínuo de Milgram”. No entanto, o termo “Realidade Aumentada” (RA) é hoje mais difundido e consolidado, usado muitas vezes como sinônimo de Realidade Misturada. Neste livro utilizaremos RA para englobar todas as variações de mistura entre real e virtual, ou seja, com o mesmo significado que “realidade misturada” exceto no capítulo 2 pois este trata especificamente e em maior profundidade este conceito e suas derivações e tecnologias.

1.1.2 Imersão e Presença

Imersão e presença são dois conceitos bastante relacionados com a RV e também entre si. O primeiro é objetivo, enquanto que o segundo é subjetivo.

Imersão se refere a quão preciso determinado sistema computacional é ao prover ao usuário a ilusão de uma realidade diferente daquela na qual este se encontra, ou seja, é o nível objetivo em que um sistema de RV envia estímulos aos receptores sensoriais do usuário. (Slater e Wilbur, 1997). Portanto, é possível mensurar e comparar a qualidade imersiva de sistemas de RV.

Tipicamente as variáveis que definem a imersão são (Cummings et al., 2012):

Qualidade da imagem: realismo e fidelidade da síntese de imagem, envolvendo resolução, frequência, qualidade do mapeamento de texturas, níveis de detalhamento.

Campo de visão: campo de visão que o usuário consegue ter ao interagir com o ambiente virtual.

Estereoscopia: possibilidade ou não de o sistema prover visão estereoscópica.

Rastreamento: graus de liberdade, precisão, tempo de resposta e outros atributos de qualidade do sistema de rastreamento.

Os parâmetros de imersão listados são fortemente focados no sentido da visão, o mais importante em sistemas de RV, mas a imersão pode também ser aprimorada com os demais sentidos, como audição e tato. Jerald (2015) faz uma caracterização mais abrangente das variáveis que definem o nível de imersão de um sistema:

Abrangência: quantidade de diferentes modalidades sensoriais propiciadas ao usuário, tais como visual, auditiva e tátil.

Combinação: congruência entre as diferentes modalidades sensoriais (exemplo: a imagem exibida corresponde ao movimento de cabeça, o som é sincronizado com a imagem etc.)

Envolvimento: extensão em que os sentidos são envolvidos panoramicamente (campo de visão, áudio espacial, rastreamento de movimentos da cabeça, etc.).

Vivacidade: qualidade da simulação (resolução, taxa de quadros, iluminação, fidelidade do áudio etc.)

Interatividade: capacidade de o usuário interferir no ambiente, resposta dos elementos do ambiente às ações do usuário e possibilidades de interferência em acontecimentos futuros.

Enredo: fluência, consistência e qualidade da narrativa e do comportamento do ambiente e dos elementos nele presentes.

É possível, portanto, se definir, e comparar, de forma objetiva o grau de imersão propiciado por determinados sistemas. Mas nem com o mais imersivo dos ambientes é possível garantir que o usuário irá de fato se sentir presente ao utilizá-lo.

Presença é um estado de consciência: a percepção psicológica que o usuário tem de estar no ambiente virtual (Slater; Wilbur 1997). Por ser uma percepção subjetiva é muito difícil fazer uma avaliação objetiva de quanto presente um usuário está se sentindo em determinado ambiente. Por esse motivo a técnica mais difundida de se medir a percepção de presença é por meio de questionários. Há questionários

padronizados e aceitos pela comunidade de pesquisadores desse campo para se mensurar presença (Laarni et al., 2015).

São inúmeras as tentativas de definir presença. Lombard e Jones (2015) fazem uma boa revisão dessas definições. Neste livro usaremos uma delas, proposta por Lombard e Ditton (Lombard e Ditton, 1997), pois tem como referência as mídias, tema de interesse para boa parte do público-alvo desta obra. Segue a definição:

“Presença é a ilusão perceptiva de não mediação.”

Tendo em vista o conceito de presença como ilusão de não existência de mediação, designers, engenheiros, cientistas da computação, profissionais de Interface Humano-Computador (IHC), entre outros envolvidos com o desenvolvimento de ambientes virtuais e aplicações de telepresença, podem tomar decisões objetivas de redução da “visibilidade” da mídia. Ainda que não se possa garantir a eficácia na percepção subjetiva de 100% das pessoas, tais ações objetivas (digamos trocar a tela de TV por uma projeção “holográfica” - ver Cap. 4) podem contribuir para aumentar a percepção de presença na maioria dos participantes. Usando-se prototipagens e as técnicas de mensuração da percepção de presença (Laarni et al., 2015) é possível avaliar estatisticamente, por meio de experimentos controlados envolvendo representantes do público-alvo, o grau de impacto na percepção de presença de determinada decisão de projeto.

Há 4 tipos de ilusão de presença (Jerald, 2015):

Espacial: sentir-se em determinado local.

Corporal: sentir que tem um corpo.

Física: poder interagir com os elementos do cenário.

Social: poder se comunicar com os personagens do ambiente.

1.1.3 Definição e Caracterização

Há muitas definições de Realidade Virtual (RV), algumas mais focadas em tecnologia, outras na percepção do usuário. Tori e Kirner (2006) definiram da seguinte forma:

“A Realidade Virtual (RV) é, antes de tudo, uma “interface avançada do usuário” para acessar aplicações executadas no computador, tendo como características a visualização de, e movimentação em, ambientes tridimensionais em tempo real e a interação com elementos desse ambiente. Além da visualização em si a experiência do usuário de RV pode ser enriquecida pela estimulação dos demais sentidos como tato e audição.”

Nesta obra usaremos a definição de Jerald (2015):

“Realidade Virtual é definida como um ambiente digital gerado computacionalmente que pode ser experienciado de forma interativa como se fosse real.”

1.1.4 Arquiteturas de sistemas

A Figura 1.2 mostra um diagrama simplificado do processamento de um sistema de RV.

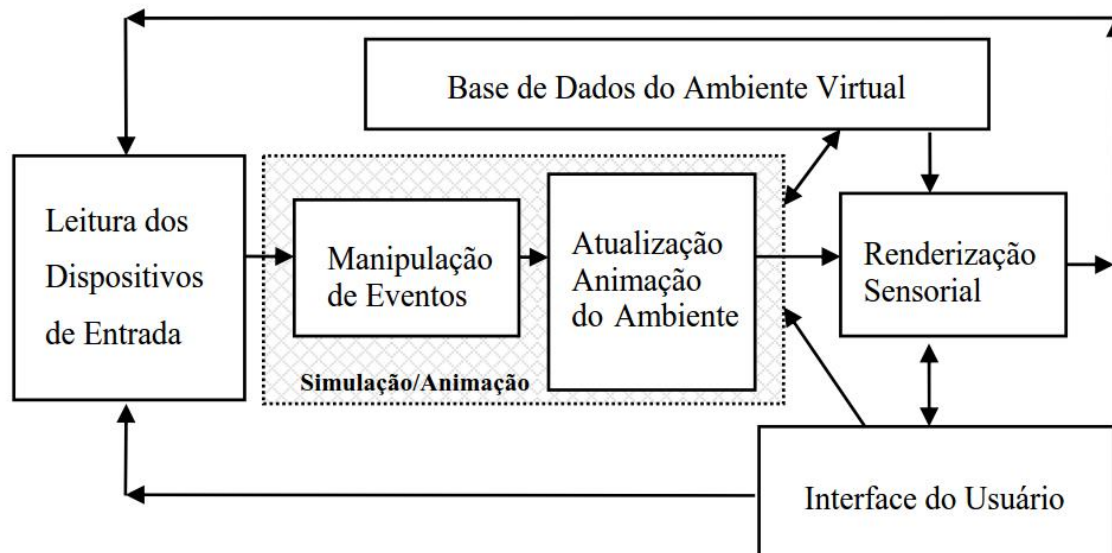


Figura 1.2. Processamento do sistema de Realidade Virtual.

Um ciclo de processamento pode ser resumido em: leitura dos dados dos dispositivos de entrada, execução da simulação/animação e renderização sensorial. A renderização sensorial é considerada de forma ampla e engloba: renderização visual, auditiva e háptica. Considerando que o sistema funciona em tempo real, o tempo entre a leitura dos dados de entrada e a respectiva renderização é chamado tempo de latência ou tempo de reação do sistema. Para não causar desconforto e garantir a condição de presença do usuário, o tempo de latência deve ser baixo (< 20 ms). Atualmente os dispositivos de Realidade Virtual já oferecem tempo de resposta menor que 10 ms.

Para alcançar um tempo de resposta baixo, algumas das abordagens utilizadas são:

- 1) Utilizar a técnica de Timewarp/Reprojection;
- 2) Diminuir o tempo de atualização de todos os pixels;
- 3) Aumentar a taxa de atualização;
- 4) Otimização de GPU buffering;
- 5) Previsão do movimento da cabeça do usuário.

Os computadores usados para suportar sistemas de RV variam de dispositivos móveis e computadores pessoais, equipados com placas gráficas adequadas, até estações de trabalho com múltiplos processadores ou mesmo redes de computadores trabalhando como *grids* ou *clusters*. Na prática, o ambiente computacional deverá ser

tal que consiga coordenar a visualização e os sinais de entrada e saída em tempo real com uma degradação aceitável.

O sistema deverá possuir canais de entrada e saída para interagir com o usuário. Os canais de entrada são basicamente usados para coletar a posição e orientação da cabeça e das mãos do usuário e, eventualmente, a situação de dispositivos de tato e força. Os canais de saída são usados para a visualização, emissão do som e emissão de reação de tato e força. A descrição do ambiente virtual constitui-se de um banco de dados que deve ser carregado na memória sempre que for necessário. Quando a quantidade de informação for muito grande, ela deverá ser carregada por partes de acordo com a navegação do usuário, pois somente a vizinhança será visível. Dependendo do tipo de sistema de computação e do número de usuários, o banco de dados poderá ser único, replicado ou particionado.

Em qualquer sistema de RV, os serviços de tempo real são fundamentais, pois têm a função de coordenar os outros componentes e de fazê-los se comportar coerentemente. As tarefas típicas RV, o controle dos canais de E/S, o tratamento da detecção de colisão, o gerenciamento dos recursos de rede e do processador, entre outros. De alguma maneira, todas essas tarefas deverão funcionar com a velocidade suficiente para assegurar o comportamento em tempo real. Uma maneira natural de organizar o software do sistema de RV é dividir os serviços em processos que possam ser executados em paralelo num sistema de multiprocessamento. Esses processos autônomos incluem as tarefas de rastreamento da cabeça e mãos, detecção de colisão, tratamento de áudio, controle do comportamento reativo, geração de imagens, simulação física, gerenciamento do banco de dados, tratamento dos gestos, controle de outros periféricos e da rede, tratamento da interface do usuário, etc. Isto reduz a latência, assegurando o desempenho necessário do sistema.

Assim, um sistema de RV apresenta dois componentes básicos: hardware e software. O hardware engloba os dispositivos de entrada, displays multisensoriais, processadores e redes. O software inclui controladores de simulação/animação, ferramentas de autoria, banco de dados de objetos virtuais, funções de interação e interface de entrada e saída.

1.1.4.1 Hardware

O hardware de RV envolve uma grande variedade de dispositivos de entrada, que servem para ajudar o usuário a se comunicar com o sistema de RV. Entre esses dispositivos, podem-se citar: rastreadores, luvas eletrônicas, mouses 3D, teclado, joystick, reconhecedores de voz, etc.

Os displays são tratados como elementos sensoriais de saída, envolvendo mais do que a visão. Entre os elementos de saída, estão os displays visuais, os displays de áudio e os displays hápticos. Os processadores são elementos importantes do sistema de RV, que têm se beneficiado dos avanços tecnológicos e das tendências de mercado de videogames, dirigindo-se para aplicações tridimensionais complexas. Eles envolvem tanto os processadores principais, quanto os processadores de apoio existentes em placas gráficas, sonoras e outras placas de processamento

especializado. Além disso, o hardware pode envolver ambientes de processamento paralelo e de supercomputadores.

O capítulo 5 aprofunda a discussão sobre hardware para RV e RA.

1.1.4.2 Software

Sistemas de RV são complexos e envolvem interações em tempo real entre muitos componentes de hardware e software. O software de RV atua na fase de preparação do sistema, como software de autoria de ambientes 3D, e na fase de execução, como *run-time support*. O software de autoria pode envolver: linguagens, como C++, C#, Java ou Python; bibliotecas gráficas, como OpenGL, WebGL ou X3D; ou mesmo game engines, como OGRE, UNREAL, Unity 3D e outros. Game engines têm sido a opção preferida dos desenvolvedores, principalmente Unreal e Unity 3D, dada a facilidade propiciada por seus ambientes de desenvolvimento, por oferecerem suporte para a maioria dos dispositivos e HMDs do mercado, e por gerarem aplicativos e executáveis para diferentes plataformas e sistemas operacionais. Esse dois citados engines são comerciais mas oferecem licenciamento gratuito para uso pessoal e/ou sem fins lucrativos. A preparação dos ambientes virtuais envolve modelagem 3D, preparação e manipulação de texturas, manipulação de som, elaboração de animações, etc.

Como *run-time support*, o software de RV deve: interagir com os dispositivos especiais; cuidar da interface com o usuário; tratar de visualização e interação; controlar a simulação/animação do ambiente virtual; e implementar a comunicação em rede para aplicações colaborativas remotas. Em alguns casos, o software de realidade virtual precisa ser complementado com outros recursos, como ocorre com a linguagem WebGL, que deve ser integrada com a linguagem Javascript, para permitir o desenvolvimento de ambientes executados por *browsers*. Em outros casos, o software de realidade virtual já possui esses recursos, ou módulos opcionais, que permitem seu uso de forma completa, como os ambientes Unity 3D e Unreal.

O capítulo 6 aprofunda a discussão sobre software para RV e RA.

1.1.4.3 Redes de Computadores

As redes de computadores, embora sejam elementos opcionais, estão cada vez mais sendo incorporadas em aplicações de realidade virtual, principalmente com o crescimento dos recursos da Internet e da tendência de aumento no uso de trabalhos colaborativos em diversas áreas. Entretanto, pelo fato da RV não demandar tráfego de imagens na rede, embora use *downloads* esporádicos de textura, a vazão necessária é muito baixa. Isto faz com que uma rede de computadores tenha condições de acomodar centenas ou milhares de usuários em aplicações colaborativas. A rede deverá fazer o *download* das aplicações, no início da execução, e a comunicação de poucos dados de informação e de posicionamento dos objetos virtuais do cenário, ao longo da execução. Além disso, para diminuir ainda mais o tráfego dos dados na rede, durante a execução, são usadas técnicas que economizam tráfego, como *dead-reckoning*, e nível de detalhes (*level of details* -

LOD). A técnica de *dead-reckoning* permite que a aplicação só envie dados no caso de diferirem de um certo valor dos dados calculados remotamente, enquanto que o nível de detalhes é muito útil para os casos de *download* dinâmico de partes do mundo virtual. Dependendo da distância do usuário, versões simplificadas dos objetos virtuais podem ser baixadas para o computador.

1.2 Histórico

Coube a um cineasta, na década de 1950, a concepção do primeiro dispositivo que propiciava a imersão dos sentidos do usuário em um mundo virtual tridimensional, a um engenheiro, na década de 1960, a construção do primeiro capacete de RV e a um profissional misto de artista e cientista da computação, na década de 1980, a proposta do termo que veio a consolidar-se como denominação da área tema deste livro. Como se vê, apesar de ser relacionada com tecnologia computacional de ponta, a Realidade Virtual não é uma área de pesquisa tão recente quanto possa parecer, nem restrita a profissionais da computação. De fato, a RV trabalha na ponta do desenvolvimento científico e tecnológico, buscando sempre interfaces interativas mais próximas aos sentidos humanos. Contudo, o que hoje é considerado RV pode vir a ser a interface padrão do computador do futuro, e realidade virtual passar a ser a denominação de alguma nova tecnologia, que neste momento está sendo concebida nos laboratórios de pesquisa. Hoje, diversas outras áreas de pesquisa e desenvolvimento também se apropriam e se beneficiam dos avanços da tecnologia de RV, como os jogos de computador, as interfaces homem-máquina e as artes.

O termo Realidade Virtual (RV) foi cunhado no final da década de 1980 por Jaron Lanier (Biocca e Levy, 1995 p. 35), artista e cientista da computação que conseguiu convergir dois conceitos aparentemente antagônicos em um novo e vibrante conceito, capaz de captar a essência dessa tecnologia: a busca pela fusão do real com o virtual. No entanto, foi muito antes da denominação definitiva que surgiram as primeiras propostas e os primeiros resultados que alicerçaram a Realidade Virtual. Na década de 1960, logo após criar o Sketchpad (Figura 1.3), sistema com o qual fincou as bases do que hoje conhecemos como computação gráfica, Ivan Sutherland passou a trabalhar no que chamou de “Ultimate Display” (Sutherland, 1965) (Packer e Jordan, 2002) e produziu, no final da década de 1960, o primeiro capacete de RV (Figura 1.4), precursor de uma série de pesquisas e desenvolvimentos que hoje possibilitam aplicações como aquelas descritas no Capítulo 6 deste livro.



Figura 1.3. Ivan Sutherland e seu projeto Sketchpad, no MIT, em 1963.
Fonte: <http://www.sun.com/960710/feature3/sketchpad.html>



Figura 1.4. Head-mounted display desenvolvido por Ivan Sutherland.
Fonte: <http://www.sun.com/960710/feature3/ivan.html>

Em um de seus experimentos mais interessantes, Sutherland demonstrou a possibilidade da imersão e da telepresença ao acoplar um *head-mounted display* (HMD) a duas câmeras, posicionadas na laje de um edifício, cujos movimentos eram diretamente controlados pelos da cabeça do observador usando o capacete no interior do edifício (Figura 1.5). As sensações, reações e movimentos do observador remoto, e até mesmo o pânico ao olhar para baixo a partir do ponto de vista das câmeras foram similares aos que o observador teria, se efetivamente, estivesse no topo do edifício.

Ainda, antes das citadas pesquisas do engenheiro Ivan Sutherland, na década de 1950, o cineasta Morton Heilig, considerado como o primeiro a propor e criar sistemas imersivos, já imaginava o “cinema do futuro” (Heilig, 2002), chegando a produzir um

equipamento denominado SENSORAMA (Figura 1.6). No Sensorama, o usuário era submetido a diversas sensações, movimentos, sons, odores, vento e visão estereoscópica (veja Capítulo 4), que causavam uma experiência de imersão até então inimaginável. Heilig não conseguiu transformar sua invenção em sucesso comercial, mas certamente semeou as idéias que levaram ao desenvolvimento do que hoje conhecemos como Realidade Virtual.



Figura 1.5. Experimento de telepresença realizado por Ivan Sutherland em 1966.
Fonte: <http://www.sun.com/960710/feature3/ivan.html>



Figura 1.6. Cartaz de divulgação do Sensorama.
Fonte: <http://www.telepresence.org/sensorama/index.html>

1.3 Tecnologia

A tecnologia de RV envolve todo o *hardware* utilizado pelo usuário para participar do ambiente virtual. Estão incluídos aí os rastreadores, os capacetes ou HMDs, os navegadores 3D, as luvas eletrônicas, os fones de ouvido, os dispositivos de reação e outros dispositivos específicos (Vince, 1995; Vince, 2004; Sherman e Craig, 2002). Várias técnicas têm sido utilizadas para monitorar a posição e a orientação de objetos no espaço tridimensional, mas um método bastante popular utilizado é o eletromagnético. Um transmissor estacionário emite sinais eletromagnéticos que são interceptados por um detector conectado à cabeça ou mãos do usuário, revelando a posição relativa e orientação entre emissor e receptor. Um exemplo de uso dessa tecnologia é o HMD HTC Vive. Há também soluções em que o emissor encontra-se no capacete, como por exemplo no Oculus Rift. Geralmente, o alcance desses rastreadores atinge poucos metros, restringindo seu uso. Além disso, os cabos de conexão com o capacete e luvas também restringem o alcance dos movimentos, fazendo com que o usuário utilize outras técnicas de navegação dentro do mundo virtual como “sobrevôo” e “teletransporte”.

Um HMD (Figura 1.7) tem a função de ser imersivo, isolando o usuário do mundo real. Seu projeto envolve dois pequenos displays de cristal líquido com dispositivos ópticos para fornecer um ponto focal confortável e propiciar visão estereoscópica. Um navegador 3D, também conhecido como mouse 3D, tem a função de permitir a movimentação do usuário pelo mundo virtual. Sua posição e orientação são monitoradas de forma parecida com aquela usada no capacete. Além disso, o navegador também possui botões que são usados para executar funções especiais como agarrar objetos tocados por um ícone controlado pelo navegador.



Fig. 1.7 Exemplo de HMD (Oculus)

Uma luva, por sua vez, permite monitorar o estado dos dedos da mão do usuário, através de sensores como fibra ótica, por exemplo. As características de uma fibra ótica colocada ao longo do dedo são alteradas com a flexão, permitindo a captura dos movimentos e sua transferência para uma mão virtual ou para controle direto do mundo virtual. Um rastreador acoplado no dorso da luva permite monitorar sua posição e orientação. Um fone de ouvido conjugado permite explorar as diferenças de intensidade e de atrasos na propagação do som entre dois ouvidos, gerando a sensação de sonorização tridimensional. Isto permite que o usuário seja induzido a movimentar-se na direção de uma fonte sonora virtual, fornecendo um elemento complementar importante para a obtenção de realismo dentro do mundo virtual.

A tecnologia dos dispositivos de reação envolve a área de atuação do tato e força, tanto nos sensores quanto nos atuadores. Isto inclui a habilidade de distinguir diferentes texturas de superfícies até forças variáveis, atuando sobre a mão, por exemplo. Como as mãos do usuário exercem um papel importante na interação com os objetos de um mundo virtual, espera-se que a colisão da mão com um objeto virtual gere um som e uma sensação de toque na mão. O Capítulo 5 apresenta em maiores detalhes os dispositivos de RV.

1.4 Técnicas de Interação

Os computadores são elementos interativos por natureza e para isso utilizam uma série de dispositivos, incluindo aqueles que utilizam a tecnologia de Realidade Virtual. A interação no mundo virtual busca interfaces intuitivas e transparentes para o usuário, envolvendo, por exemplo, ações como voar, ser teletransportado, pegar objetos, utilizar gestos para comandar o sistema, etc.

As interações podem ocorrer em ambientes imersivos, quando realizadas em sistemas baseados em HMDs ou com múltiplas projeções, como CAVEs, e em

ambientes não imersivos, quando realizadas em sistemas baseados em monitores ou em projeções simples. Usando dispositivos de interação como luvas eletrônicas e navegadores 3D, o usuário pode interagir com o mundo virtual, vivenciando a mesma experiência de interação, descontando as sensações de imersão ou não imersão. Além das interações individuais, os sistemas multiusuários vêm propiciando a oportunidade de interação entre várias pessoas dentro do mundo virtual, competindo ou cooperando em determinadas tarefas.

As interações no ambiente virtual estão dentro do contexto da interface do sistema, envolvendo a interface com os dispositivos e a interface com o usuário. A interface com os dispositivos engloba os recursos de hardware, como os dispositivos e suas ligações, além do software de controle, chamado device driver. As interações ocorrem, através do uso dos dispositivos. A interface do usuário envolve as ações executadas na sua relação com o ambiente 3D. O usuário pode simplesmente observar o funcionamento do ambiente virtual simulado animado, tendo uma experiência passiva, ou ser um agente do sistema, interferindo em seu funcionamento.

As interações do usuário abrangem: navegação, seleção, manipulação e controle do sistema (Laviola et al., 2017). A navegação refere-se à movimentação do usuário dentro do ambiente virtual. Ela envolve a viagem (travel), que consiste na movimentação mecânica no ambiente, e a definição do trajeto (wayfinding), que é a componente cognitiva da navegação. A viagem é usada para explorar, buscar e manobrar, envolvendo seleção de direção, objetivo, velocidade, aceleração e ações como: iniciar o movimento, indicação de posição e orientação e parar o movimento. Definição do trajeto é um processo de tomada de decisão, que permite o estabelecimento do caminho a ser seguido. Ele depende do conhecimento e do comportamento espacial do usuário e de elementos de ajuda artificiais como mapas, bússolas, placas de sinalização, objetos de referência cenários artificiais trilhas, além de elementos de áudio e de olfato, etc.

A seleção consiste na escolha de um objeto virtual para ser manipulado. Ela envolve três passos: indicação do objeto, confirmação e realimentação. A indicação normalmente é feita com os dedos ou com as mãos, dirigindo algum dispositivo de entrada. Ela pode ocorrer por oclusão, toque no objeto, apontamento ou de maneira indireta. O sistema deve mostrar a seleção, usando elementos visuais, auditivos ou hápticos, como mudar cor, piscar, emitir som, emitir reação, etc. Para que a seleção tenha efeito, ela deve ser confirmada, o que pode ser feito, através de eventos tais como: clique do mouse, apertado de tecla, gesto, comando de voz ou outra ação. Novamente, deverá haver uma realimentação, indicando que a ação ocorreu.

A manipulação de um objeto selecionado consiste na alteração de sua posição, através de translação ou rotação, ou de suas características, envolvendo escala, cor, transparência, textura. O objeto selecionado pode ser também: apagado, copiado, duplicado, deformado ou alterado por outras ações. O controle do sistema consiste na emissão de comandos do usuário para serem executados pelo sistema. Os comandos podem ser emitidos, através de menus gráficos, comandos de voz, comandos gestuais, ou através de dispositivos de comando específicos. O Capítulo 12 apresenta o processo de interação em maiores detalhes.

1.5 Desafios

Ainda que já se encontre em um patamar bastante evoluído, a ponto de poder ser utilizada em treinamentos de cirurgia, tratamentos médicos, projetos de engenharia e em parques de diversão, há ainda alguns desafios a serem vencidos pelos pesquisadores da área de Realidade Virtual. Listamos alguns dos principais, tendo como base Jerald (2015).

1.5.1 Uncanny Valley

O conceito de Uncanny Valley foi proposto por Mori (1970) a partir de estudos com robótica. Ele observou que à medida que os robôs vão ficando mais parecidos com humanos, seja na aparência ou no comportamento, as pessoas vão se sentindo mais confortáveis. Surpreendentemente, contudo, quando o realismo se aproxima muito de seres reais as pessoas passam a sentir forte aversão. É preciso ultrapassar esse ponto, tornando os robôs quase que indistinguíveis de seres humanos para que essa aversão, o chamado *uncanny valley*, cesse. A consequência relevante para designers de personagens virtuais é que muitas vezes é possível obter melhores resultados utilizando-se um estilo *cartoon* do que buscando-se criar personagens quase realistas.

1.5.2 Fidelidade

Assim como simular personagens que se aproximam da aparência e comportamento humanos pode levar a resultados piores que simulações menos realistas, a fidelidade à realidade nem sempre é necessária ou a melhor solução na criação de ambientes virtuais. É possível induzir sensação de presença em ambientes estilo *cartoon*, desde esses que respondam adequadamente aos estímulos, os movimentos sejam realistas, a percepção de profundidade adequada, entre outras pistas que nossa mente identifica. O fotorrealismo demanda altos custos e nem sempre dá os melhores resultados.

Os aspectos de fidelidade que podem ser observados durante o design de um ambiente virtual, conforme Jerald (2015), são:

Representação

Nível de qualidade da simulação de um ambiente, podendo chegar ao fotorrealismo.

Interação

Grau de similaridade entre as reações físicas no ambiente virtual e suas correspondentes no mundo real.

Experiência

Grau de similaridade entre a experiência do usuário no ambiente virtual e que teria no correspondente ambiente real.

1.5.3 Ergonomia

Os dispositivos de entrada e saída evoluíram bastante, mas ainda são desconfortáveis e pouco práticos. O uso contínuo de HMDs, por exemplo, pode provocar fadiga e desconforto. Além disso algumas pessoas mais sensíveis podem sentir enjôos ou tonturas ao usar dispositivos imersivos. Isso porque a mente monitora vários sinais do corpo que podem contradizer os estímulos visuais gerados pelo dispositivo imersivo. O corpo pode estar em repouso enquanto que na RV se move, o equilíbrio do corpo informado pelo sistema vestibular pode ser incompatível com o que ocorre no ambiente virtual, a convergência ocular pode indicar uma profundidade enquanto que o visor imersivo apresenta outra. Quando a mente percebe que sua percepção visual difere da proprioceptiva interpreta como sinal de mal estar ou alucinação, que pode causar reação de enjôo, num ato reflexo natural visando expelir eventuais substâncias maléficas presentes no organismo.

1.6 Aplicações

Embora seja imenso o potencial de aplicações da RV, serão aqui relacionadas algumas das principais (Vince, 1995) (Vince, 2004) (Sherman, 2003). A parte 3 deste livro (capítulos 13 a 19) apresenta algumas destas e também outras aplicações em maiores detalhes.

1.6.1. Aplicações Industriais

O uso de CAD em aplicações industriais tem sido bastante difundido, sendo desnecessário frisar a importância da visualização 3D de um objeto, antes de ser produzido. A RV, entretanto, vai além, permitindo sua inspeção em tempo real e, eventualmente, um alto grau de interação com o objeto sob análise. Algumas aplicações industriais de RV são: visualização de protótipos; treinamento; avaliação de fatores ergonômicos; simulação de montagens; simulação da dinâmica de estruturas articuladas; análise de tensões; simulação do processo produtivo; estudo de técnicas de engenharia; planejamento; túnel de vento virtual; etc.

1.6.2. Aplicações Médicas e em Saúde

Os computadores tiveram um grande impacto na medicina, desde a monitoração de pacientes até processamento de imagens tomográficas tridimensionais. No entanto, as aplicações de RV na medicina foram muito além, possibilitando, por exemplo, o treinamento cirúrgico em cadáveres virtuais. Algumas aplicações de realidade virtual na medicina e saúde são: ensino de anatomia; visualização com RA; planejamento cirúrgico; simulação cirúrgica; terapia virtual; tratamento de deficientes; fisioterapia virtual; cirurgias pouco invasivas; etc.

1.6.3. Aplicações em Arquitetura e Projeto

Esta área utiliza-se intensamente de CAD e pode ser complementada com RV para: projeto de artefatos; planejamento da obra; inspeção tridimensional em tempo real; interação em tempo real; decoração de ambientes; avaliação acústica; etc.

1.6.4. Aplicações Científicas

Esta é uma vasta área que pode servir-se da RV para mostrar conceitos abstratos, comportamento de elementos muito grandes, como galáxias, ou muito pequenos, como estruturas atômicas, e outras características científicas. Dentre as diversas aplicações tem-se: visualização de superfície planetárias; síntese molecular; visualização de elementos matemáticos; análise de comportamento de estruturas atômicas e moleculares; análise de fenômenos físico-químicos; etc.

1.6.5. Aplicação em Artes

A área de artes também pode receber um grande diferencial com RV. Pinturas em relevo, esculturas, museus virtuais com detalhes nas paredes e teto, além das próprias obras de arte, música com instrumentos virtuais, etc são algumas das aplicações possíveis. Isto pode dar aos artistas e ao público em geral dimensões jamais vistas ou sentidas, através da eliminação ou alterações das restrições do mundo real ou da ampliação da imaginação.

1.6.6. Aplicações em Educação

A área de educação tem muito a ganhar com RV, tanto no ensino convencional quanto no ensino à distância. Algumas aplicações incluem: laboratórios virtuais; encontros remotos de alunos e professores para terem uma aula ou alguma atividade coletiva; participação em eventos virtuais; consulta a bibliotecas virtuais; educação de excepcionais, etc.

1.6.7. Aplicações em Visualização e Controle da Informação

Cada vez mais é necessário o acesso rápido e adequado a conjuntos complexos de informações para as mais variadas aplicações de tomada de decisão. O espaço bidimensional é muito limitado para isto, de forma que a representação e o posicionamento de informações no mundo virtual tridimensional vem agregar um grande potencial para aplicações como: visualização financeira; visualização de informações em geral; informação virtual; visualização de simulação de sistemas complexos; etc.

1.6.8. Aplicações em Entretenimento

Aplicações em entretenimento têm a vantagem de atingir escalas de consumo bastante altas, viabilizando o lançamento de uma série de produtos. É o caso dos videojogos que viabilizaram os chips de microprocessadores e alguns periféricos de RV de baixo custo. Dentre as diversas aplicações, além dos videojogos tridimensionais com interação em tempo real, tem-se: turismo virtual; passeio ciclístico virtual; esportes virtuais; cinema virtual; etc.

1.6.9. Outras Aplicações

Há muitas outras aplicações, envolvendo: treinamento; cidades virtuais; comércio eletrônico; modelagem; simuladores; estúdios virtuais; etc. Além disso, novas aplicações surgem a cada dia, dependendo da necessidade e da imaginação de cada

um. A RV vem propiciando uma nova maneira de ver coisas conhecidas ou o desenvolvimento de novas aplicações.

1.7 Considerações do capítulo

A RV possibilita a criação de realidades alternativas por meio de tecnologia computacional, possibilitando a simulação de ambientes e sistemas reais, como também a criação de experiências que são possíveis apenas no ambiente virtual. Essa tecnologia começou a ser desenvolvida na década de 1960 e até a primeira década do século XXI era restrita a laboratórios de pesquisa e grandes empresas, dado o altíssimo custo de equipamentos e dispositivos. Hoje os dispositivos de entrada e saída, em particular os HMDs são encontrados a preços acessíveis e, com a evolução da capacidade de processamento dos processadores, é possível executar ambientes de RV até mesmo em celulares e tablets.

O potencial de aplicações da RV é bastante amplo, pois possibilita vivenciar praticamente qualquer experiência do mundo real, além de outras que possam ser imaginadas, a um custo baixo e sem riscos.

Referências

- BIOCCA, Frank; LEVY, Mark R. (Ed.). **Communication in the age of virtual reality**. Lawrence Erlbaum Associates, 1995.
- CUMMINGS, James J.; BAILENSEN, Jeremy N.; FIDLER, Mallyn J. How Immersive is Enough?: A Foundation for a Meta-analysis of the Effect of Immersive Technology on Measured Presence. In: **Proceedings of the International Society for Presence Research Annual Conference**. 2012.
- HEILIG, Morton. **The cinema of the future**. Translated by Uri Feldman. In *Multimedia: From Wagner to Virtual Reality*. Edited by Randall Packer and Ken Jordan. Expanded ed. New York: WW Norton, p. 239-251, 2002.
- JERALD, Jason. **The VR book: human-centered design for virtual reality**. Morgan & Claypool, 2015.
- LAARNI, Jari et al. Ways to measure spatial presence: Review and future directions. In: **Immersed in Media**. Springer International Publishing, 2015. p. 139-185.
- LAVIOLA JR, Joseph J. et al. **3D user interfaces: Theory and practice**. Addison-Wesley Professional, 2017.
- LÉVY, Pierre. **Que é o Virtual?**, O. Editora 34, 2003.
- LOMBARD, Matthew; DITTON, Theresa. At the heart of it all: The concept of presence. **Journal of Computer-Mediated Communication**, v. 3, n. 2, p. 0-0, 1997.
- LOMBARD, Matthew; JONES, Matthew T. Defining presence. In: **Immersed in Media**. Springer International Publishing, 2015. p. 13-34.
- MILGRAM, Paul et al. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In: **Telemanipulator and telepresence technologies**. 1994. p. 282-292.
- MORI, Masahiro. The uncanny valley. **Energy**, v. 7, n. 4, p. 33-35, 1970.

-
- PACKER, Randall; JORDAN, Ken (Ed.). **Multimedia: from Wagner to virtual reality**. WW Norton & Company, 2002.
- SHERMAN, William R.; CRAIG, Alan B. **Understanding virtual reality: Interface, application, and design**. Elsevier, 2002.
- SISCOOTTO, Robson Augusto; TORI, Romero. AVTC-Augmented virtuality tele-conferencing. In: **Proceedings of VII Symposium on Virtual Reality**. 2004. p. 124-136.
- 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.
- SUTHERLAND, I. E. The Ultimate Display. In: **Proceedings of the IFIP Congress**. 1965. p. 506-508.
- TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson Augusto. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Editora SBC, 2006.
- TORI, Romero. **Educação sem distância**. 2.ed. Artesanato Educacional, 2017.
- VINCE, John. **Virtual reality systems**. Pearson, 1995.
- VINCE, John. **Introduction to virtual reality**. Springer Science & Business Media, 2004.

2

2 Realidade Aumentada

Marcelo da Silva Hounsell

Romero Tori

Claudio Kirner

Neste capítulo vamos nos aprofundar na Realidade Aumentada (RA) que é uma tecnologia que vem recebendo muita atenção recentemente e já está madura e robusta para uso em várias áreas do conhecimento humano. Vamos apresentar definições, técnicas e tecnologias envolvidas, comparações com a Realidade Virtual (RV), terminando com um panorama de aplicações. Ao final deste capítulo, abordaremos também outras denominações e visões de realidade mediada por computador.

O capítulo está estruturado de forma a apresentar a área inicialmente de uma forma ampla, apresentando classificações para que o leitor possa ter uma visão geral da área. Mais ao final, procurou-se distinguir os aspectos relacionados aos dispositivos de entrada, dispositivos de saída e de processamento de um sistema de RA.

Quando terminar de ler este capítulo você vai ter uma visão mais ampla e crítica sobre estas tecnologias, o que ela oferece e até onde pode chegar. Saber identificar qual tipo de solução se adequa melhor ao seu problema é uma arte mas, requer sólidos conhecimentos dos fundamentos das diversas alternativas, como as que serão apresentadas aqui.

2.1 Introdução

A evolução das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), incluindo o poder de processamento dos computadores, o barateamento dos dispositivos, a velocidade da comunicação e a disponibilidade de aplicativos gratuitos - tudo isto ocorrendo tanto nos computadores quanto nos dispositivos móveis - vem promovendo a consolidação de várias tecnologias, dentre elas a RA.

A RA, se beneficiou dessa evolução, tornando viáveis, acessíveis e populares, aplicações que antes só existiam em ambientes acadêmico, de pesquisa ou industriais, baseados em plataformas sofisticadas. Ao mesmo tempo, pesquisas têm feito evoluir o potencial dessa tecnologia, trazendo-a para aplicações cotidianas, a ponto de chamar a atenção de grandes empresas como Microsoft, Apple, IBM, HP, Sony, Google, Facebook, dentre outras (Ling, 2017).

A RA, tanto quanto a RV, vêm apresentando um crescimento significativo em termos mundiais quando se considera o número de artigos publicados nas principais revistas científicas da área tecnológica, como as publicadas pelo IEEE e pela ACM, como mostra o gráfico do levantamento feito até 2012, Figura 2.1. Esse crescimento vem ocorrendo recentemente também, como complementa o gráfico da Figura 2.2. Tais

constatações reforçam a importância da área, bem como a utilidade da tecnologia e sua perspectiva de futuro. Pode-se concluir então que a RA é uma área de estudo e aplicação tecnológica em franca expansão, tanto do ponto de vista acadêmico quanto comercial.

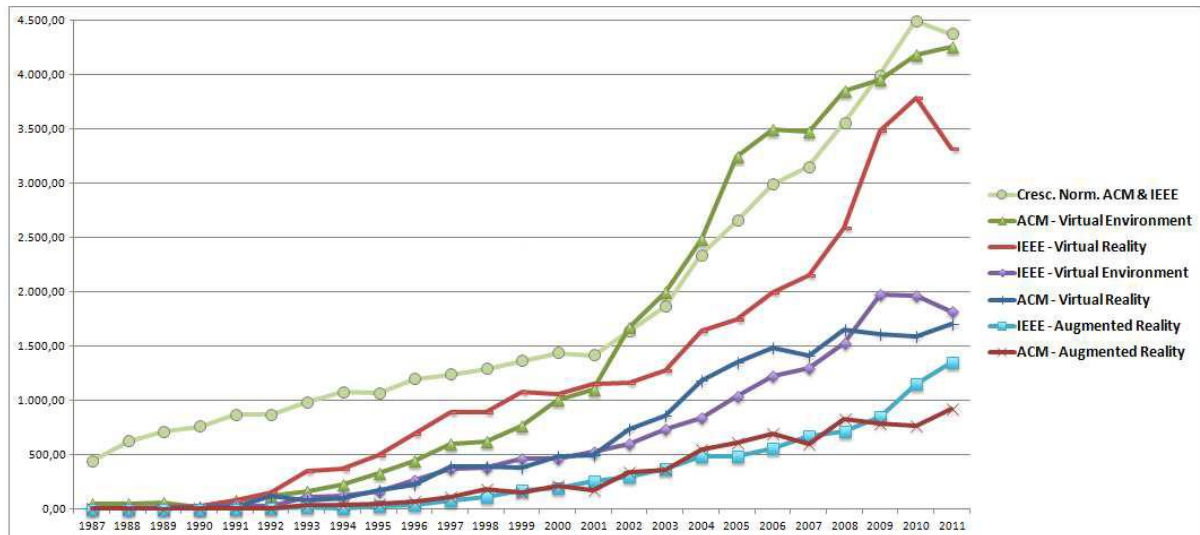


Figura 2.1: Evolução das publicações envolvendo RV e RA (Buchinger, Juraszek, Hounsell 2012).

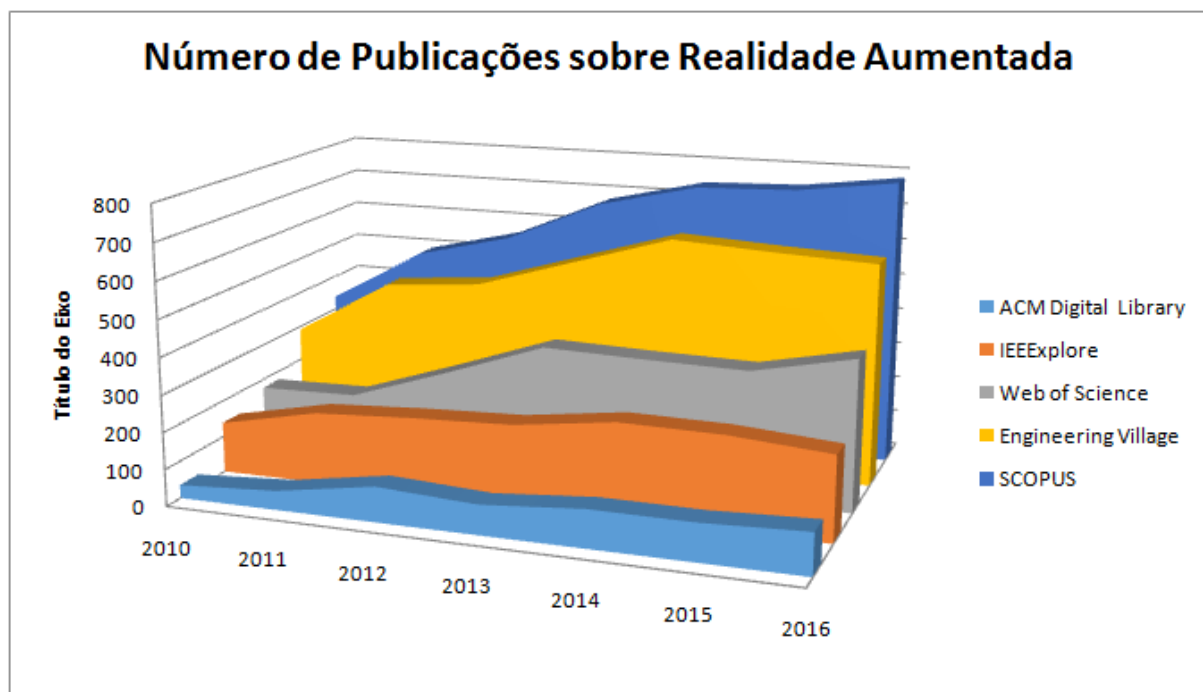


Figura 2.2: Crescimento da RA nos principais Mecanismos de Busca Acadêmica.

A RA, enriquece o ambiente físico com objetos sintetizados computacionalmente, permitindo a coexistência de objetos reais e virtuais, podendo ser considerada uma vertente da RV, ainda que, inicialmente tenham sido desenvolvidas indistintamente. Também, a RA já foi considerada uma ramificação da Realidade Misturada (RM, já mencionada no Capítulo 1 e que será detalhada na seção 2.7.1). De fato, RA e RM têm muito em comum em termos práticos e têm sido usadas como sinônimo. Neste

capítulo vamos diferenciar e aprofundar estes dois termos para que você possa ter uma ideia mais clara desses conceitos. No restante do livro, no entanto, consideramos a RA como uma tecnologia “relacionada” à RV e não “um tipo de” RV, além de tratar a RA em seu sentido lato, que abrange também a RM.

Diferentemente da RV, que transporta o usuário para um outro ambiente virtual fazendo-o abstrair completamente o ambiente físico e local, a RA mantém referências para o entorno real, transportando elementos virtuais para o espaço do usuário. O objetivo é que o usuário possa interagir com o mundo e os elementos virtuais, de maneira mais natural e intuitiva sem necessidade de treinamento ou adaptação. Esta interação pode ser feita de maneira direta (com a mão ou com o corpo do usuário) ou indireta (auxiliada por algum dispositivo de interação). Se vários dispositivos competem para facilitar a interação, a interface é denominada **multimodal**. A possibilidade de usar uma interação natural e, principalmente, as próprias mãos para segurar instrumentos físicos reais ao mesmo tempo em que se pode interagir com informações e modelos virtuais, é um dos maiores benefícios da RA.

Para que as referências ao mundo físico possam ser apresentadas de forma coerente para o usuário, é necessário que o sistema de RA consiga identificar não somente onde devem ser colocados os elementos virtuais mas também como eles devem ser apresentados para o usuário, de acordo com seu ponto de vista, a qualquer tempo. Esse processo é chamado de **rastreamento** e se utiliza de várias técnicas (detalhadas no capítulo 2.3.2) que são consideradas o coração de um sistema de RA.

Além dos elementos reais, que são naturalmente interativos (pode-se tocá-los, movê-los, etc.), os elementos virtuais também podem ser interativos, com recursos que extrapolam as limitações físicas e, também, usando a própria mão do usuário (com ou sem algum aparato tecnológico associado). Neste sentido, se poderia facilmente trocar de cor, selecionar vários elementos simultaneamente, movê-los, levantá-los etc. Para isso ser possível, é preciso que o sistema de RA possa identificar as interações executadas pelo usuário e isso pode ser alcançado, por exemplo, pelo uso de rastreamento ótico, câmeras de profundidade, dentre outras possibilidades (que serão detalhadas em 2.4).

Para que tudo isso funcione da maneira mais transparente e intuitiva para o usuário, é preciso que se utilize um dispositivo de visualização apropriado que reconheça as movimentações entre o ponto de vista do observador em relação ao restante do ambiente, por exemplo. Vários dispositivos podem ser utilizados, dependendo do tipo de exploração do ambiente aumentado. Por exemplo, em situações típicas de turismo, usamos o **celular** para fotografar e para nos localizar - nada mais imediato que usar também o celular em ambientes externos como forma de visualização do ambiente aumentado. Pode-se ainda usar um **capacete** (em inglês seria o **HMD - Head Mounted Display**) de visualização com uma câmera acoplada, mostrando a visão real enriquecida com os elementos virtuais posicionados adequadamente pelo computador (*video see-through*).

O sistema é implementado de tal maneira que o cenário real e os objetos virtuais permanecem ajustados (técnica, associada ao rastreamento, chamada de “registro”), mesmo com a movimentação do usuário no ambiente real. Entretanto, quando

estamos manipulando objetos, fazendo a manutenção ou montagem de uma peça manualmente, é preciso um sistema de visualização que deixe as mãos livres e que seja leve de usar - para tal existem óculos de RA que sobrepõem imagens às que são visualizadas diretamente pelo usuário (*optical see-through*). Mas, estas são apenas algumas das possibilidades de sistemas de visualização para RA (*hardware* e *software* para RA serão detalhados mais adiante neste capítulo).

2.1.1 Definições e Caracterização

A RA já foi definida de várias maneiras:

- a) é o enriquecimento do ambiente real com objetos virtuais, usando algum dispositivo tecnológico, funcionando em tempo real (Augment, 2017);
- b) é uma melhoria do mundo real com textos, imagens e objetos virtuais, gerados por computador (Insley 2003 apud Kirner e Tori, 2006);
- c) é a mistura de mundos reais e virtuais em algum ponto do espectro que conecta ambientes completamente reais a ambientes completamente virtuais (Milgram 1994);
- d) é um sistema que suplementa o mundo real com objetos virtuais gerados por computador, parecendo coexistir no mesmo espaço e apresentando as seguintes propriedades (Azuma et al., 2001):
 - combina objetos reais e virtuais no ambiente real;
 - executa interativamente em tempo real;
 - alinha objetos reais e virtuais entre si;
 - aplica-se a todos os sentidos, incluindo audição, tato e força e cheiro.

A última acima, é a que apresenta o maior detalhamento, se remetendo aos componentes do sistema bem como às suas funcionalidades e portanto, é a definição que norteará a discussão neste livro.

Comparando RA e RV, já foi dito (Billinghurst et al. 2015, pag. 79) que o principal objetivo da RV é usar a tecnologia para substituir a realidade ao passo que o principal objetivo da RA é melhorar a realidade.

Desta forma, um ambiente em RA pode ser representado por uma mesa real e um vaso virtual, como mostrado na Figura 2.3. A imaginação é o limite para fazer as representações.



Figura 2.3. Realidade Aumentada com vaso e carro virtuais sobre a mesa.

2.1.2 Arquitetura Típica de um Sistema de RA

Um sistema gráfico é composto tipicamente por módulos de entrada, processamento e saída de informações que, podem se dividir em várias tarefas, como mostra o esquema abaixo.

MÓDULO DE ENTRADA

Captura de vídeo: responsável por capturar a cena real onde serão inseridos os objetos virtuais;

Sensoriamento: quaisquer dispositivos que sejam usados para identificar objetos, observador e/ou o posicionamento e ações destes;

MÓDULO DE PROCESSAMENTO

Monitoramento dos objetos: responsável por identificar de forma única e precisa uma indicação a um objeto virtual em uma configuração (posição e orientação) específica (o que se chama de registro - *registering*) e também, por identificar como este objeto virtual se desloca no ambiente (o que se chama de rastreamento - *tracking*);

Gerenciamento da interação: responsável por identificar e determinar a resposta às ações de seleção ou manipulação dos objetos virtuais;

Processamento da aplicação: responsável por dar sentido às interações e promover mudanças na cena, conforme os objetivos da aplicação (jogo, ambiente industrial, aplicação de turismo, etc.), e;

MÓDULO DE SAÍDA

Visualização: responsável por renderizar visualmente o objeto virtual na condição especial requerida pela aplicação e então mostrar ao usuário por um dispositivo de visualização apropriado;

Atuação: responsável por renderizar parâmetros para dispositivos hápticos.

Os módulos de entrada e saída são fortemente dependentes do hardware utilizados. O módulo de processamento têm suas características dependentes das técnicas de software utilizadas. Ambos os elementos, software e hardware, serão detalhados adiante.

Um ciclo de processamento pode ser resumido em: captura de vídeo e execução do rastreamento de objetos; processamento do sistema de RA, incluindo leitura de dispositivos e simulação/animação; calibração, misturando o real com o virtual; e renderização sensorial, envolvendo os aspectos visuais, auditivos e hápticos. Como o sistema funciona em tempo real e deve apresentar tempo de latência igual ou menor que 100 ms, o processamento envolvido é muito maior que aquele considerado durante a discussão do processamento de sistemas de RV. Agora, o processamento do sistema de RA é uma das partes de um conjunto maior e mais complexo, envolvendo também técnicas de multimídia.

2.1.3 Comparação de RA com RV

A RA e a RV pode ter suas diferenças estudadas quando vistas num diagrama que considera a dimensão da artificialidade e a dimensão do espaço [Benford 1998], conforme a Figura 2.4.

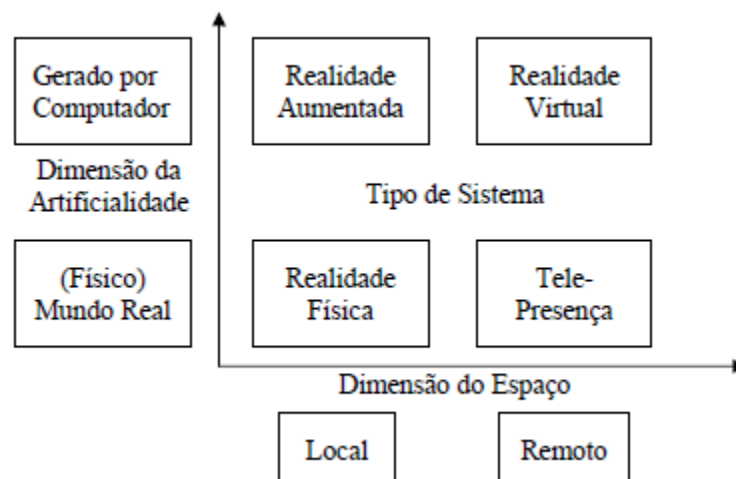


Figura 2.4 Diagrama das artificialidades e espaços

Ambos os casos tratam de objetos gerados por computador, mas, no mundo físico, a RA está ligada com a realidade física, enquanto a RV refere-se ao sentido de telepresença. Assim, pode-se comparar RA com RV (Bimber e Raskar, 2005), levando-se em conta que:

- a RA enriquece a cena do mundo real com objetos virtuais, enquanto a RV é totalmente gerada por computador;
- no ambiente de RA, o usuário mantém o sentido de presença no mundo real, enquanto que, na RV, a sensação visual é controlada pelo sistema;
- a RA precisa de um mecanismo para combinar o real e o virtual, enquanto que a RV precisa de um mecanismo para integrar o usuário ao mundo virtual.

2.1.4 Tipos de RA

Dependendo de decisões de projeto ou dispositivos, podemos classificar as abordagens em RA sob vários critérios para cada uma das tarefas do sistema típico.

No contexto da tarefa de entrada de dados, a RA pode ser classificada pelo critério da forma de rastreamento (Wang et al. 2016): Quando se usam recursos de processamento da imagem capturada para fazer o rastreamento dos objetos virtuais, tem-se a RA baseada em **visão**; Quando estes objetos virtuais estão associados a algum tipo de sensor, tem-se a RA baseada em **sensores**.

- A RA baseada em **visão** é robusta, precisa, flexível, fácil de usar e, por conseguinte, mais amplamente usada mas, tem problemas com a iluminação do ambiente e oclusão de informações. Dentro desta classe de aplicações encontra-se o recurso mais utilizado, e pelo qual muitos associam a própria RA, que são os marcadores;
- A RA baseada em **sensores**, é mais precisa, de menor latência (atraso para processar e exibir), menor jitter e robusta para uma série de limitações dos ambientes (sujeira, baixa/variação brusca de iluminação, cenas com objetos muito assemelhados ao resto do ambiente, etc.)

Os **marcadores** mais comuns (os fiduciais) são cartões com uma moldura retangular e com um símbolo em seu interior, funcionando como um código de barras 2D, que permite o uso de técnicas de visão computacional para calcular a posição da câmera real e sua orientação em relação aos marcadores, de forma a fazer com que o sistema possa sobrepor objetos virtuais sobre os marcadores. Estes marcadores podem conter os símbolos mais variados possíveis, como mostra a Figura 2.5.

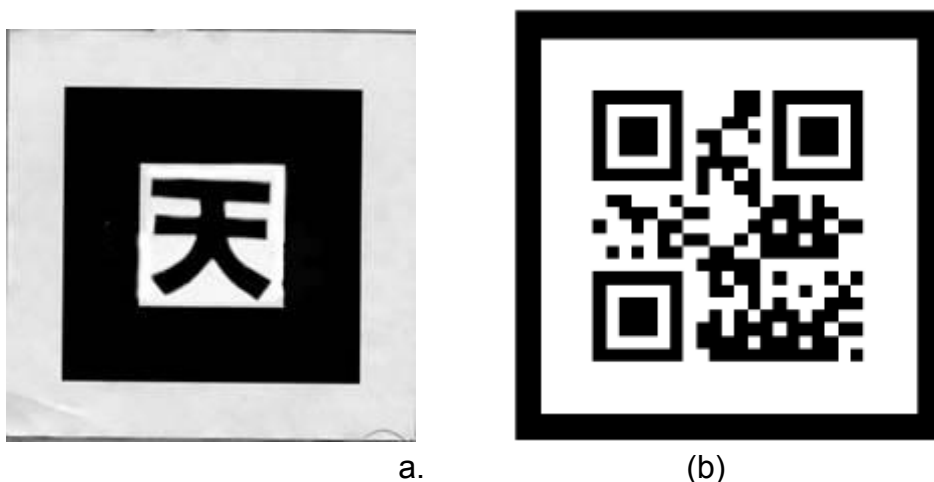


Figura 2.5 : Exemplos de marcadores do (a) ARToolkit (ARToolKit 2017), (b) QRPO (Alcantara, Silva e Hounsell, 2015)

Os marcadores fiduciais são imagens que representam uma assinatura conhecida (seu conteúdo, formato, tamanho e cores). Um marcador pode ser impresso em papel - bem comum -, cartão, cartolina, ou qualquer outro objeto físico. O marcador apesar de ser o recurso mais usual para se obter RA, não é o único, como veremos adiante.

O uso de combinações de marcadores com sensores e/ou vários tipos de sensores simultaneamente pode ser feita mas, cada tecnologia empregada tem suas vantagens e desvantagens.

Ao longo da história da RA houve momentos em que se podia apenas aumentar a cena com informações e dados textuais. Logo se viu que este enriquecimento da cena poderia ser melhor aproveitado se gráficos ou esquemas pudessem ser inseridos na cena, de forma coerente com objetos reais. Posteriormente, com a melhora na capacidade de processamento, foi possível promover esse enriquecimento da cena com objetos gráficos 3D renderizados de forma realista. Mas, os elementos virtuais anteriores não deixaram de ser opções de RA, portanto, pode-se classificar a RA quanto ao elemento virtual que está enriquecendo a cena como:

- 1D, acrescenta elementos textuais em forma de HUD (*Head Up Displays*);
- 2D, acrescenta gráficos ou esquemas na cena;
- 3D, acrescenta objetos virtuais tridimensionais realistas à cena.

Importante ressaltar que, independentemente de o conteúdo ser 1D, 2D ou 3D, o registro desse conteúdo com o cenário real deve sempre ser tridimensional, ou seja, deve corresponder a uma posição no espaço real bem definida.

Outro aspecto para classificar a RA está relacionado com a visualização:

- Quanto à Direção de Visualização
 - Visada Direta (manipulação e observação na mesma visada, usuário determina a direção de observação)
 - Ótica (elemento virtual projetado sobre a observação do real)
 - por Vídeo (elemento virtual inserido na reprodução do real)
 - Visada Indireta (manipulação e observação em visadas diferentes, usuário não determina a direção de observação)
 - Projetor (imagem aumentada é apresentada em um plano)
 - Monitor (imagem aumentada é apresentada em um monitor)
- Quanto ao Controle da Visualização
 - Acoplado à cabeça
 - Acoplado à mão (*Handheld*)
 - Desacoplado (Ponto fixado no ambiente)

No contexto da tarefa de saída, a RA pode ser classificada pelo critério da forma com que o usuário vê o mundo. Quando o usuário vê o mundo apontando os olhos diretamente para as posições reais com cena óptica ou por vídeo, a RA é de **visada direta** (imersiva). Na visada direta, as imagens do mundo real podem ser vistas a olho nu, trazidas através de vídeo que misture imagens captadas do mundo real com outras sintetizadas computacionalmente (visão direta por vídeo - *video see-through*), por meio de objetos virtuais projetados diretamente nos olhos (visão óptica direta - *optical see-through*), visualizadores de apontamento direto baseados em “*handheld*” (portados em mãos, como celulares e tablets) ou projetados diretamente no cenário real (RA espacial) (Bimber e Raskar, 2005). Quando o usuário vê o mundo em algum dispositivo, como monitor ou projetor, não alinhado com as posições reais, a RA é dita de **visada indireta** (não imersiva).

A Figura 2.6 mostra na parte (a) a estrutura da visada direta e na parte (b) a visada indireta.



a) Visada Direta – Capacete Óptico b) Visada Indireta - Monitor
Figura 2.6. Tipos de Realidade Aumentada baseados na visão

Pode-se encontrar na literatura uma forma diferente de classificação relacionada ao dispositivo, que é mais tecnológica que a anterior mas que contempla as mesmas classes em um único critério (Milgram, 1994; Isdale, 2000): visão óptica direta, visão direta baseada em vídeo; visão baseada em monitor, e visão baseada em projetor.

Ainda, pode-se classificar a RA quanto a perspectiva de visualização que se relaciona com onde a câmera pode ser colocada: na cabeça da pessoa, gerando uma visão em **primeira** pessoa; atrás da pessoa, gerando uma visão em **terceira** pessoa; ou na frente da pessoa, direcionada para ela, gerando uma visão de **segunda** pessoa (Sherman; Craig 2002).

2.2 Breve Histórico

Aumentar a realidade com algum recurso já vem sendo tentado há tempos: o uso de espelhos, lentes e iluminação devidamente posicionados para refletir imagens de objetos e pessoas ausentes são truques usados desde o século XVII. Entretanto, a RA que consideramos aqui usa objetos gerados por computador e não filmes ou fotografias de objetos.

É atribuído a Ivan Sutherland junto com Bob Sproull, a criação em 1968 em Harvard do primeiro protótipo de dispositivo que permitia juntar imagens 3D geradas em computador sobre imagens reais. O sistema já combinava o monitor (*display*), monitoramento e geração de imagens por computador que caracterizam uma aplicação de RA até hoje.

Posteriormente, Tom Furness iniciou a pesquisa do Super-Cockpit para a Força Aérea dos EUA cujo objetivo era investigar novas formas de apresentar para o piloto as inúmeras, detalhadas e variadas informações de voo sem sobrecarregá-lo. Essas pesquisas evoluíram até chegarem nos capacetes de RA que os pilotos do helicóptero Apache usam atualmente.

Furness mudou-se para a Universidade de Washington em 1989, transferindo para a academia uma parte das pesquisas em RA. Concomitantemente, várias Universidades iniciaram pesquisas envolvendo os conceitos de RA: Universidade do

Norte da Carolina, Universidade de Columbia e Universidade de Toronto; capitaneadas por pesquisadores relevantes na área como Frederick Brooks, Steve Feiner e Paul Milgram.

Apesar de as pesquisas em RA já estarem em andamento, a dissociação da RV não era tão evidente. O primeiro artigo científico que usou o termo “Realidade Aumentada” no contexto tratado aqui, foi o de Tom Caudell e Tom Mizell (1992), artigo esse focado no setor industrial. É atribuído pois, a Tom Caudell a criação do termo RA (Ling, 2017). Daí em diante, tanto pesquisas voltadas para as tecnologias (visualização, monitoramento, interação) quanto aplicações começaram a aparecer e se consolidar. Nesse mesmo ano surge o primeiro sistema funcional de RA, “Virtual Fixtures”, desenvolvido por Louis Rosenberg (Interaction Design Foundation, 2017).

Esses foram, portanto, os dois marcos tecnológicos significativos da criação da RA: o uso do conceito por volta de 1968 e sua efetiva aparição em 1992. Um pouco depois, a RA começou a tomar as ruas: em 1997, Feiner e colegas combinaram os “computadores vestíveis” (do inglês, *Wearable Computers* - outra nomenclatura associada com a RA) com rastreamento por GPS para produzir aplicações de RA na rua e mostrar informações nos seus respectivos lugares no mundo real (Feiner et al., 1997 apud Billinghurst et al., 2015 pag 90). Os celulares receberam suas primeiras câmeras em 1997 e as primeiras aplicações de RA em celulares foram apresentadas em torno de 2004. A junção da experimentação do uso do GPS e a RA em celular permitiu recentemente a criação de inúmeros jogos de grande sucesso, como o Ingress e o Pokemon Go (ambos da Niantic Games).

Do ponto de vista da academia, a primeira conferência focada na RA foi promovida em 1998 conjuntamente pela IEEE e ACM, as duas maiores sociedades das áreas da engenharia e computação, respectivamente. Simpósios subsequentes em RM e RA, em 1999 e 2000, amadureceram para que em 2002, o ISMAR - International Symposium on Mixed and Augmented Reality - viesse a se formar e que se mantém até hoje como o principal fórum de discussão de tecnologias associadas à RA.

Já do ponto de vista comercial, a primeira empresa focada em RA apareceu em 1998 na França com o nome de Total Immersion (2017) e existe até hoje. Um dos primeiros produtos comerciais amplamente difundido foi o jogo *The Eye of Judgment* (2017) lançado em 2007 pela Sony para o Playstation 3.

Em 2009 o interesse pela RA aumentou significativamente graças a (i) disponibilização de ferramentas para gerar aplicações de RA com o, antes bem conhecido, Flash (2017), justamente pelo suporte a câmeras que esta ferramenta de desenvolvimento recebeu; (ii) a viabilização da RA em celulares, graças aos novos modelos que continham processadores rápidos o suficiente para os algoritmos de base da RA e; (iii) o uso da RA em grandes campanhas publicitárias onde revistas passaram a inserir marcadores de RA nas suas páginas - popularizando a tecnologia. Mas, foi com o anúncio do produto Google Glass, em 2013, que a RA finalmente capturou a atenção do público em geral (Ling, 2017).

Com base nestas datas, percebe-se que a RA é uma área de pesquisas e estudos ainda nova mas, sempre associada a tecnologia e suas aplicações para melhorar a forma como o homem vê o mundo.

2.3 Tecnologias

A maioria dos dispositivos de RV pode ser usada em ambientes de RA ou RM, exigindo adaptações em alguns casos. As principais diferenças estão nos visualizadores e rastreadores.

2.3.1 Hardware de Entrada

Já identificamos que um dos componentes fundamentais da RA é uma câmera de vídeo para capturar a cena e, às vezes, identificar nesta os locais de posicionamento dos elementos virtuais. Entretanto, além da entrada de vídeo, vários outros dispositivos podem ser usados com o objetivo de auxiliar na identificação dos elementos da cena e/ou posicionar os elementos em relação ao observador. Estes últimos também são fundamentais para auxiliar no processo de interação. O hardware de RA pode usar dispositivos típicos da RV, mas tem a preocupação de não obstruir as mãos, que devem atuar naturalmente no ambiente misturado. Técnicas de rastreamento visual, usando visão computacional e processamento de imagens são importantes, neste caso. Assim, os seguintes dispositivos podem ser usados como *hardware* de entrada para um sistema de RA:

- **GPS (*Global Positioning System*)**. Pode-se registrar a posição de um elemento virtual num espaço físico mais amplo - através de suas coordenadas geográficas (latitude e longitude). Desta feita, o sistema de processamento de RA vai posicionar os elementos virtuais numa posição geográfica específica mas, para isso, precisa saber onde o observador está também - daí a utilidade do GPS);
- **Sensores Inerciais** (Acelerômetros, Magnetômetros e Giroscópios). Para auxiliar na identificação da forma como a cena é observada, pode-se utilizar estes sensores para controlar o ângulo de visão. Ainda, pode auxiliar a identificar ações do usuário para usar como forma de interação;
- **Sensores de Profundidade**. Acoplados ao sistema de captura de imagens (como em câmeras RGBD do tipo Kinect, Xtion, RealSense) ou isolados (como o Leap Motion), os sensores de profundidade são úteis para identificar a configuração do cenário físico ou para identificar a presença e configuração da mão do usuário. A calibração desta identificação ao sistema de visualização permite identificar formas de interação do usuário com os elementos virtuais;
- **Luvas de Dados**. Dispositivo típico de RV que captura a configuração da mão do usuário, as luvas de dados podem ser usadas isoladamente, para servir como forma de interação baseada em gestos (configuração dos dedos) ou, quando acoplada a rastreadores (outro dispositivo típico de RV), permitem o posicionamento da mão do usuário na cena e a interação com os elementos virtuais;

- **Interfaces Tangíveis.** Todo e qualquer dispositivo físico significativo para a aplicação (no caso uma ferramenta, um instrumento, etc.) que o usuário possa interagir diretamente (segurar, tocar, empurrar) mas que ao mesmo tempo possa servir como sensor de entrada para o sistema (identificando qual foi a ação) é uma interface tangível e que pode ser utilizada também em um sistema de RA. Nota-se que nas interfaces tangíveis, a interação não fica limitada a sutis movimentos de dedos e dos olhos mas, envolve o espaço físico e a corporalidade do usuário (Dos Reis e Dos Santos Gonçalves, 2016). Assim, mesas translúcidas (com sistemas de visão acoplados) ou objetos físicos com sensores acoplados podem ser integrados a um sistema de RA.

2.3.2 Software

Ao mesmo tempo em que a RA demanda recursos de hardware, ela também impõe desafios de software, na medida em que são desenvolvidas aplicações mais complexas e potentes.

A capacidade de processamento das unidades centrais (CPU) e das placas gráficas (GPU), para tratar as necessidades da RA, deve ser alta o suficiente para garantir a execução, em tempo interativo, das seguintes ações: tratamento de vídeo; processamento gráfico 3D; geração de imagens misturadas; incorporação de som; execução háptica; controle multimodal; varredura de dispositivos de entrada com ênfase no rastreamento; etc.

O software de RA é usado na fase de preparação do sistema, através de ferramentas de autoria de ambientes misturados, e na fase de execução, como um suporte à interação em tempo real.

Como ferramenta de autoria, o software de RA é usado para integrar objetos virtuais ao ambiente real, incluindo comportamentos. Ele pode usar elementos auxiliares para a captura de posições ou os próprios elementos do cenário real. O ajuste dos objetos virtuais no espaço real, feito na calibração, pode ser interativo e visual ou baseado em parâmetros de posição.

Algumas ferramentas de autoria permitem tanto a preparação quanto a interação com objetos virtuais. Outras ferramentas de autoria encapsulam ferramentas mais simples, gerando sistemas mais complexos, acumulando funcionalidades.

Dentre as ferramentas de autoria de RA, pode-se citar: ARToolKit (Billinghurst et al., 2001), ARToolKitPlus, MRT (Freeman e Zhou, 2005), Studierstube (Schmalstieg et al., 2002), Tiles (Poupyrev et al., 2001), APRIL (Ledermann e Schmalstieg, 2005), DART (MacIntyre et al., 2003), MARS (Guvem e Feiner, 2003), AMIRE (Zauner et al., 2003), MXRToolKit (Zhou; Cheok e Pan, 2007), LibTap (Seichter e Kvan, 2004), OSGART (Osgart, 2017), irrAR (Irrlicht 3d, 2017), AndAR-Android ARToolkit (Inglobe Technologies, 2017), BasAR (Cerqueira e Kirner, 2011), FLARToolKit (Kirner, 2011), Vuforia (Vuforia, 2017), ARTag (Fiala, 2005) e AURASMA (Aurasma, 2017) (este último dispensa programação, porém é mais limitado),

Como suporte para interação em tempo real, o software de RA deve promover o rastreamento de objetos reais e ajustar os objetos virtuais no cenário, tanto para pontos de vista fixos quanto para pontos de vista em movimento. Além disso, o software de RA deve permitir a interação do usuário com os objetos virtuais e a interação entre objetos reais e virtuais em tempo real. O suporte para interação em tempo real também deve: atuar no controle da simulação/animação dos objetos virtuais colocados na cena; cuidar da visualização da cena misturada; e implementar a comunicação em rede para aplicações colaborativas.

O ARToolKit é um dos recursos mais populares da RA. O ARToolKit é uma biblioteca de software baseada nas linguagens Java, C e C++, usada para o desenvolvimento de aplicações de RA. Este ambiente de desenvolvimento baseia-se no uso de marcadores. ARToolKit é de código aberto e possibilita alteração e ajustes para aplicações específicas (Figura 2.7) que, junto com o ARTag são os framework de desenvolvimento mais presentes nas publicações científicas no Brasil até recentemente (Hounsell et al., 2014).



a) Marcador Fiducial do tipo código de barras 2D; b) Objeto Virtual sobre o Marcador
Figura 2.7. Realidade Aumentada usando ARToolKit

A base para o funcionamento da RA é a capacidade do sistema computacional de identificar onde os elementos virtuais vão aparecer na cena. Para os elementos 1D e 2D esta funcionalidade impacta pouco no funcionamento da aplicação pois leva a um posicionamento em relação a tela (que pode ser fixo). Entretanto, quando o elemento é 3D, independente de sua qualidade gráfica, esta integração se torna fundamental pois o objeto virtual tem que ser coerente com o resto do mundo 3D real. Para alcançar esta funcionalidade no caso dos objetos 3D, o sistema de RA tem que executar as tarefas de monitoramento, que se divide em:

- **Registro**, que está relacionado com a capacidade do sistema de RA deve ter de identificar QUAL é o elemento virtual que deve aparecer e em QUAL posição e orientação relativa ao restante da cena (tanto a objetos reais quanto virtuais e em relação ao observador). Esta identificação deve ser biunívoca entre objeto virtual e sua assinatura na imagem da cena e, seu posicionamento deve ser preciso e robusto para que se possa posicionar o objeto virtual em uma posição estável;

- **Rastreamento**, é a capacidade que o sistema de RA deve ter de identificar COMO um elemento virtual presente na cena está se movendo e para ONDE. Isto pode ser feito aplicando repetidamente os algoritmos de registro (mas é ineficiente), ou técnicas específicas e mais robustas.

Erros no processo de registro, podem fazer com que um objeto fique aparecendo e desaparecendo da cena (também chamado de *popping*) ou em posição incompatível com o resto da cena. Erros no processo de rastreamento pode fazer com que o objeto 3D acumule erros, tendo movimentação estranha ou acabe em um local inadequado.

Estes dois recursos usam técnicas de Visão Computacional e Reconhecimento de Padrões que são subdivisões da área do Processamento de Imagens que, por sua vez, é uma das áreas do Processamento Gráfico. Registro e Rastreamento serão detalhados na seção 2.5.

2.3.3 Hardware de Saída

Para visualizar a RA, os dispositivos precisam ter a capacidade de misturar o ambiente real com o virtual. Para isto, são usados quatro esquemas (Azuma, 2001):

a) baseados em **monitores**, constituindo monitores ou telas de projeção, mostrando a imagem capturada por uma câmera de vídeo (fixada num ponto do ambiente real) e misturada com objetos virtuais. O usuário pode entrar em cena e interagir com os elementos reais e virtuais, desde que consiga se ver no visualizador. Aplicações baseadas no ARToolKit, mostradas no monitor, funcionam desta maneira;

b) visada **óptica direta** (*optical see through*), consistindo de um dispositivo semi transparente, de forma a permitir a passagem da imagem real vista diretamente, mas também que reproduz imagens geradas pelo computador. Isto pode ser obtido por meio de um recurso da ótica (uso de prismas para juntar duas fontes de informação luminosa) projetando imagens diretamente na retina ou, por meio projeção em visor transparente em configuração de óculos ou viseira de capacete ou ainda, em lente de contato;

c) visão de **câmera de vídeo** (*video see through*), ou visão com oclusão (o mundo real não é visto diretamente), que consiste de dispositivos de visualização com uma ou duas micro câmeras presas à frente do dispositivo e apontada para onde o usuário estaria olhando. A imagem capturada pela(s) câmera(s) de vídeo, misturada com a imagem dos elementos virtuais gerada pelo computador, é mostrada ao usuário através de um dispositivo de visualização que pode ser um capacete, a tela de um *tablet* ou até a tela de um *smartphone*;

d) **projeção**, também chamada de RA Espacial - *Spatial AUgmented Reality* (Bimber e Raskar, 2004), que consiste na projeção das informações virtuais diretamente sobre os objetos físicos, cujas características serão então, aumentadas. O usuário, neste caso, não necessita de vestir nem segurar nenhum dispositivo para visualização. Esse tipo de esquema é muito útil para incorporar detalhes a certos objetos ou mostrar suas partes internas, sem a necessidade de abrí-los ou desmontá-los.

2.4 Técnicas de Interação

Inicialmente, os sistemas de RA enfatizaram a visualização, sem se preocupar em como os usuários iriam interagir com os elementos virtuais. Mas, logo se percebeu a necessidade e importância de interagir com os elementos virtuais, aumentados na cena. As técnicas de interação em ambientes tridimensionais se dividem em seleção, manipulação, navegação e controle do sistema (Laviola et al., 2017). Portanto, deve-se observar nos sistemas de RA como essas técnicas estão disponibilizadas para uso. As técnicas de controle do sistema, por não estarem diretamente relacionadas à interação com conteúdos e ambientes tridimensionais, não serão aqui abordadas.

Como o usuário pode potencialmente interagir tanto complementos físicos quanto virtuais do ambiente, sem nem precisar diferenciar real de virtual, a forma de interação promovida pelo sistema de RA requer que o usuário também não perceba diferença durante a interação com estes elementos, fazendo com que a busca pela naturalidade das ações seja um forte requisito de interação para os sistemas de RA. Essa é, ao mesmo tempo, uma vantagem e uma dificuldade técnica a ser superada nos sistemas de RA.

2.4.1 Seleção

Para conseguir esta interação alguns sistemas limitaram-se a reproduzir, no ambiente de RA, as interfaces gráficas já conhecidas em sistemas 2D (GUI - *Graphical User Interface*), como menus de tela.

Para atender à interação mais natural, formas de uso com o próprio elemento virtual 3D passaram a ser buscadas. Para tal, algumas estratégias começaram a ser desenvolvidas. Uma delas, exemplificada na Figura 2.6, é o uso de um elemento virtual (como uma Lupa) para interagir com a GUI2D. Desta forma, funcionando como um apontador conduzido pela própria mão do usuário para efetuar a operação de seleção.

A presença de um cartão marcador em frente à câmera faz com que o objeto virtual associado seja colocado sobre ele. A manipulação do cartão com as mãos movimenta também o objeto virtual. Além do objeto virtual, sons podem ser iniciados, quando o cartão entra no campo de visão da câmera. Na Figura 2.6 pode-se ver a usuária segurando uma pazinha (nada mais do que um palito de picolé com um cartão de papel colado) e olhando um objeto na parede dentro do jogo Sherlock Dengue (Corsani et al., 2009); passado pelo sistema de RA a visão da pazinha passa a se assemelhar a de uma lupa (artefato usado para associar o ambiente com o personagem Sherlock Holmes).

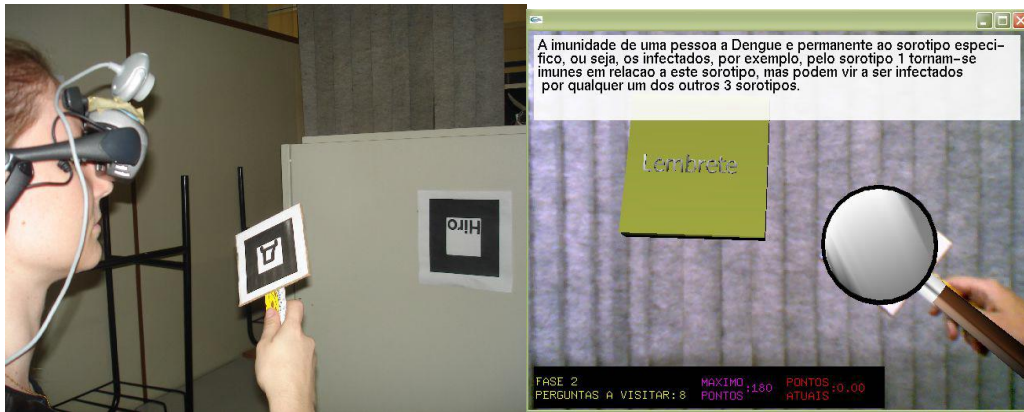


Figura 2.6: Uso de um elemento virtual para interação com outro [Corsani et al. 2009].

Esta ação (seleção) pode ser identificada pelo sistema pela sobreposição, pela própria presença de um elemento virtual, ou pela sua inclinação, por exemplo.

2.4.2 Manipulação

Alguns cartões de controle (quando se usa um sistema de RA baseado em marcadores) podem ser usados para interferir em elementos virtuais selecionados por outros cartões, fazendo alterações geométricas, troca de objetos, captura, duplicação, deleção, etc. Com isto, os objetos podem ser alterados ou reposicionados, gerando inúmeras aplicações.

Outra possibilidade de manipulação é considerar o elemento virtual sendo manipulado pelo usuário, interagindo com os elementos virtuais da cena - promovendo colisões, deslocamentos, etc. Entretanto, esta técnica infelizmente não pode ser reproduzida para os objetos físicos.

Outra forma de interação no ambiente aumentado são as Interfaces Tangíveis (Azuma, 2001) que permitem interações diretas com o mundo físico, através das mãos ou de objetos e ferramentas reais. Uma das maneiras mais simples e populares de implementação de interfaces tangíveis é conseguida no ambiente ARToolKit, usando “video *see-through*”.

O sistema Tiles explora esse tipo de interação (Poupyrev, 2001). Outra aplicação interessante é o Magic Book (Billinghurst et al., 2001), que implementa a interface que transita entre os mundos AV-VR. O projeto, usando um livro físico, mostrando objetos e cenários virtuais em suas folhas, permite que o usuário use o livro fora do ambiente computacional; depois, ele pode entrar no ambiente de Realidade Aumentada, colocando o livro no campo de visão de uma webcam; e, finalmente, ele pode mergulhar no mundo virtual do livro, escondendo o vídeo do mundo real.

2.4.3 Navegação

Navegação é a técnica responsável por controlar como o observador explora o ambiente aumentado. Tanto sua forma de visualização quanto seu deslocamento neste ambiente. Muitas das aplicações de RA não exigem muito deslocamento do

usuário (aliás, muitas delas desprezam esta questão). Portanto, pode haver certa confusão quando se fala de navegação e formas visualização em ambientes de RA.

Controlar a direção de visualização em um ambiente de RA pode parecer uma tarefa simples quando se considera um dispositivo do tipo visor (*HMD*). Neste caso, o rastreamento do dispositivo de visualização traz informações suficientes para informar para onde e como a cena está sendo visualizada. Entretanto, visualizadores alternativos, como “*handheld*”, fazem com que não a cabeça mas, as mãos do usuário controle a visualização (e navegação) pela cena aumentada.

Em todos os casos, pode-se ainda dispor de dispositivos de controle especiais, explorando interações multimodais, como elementos de interação em sistemas de RA, permitindo a técnica de interação mundo em miniatura – “World In Miniature” (WIM) (Bell; Hollerer e Feiner, 2002).

2.4.4 Outras formas de interação

Algumas estratégias de interação do ambiente de RA podem ser usadas tanto para seleção quanto para manipulação: podem-se usar câmeras de vídeo (RGB) ou, ainda, uma câmera de profundidade (também chamada de câmera **RGBD**, de qual o MS Kinect é um exemplo) capazes de identificar os gestos bem como a posição relativa do usuário em relação à cena. Complementarmente a isso, Interfaces **Multimodais** são alternativas promissoras pois podem liberar a mão do usuário da tarefa de interação, transferindo alguns dos controles para a fala ou outras partes do corpo.

Outra alternativa, para o desenvolvimento de interfaces de RA, consiste no uso de **agentes** virtuais, cujas ações são ordenadas pelo usuário, através de gestos e comandos de voz. Um agente pode mover objetos virtuais para que o usuário possa inspecioná-lo, por exemplo. Pode-se, portanto, nos ambientes de RA, realizar navegação, seleção, manipulação e controle do sistema.

2.5 Fundamentos da RA: Rastreamento (*Tracking*)

Como apresentado na seção 2.3.2, a RA usa dois processos importantíssimos: o Registro e o Rastreamento, aqui chamados simplesmente (e na literatura científica em geral) de rastreamento (do inglês, *Tracking*).

O rastreamento é tão fundamental que os tipos de RA podem ser classificados quanto a este aspecto (como visto na seção 2.1.4): RA baseada em Visão; e RA baseada em Sensores. A seguir detalhamos alguns aspectos das tecnologias mais recentes de **rastreamento** (Billinghurst et al., 2015).

- Baseado em Visão
 - Com sensores Infra Vermelho
 - Com identificadores visíveis
 - Com marcadores fiduciais

- Quadrado Plano
- Círculos concêntricos
- Formas geométricas específicas
 - Com marcadores naturais
 - Com rastreadores do modelo dos objetos (linhas, círculos, etc)
 - Com rastreamento da estrutura 3D da cena
- Demais sensores
 - Magnético
 - GPS
 - Sensores Inerciais
- Híbrido

O rastreamento baseado em **Visão**, vem se tornando muito popular em RA devido a não exigir *hardware* adicional (além da câmera que já possivelmente esteja sendo usada) e da capacidade de processamento nos dispositivos móveis suficiente para analisar imagens.

Os primeiros sistemas de rastreamento baseado em visão utilizavam emissores ou refletores de luz (tipo “olho de gato”) anexados aos objetos sendo rastreado. Isto tornava o rastreamento bem mais fácil pela facilidade de controlar (e identificar) o emissor/refletor. Os refletores se mostraram mais fácil de trabalhar pois resolviam o problema de energia e sincronização para as fontes de luz. Se a fonte de luz era **infravermelho**, ela não era visível e portanto, não influenciava o resto da cena. Apesar da precisão e robustez dessa solução, ela requer uma fonte de luz específica.

Trabalhar com **luz visível** para rastreamento baseado em visão facilita o processo pois não requer nem a fonte de luz nem o sensor específicos, tornando a preparação do ambiente bem mais fácil e é feita procurando marcações (naturais ou artificiais) existentes na cena. Quando as marcações são artificiais e, portanto, adicionadas à cena, estas são chamadas de **fiduciais**. Marcadores fiduciais são criados de forma a serem facilmente identificados pelo *software* de visão. Eles podem ser desde formas geométricas específicas em cores, anéis circulares concêntricos e coloridos até, uma simples marca quadrangular. Esta última, acrescida de informações adicionais no seu interior é a forma mais popular de executar rastreamento em RA. Isto se deve ao fato de que este tipo de marcador fiducial tenha sido incorporado aos famosos ARToolKit (ARToolKit, 2017) e ARTag (Fiala, 2005).

Marcadores fiduciais do tipo código de barras 2D entretanto, são inconvenientes (devem ser afixados na cena real) e inapropriados (não são naturais à cena) o que levou à busca de marcadores mais naturais (Ling, 2017): a medida que o poder computacional dos dispositivos de visão aumentou, ficou mais fácil utilizar algoritmos de visão computacional que buscam características **naturais** aos objetos, ou seja, já presentes neles (como sua própria imagem, substituindo portanto as imagens binárias dos marcadores usados até então). Vários algoritmos de reconhecimento de padrões são capazes de identificar imagens (previamente cadastradas e treinadas) em tempo real. Algoritmos como SIFT - *Scale Invariant Feature Transform*, SURF - *Speeded Up Robust Features*, BRIEF - *Binary Robust Independent Element Feature*, BRISK - *Binary Robust Invariant Scalable Keypoints*, dentre outros, têm sido utilizados.

- Quando é possível saber de antemão qual é a estrutura geométrica do objeto, essa informação pode ser usada para efetuar o seu rastreamento. Assim, usam-se modelos de CAD para representar o objeto e faz-se então o rastreamento baseado neste **modelo** do objeto. Isto pode ser feito pois a maioria dos objetos a serem rastreados podem ser descritos como combinações de entidades geométricas simples (como linhas e círculos) que, por sua vez, são mais fáceis de rastrear do que imagens complexas dos objetos. Técnicas como SLAM - *Simultaneous Localization and Map Building*, PTAM - *Parallel Tracking and Mapping* e, mais recentemente ORB-SLAM (Mur-Artal et al., 2015) são utilizadas nesta abordagem.

As abordagens acima tentam identificar um objeto especial no meio da cena. Outra forma de promover a RA é identificar como é o ambiente 3D (sobre o qual um elemento virtual vai aparecer). O objeto virtual pode então estar associado (indiretamente) à existência e configuração do próprio ambiente. Assim, se for possível identificar e rastrear planos ou obstáculos na cena, ou seja, a **estrutura 3D da cena**, esta informação pode ser suficiente para que o elemento virtual se encaixe adequadamente. Executar este tipo de rastreamento passou a ser bem mais fácil com o advento das câmeras RGBD ou, câmeras de profundidade, apesar de que esta identificação também pode ser feita por *software*.

A RA pode ainda utilizar **outros sensores**, que não os óticos, para executar o rastreamento. No rastreamento **magnético**, tem-se um dispositivo transmite um campo magnético alternado que é captado por um ou mais receptores. Daí então é calculada a posição e orientação do receptor em relação ao transmissor. O rastreamento magnético é rápido, não requer visada direta entre os dispositivos, são leves e pequenos. Entretanto, o volume de trabalho (área onde a precisão se mantém aceitável) é limitado e o sistema é sensível a interferências eletromagnéticas - que podem ser muito comuns em alguns ambientes industriais.

Rastreamento por **GPS** é apropriado para espaços abertos e amplos. Um projeto adequado de uma aplicação de RA pode permitir que a precisão de 3 metros atualmente disponível seja suficiente. A vantagem desse rastreamento é que ele tende a melhorar num futuro próximo.

Sensores **inerciais** (já comentados na seção 2.3.1) têm a vantagem de não terem volume de trabalho limitado, não requerem linha de visada entre transmissor e receptor, não sofrem interferências eletromagnéticas, acústicas nem óticas. Podem ser amostrados a altas frequências com quase nenhum atraso. Mas, estes sensores são muito sensíveis ao acúmulo e propagação de erros, tanto de posição quanto orientação, ao longo do tempo - requerendo calibração periódica. Por esta razão, quando a precisão do rastreamento é necessária, sensores inerciais devem ser combinados com outros sensores para correção.

Aliás, a composição **híbrida** de modos de rastreamento pode levar um sistema a ser mais versátil, robusto e preciso mas, fazer a fusão das informações precisa de um gerenciamento especial para se tornar coerente.

2.6 Aplicações

A RA permite ao usuário retratar e interagir com situações imaginárias, como os cenários de ficção, envolvendo objetos reais e virtuais estáticos e em movimento. Com isto, o usuário pode visitar salas de aula e laboratórios virtuais, interagindo com professores e colegas e realizando experimentos científicos; pode entrar no banco virtual e manusear o terminal de atendimento virtual, da mesma maneira que o faz com o equipamento real, e mesmo conversar com o gerente, representado no ambiente por um humanóide virtual (avatar).

2.6.1 Vantagens e Aplicabilidade da RA

Algumas das vantagens e aplicabilidade da RA se confundem com as da RV mas, pode-se destacar algumas que são próprias da RA. Dentre as vantagens da RA destacam-se (Wang et al., 2016)

- Não é necessário fazer toda a **modelagem do mundo virtual** (o que normalmente demanda esforço manual, aumentando a dificuldade de integração com os sistemas de CAD e, também esforço computacional para a renderização);
- O usuário pode **agir no real** (usar ferramentas, atuar sobre dispositivos, manipular objetos, se mover em torno do objeto) de forma natural com suas propriedades responsivas - hápticas (de peso/inércia, textura, rigidez), o que dá maior senso de realismo e imersão no mundo enriquecido, trazendo o benefício tanto do real - principalmente a intuitividade - quanto do virtual
- Pode-se **explorar** novos elementos (virtuais) e sua interação com o ambiente (real) sem a necessidade de construir ou desenvolver os elementos, economizando tempo e recursos, e;
- Proporciona um ambiente **seguro**, flexível, controlado e intuitivo para experimentar interações físicas.

Neste contexto, pode-se dizer que uma aplicação que precisa do realismo físico ou gráfico do ambiente real como interface para explorar possibilidades virtuais, é um bom candidato para uma aplicação de Realidade Aumentada.

2.6.2 Áreas de Aplicação da RA

Da mesma maneira que a RV, a RA pode ser aplicada às mais diversas áreas do conhecimento, em muitos casos com vantagens adicionais por se integrar simbioticamente com os ambientes reais. Qualquer atividade humana que necessita de acesso a informação para melhor ser executada, pode se beneficiar da RA. Se esta informação for 3D e diretamente relacionada com o ambiente em que se está, então a RA tem o potencial de ser a melhor alternativa de solução.

Essas aplicações consistem em: reparo mecânico, modelagem e projeto de interiores, cirurgia apoiada por computador, manufatura e diagnóstico de placas de circuito impresso, montagem de equipamentos, experimentação de adornos, manutenção de instalações industriais, visualização de instalações embutidas, visualização de

temperaturas em máquinas e tubos, ferramentas para educação e treinamento, exposições e museus virtuais, visualização de dados.

2.6.3 Desvantagens e Limitações

As principais desvantagens das RA estão associadas com a forma com que se promove a **integração** entre os dispositivos com o processamento e a tarefa em questão. Ou seja, não existem soluções prontas de como abordar uma determinada área. Muita pesquisa ainda precisa ser feita para analisar as formas mais intuitivas e naturais desta integração.

Isso tem refletido em sistemas com certas limitações: como o foco ainda tem se voltado para a interface com o sistema de RA, a oportunidade de explorar sistemas mais inteligentes ou ainda, de explorar os próprios objetos reais da cena como recurso da aplicação tem sido esquecido (Wang et al., 2016). Explorar estes objetos reais tem a vantagem de ser háptico, natural e intuitivo.

As técnicas e soluções de **rastreamento** ainda estão na sua infância (Ling, 2017) e portanto, limitam as soluções possíveis. Isto traz aos desenvolvedores a responsabilidade de saber explorar os recursos atualmente disponíveis de rastreamento mesmo que, para algumas aplicações, os requisitos de rastreamento não sejam tão exigentes, como é o caso das aplicações de “fusão real-virtual fraca” (Ling 2017).

2.7 Outras Realidades

Agora que você leitor já tem conhecimento sobre a RV e RA, podemos aprofundar nas outras formas de misturar o real com o virtual, o que leva aos conceitos de Realidade Misturada, Virtualidade Aumentada, dentre outros, apresentados inicialmente no capítulo 1 (ver Figura 1.1).

2.7.1 Realidade Misturada (RM)

O termo RA está muito difundido, sendo muitas vezes usado no lugar de Realidade Misturada (RM). A RA está inserida num contexto mais amplo, denominado RM. No entanto, esses termos geralmente são usados de maneira indiscriminada, predominando o uso da RA. A seguir, a RM e suas particularizações serão caracterizadas. Nesta seção, discutimos estes e outros termos relacionados e a diferenciação entre eles.

A Realidade Misturada (RM), ou do inglês Mixed Reality (**MR**), pode ser definida como a integração de elementos virtuais gerados por computador com o ambiente físico, e mostrado ao usuário com o apoio de algum dispositivo tecnológico, em tempo real.

Assim, ao misturar cenas reais com virtuais, a RM vai além da capacidade da RV concretizar o imaginário ou reproduzir o real. A RM se encontra no meio entre a realidade completamente virtual e a realidade física como a conhecemos (como foi discutido na seção 1.1.1). A RM incorpora elementos virtuais ao ambiente real ou leva elementos reais ao ambiente virtual, complementando os ambientes. A meta de um sistema de RM é criar um ambiente tão realista que faça com que o usuário não

perceba a diferença entre os elementos virtuais e os reais participantes da cena, tratando-os como uma coisa só. Tem-se, portanto, um contexto mais amplo, definido como RM, que combina o mundo real ou mundo físico com o mundo completamente virtual, a RV, usando técnicas computacionais, conforme a Figura 1.1, adaptada de (Milgram, 1994). Assim, tudo que está entre o Mundo Real e a RV, pode ser chamado de RM.

No ambiente da RM, a RA ocorre quando objetos virtuais são colocados no mundo real. A interface do usuário é aquela, que ele usa no ambiente real, adaptada para visualizar e manipular os objetos virtuais colocados no seu espaço. A Virtualidade Aumentada (**VA**), ou do inglês Augmented Virtuality (**AV**), ocorre quando elementos reais são inseridos no mundo virtual. A interface do usuário é aquela que transporta o usuário para o ambiente virtual, mesmo que ele veja ou manipule elementos reais ali inseridos. A RA e a VA são casos particulares da realidade misturada, mas geralmente o termo RA tem sido usado de uma maneira mais ampla.

2.7.2 Virtualidade Aumentada (VA)

A Virtualidade Aumentada pode ser definida como uma particularização da RM, quando o ambiente principal é virtual ou, há predominância do virtual porém, este é enriquecido com elementos reais pré-capturados ou capturados em tempo real. Estes objetos reais podem ser estáticos ou dinâmicos, como mãos e pessoas ou a própria pessoa. Nesse caso, os objetos são capturados por câmeras de vídeo, reconstruídos em tempo real, mantendo a animação, e levados ao mundo virtual, onde podem interagir.

Trabalhos como 3D Live (Prince, 2002), Mãos Colaborativas (Kirner, 2004) e Teleconferência com Virtualidade Aumentada (Siscoutto e Tori, 2004) permitem a inserção de avatares (pessoas ou mãos) dentro do ambiente virtual para visitarem e interagirem com o ambiente. A eliminação das imagens reais vindas da câmera de vídeo, através do controle de parâmetros no ARToolKit (Providelo, 2004), permite mostrar somente os elementos virtuais e mão virtual "reconstruída", fazendo com que o ambiente funcione como VA.

A VA tem um potencial de uso bastante grande, na medida em que permite a inserção de avatares humanóides realistas no mundo virtual. Isto melhora as condições de infra-estrutura computacional para as pessoas se encontrar para: trocar ideias, trabalhar em conjunto, fazer compras, estudar e interagir de muitas outras formas.

2.7.3 Realidade Diminuída (RD)

A Realidade Diminuída (RD), ou do inglês Diminished Reality (**DR**), é uma forma de alterar a realidade, semelhante à RA, mas, com o objetivo de eliminar objetos ou detalhes da cena real que está sendo vista por algum dispositivo. Desta forma, no lugar dos objetos ou detalhes aparecem somente o fundo onde ele estava antes. E tudo isso tem que ocorrer em tempo real, com movimento, de forma que não se perceba o objeto subtraído. Assim, diminuem-se objetos da cena, dando nome à técnica e, pode-se pensar na RD como sendo “o inverso” da RA.

Atualmente a RD ainda deixa rastros na imagem mas, o usuário não consegue identificar o objeto que foi subtraído. Ainda, o objeto ou detalhe a ser subtraído atualmente precisa ser identificado manualmente pelo usuário. Entretanto, com o avanço da tecnologia, alguns objetos podem ser inicialmente identificados para serem subtraídos automaticamente.

A RD é uma adaptação dos recursos que se usam na pós-produção de filmes para o contexto da RM. Ou seja, aquilo que antes era feito pela indústria do cinema para alterar as cenas tirando objetos auxiliares (como cabos de suspensão dos atores ou outros objetos físicos usados durante as filmagens) mas que levava muito tempo de processamento agora pode ser experimentado interativamente, em tempo real.

A RD pode ser útil para as transmissões de TV quando se deseja eliminar informações de marketing de empresas não contratantes daquele canal, como produtos específicos, suas marcas ou emblemas. Entretanto, desde seu aparecimento, por volta dos anos 2010 na Universidade de Ilmenau na Alemanha, a tecnologia foi bastante comentada mas, aplicações práticas da RD ainda estão por vir.

2.7.4 Hiper Realidade (HR)

Assim como o virtual foi combinado com o real, o próximo passo é incrementar essa combinação, adicionando novos elementos para facilitar e potencializar a interação do usuário com os recursos de que necessita no dia a dia. Surge, desta maneira, o conceito de Hiper Realidade (Tiffin, 2001), cuja definição é: a capacidade tecnológica de combinar RV, realidade física, Inteligência Artificial e inteligência humana, integrando-as de forma natural para acesso do usuário.

A maior contribuição da Hiper Realidade (**HR**) no contexto da RM é a incorporação de Inteligência Artificial no comportamento dos “entes” aumentados no ambiente.

Ambientes de HR permitirão que habitantes reais interajam com formas de vida imaginárias ou artificiais, geradas por computador, em um mundo misturado. Esse mundo será formado por pessoas, animais, insetos, plantas, terrenos, construções e objetos virtuais inteligentes, todos integrados. Com a visão do mundo misturado, cada usuário poderá enxergar o que lhe interessa, de acordo com seu perfil ou sua necessidade, e interagir com os objetos, de forma a ter suas necessidades satisfeitas.

2.7.5 Realidade Cruzada (RC) e Virtualidade Ubíqua (VU)

O uso de dispositivos de RV, como luvas hápticas por exemplo, permite que o usuário sinta o mundo virtual “na pele” (literalmente). Feedback háptico de toque, força, colisão, temperatura e até cheiro e paladar têm sido alvo de investigações e produtos inovadores. Entretanto, quando na Realidade Misturada se tem ações no mundo virtual que repercutem no mundo real, daí tem-se a Realidade Cruzada (**RC**), ou no inglês, Cross Reality (**XR**).

Com a RC, interações ocorridas nos objetos virtuais alteram o ambiente real e também o virtual, quando isso se fizer necessário. Um interruptor de uma lâmpada ou de um ventilador no mundo virtual aumentado, por exemplo, deveria ligar a lâmpada

ou o ventilador fisicamente presentes no ambiente. Este comportamento dos objetos virtuais vai além do háptico pois pode ser sentido indiretamente pelo usuário.

Claramente a RC está dependente de novos dispositivos de hardware mas, tem se tornado cada vez mais viável graças a dois fenômenos tecnológicos: a contínua miniaturização dos sensores e; a Internet das Coisas (Internet of Things, do inglês, IoT). A Internet das Coisas é a tendência tecnológica de dispor em todo e qualquer objeto (principalmente os que executam algo), de uma identificação única para acesso e controle remoto pela internet.

Assim, com dispositivos cada vez mais inteligentes (capazes de identificar seus estados e condições), conectados (capazes de se comunicar com outros dispositivos) e reativos (capazes de reagir a comandos digitais), a RC é um “novo mundo” a ser explorado no contexto da Realidade Misturada.

A Virtualidade Ubíqua (**VU**), do inglês Ubiquitous Virtuality (**UV**), é uma denominação mais acadêmica e precisa para a Realidade Cruzada, onde se espera que a repercussão das ações virtuais se reflitam no mundo real, em todo lugar, em todas as formas, onde objetos virtuais se tornem objetos reais (Valente et al., 2016).

2.7.6 Virtualidade Pervasiva

A Virtualidade Pervasiva (**VP**), do inglês *Pervasive Virtuality* (**PV**), é definida como um ambiente virtual que é estendido com a incorporação de ambientes físicos, objetos físicos e informações contextualizadas. A VP apareceu para incorporar à área de RV os avanços e benefícios dos HMDs acessíveis, redes Wi-Fi de alta velocidade, tecnologias vestíveis e dispositivos sensíveis ao contexto. A VP reconhece principalmente a situação onde o físico é reconhecido (pelas suas características físicas, presença, peso, etc.) mas, é incorporado no ambiente virtual com outra “roupagem”. Nesta situação, paredes lisas podem ser apresentadas com texturas de naves espaciais, bastões de plástico viram sabres de luz e ambos elementos reais são importantes na simulação virtual sendo experimentada.

Um diferencial da VP é o fato de que o conteúdo acessado pelo usuário é virtual e é incorporado em elementos físicos sejam arquiteturais, objetos, o corpo do próprio usuário ou outras características contextuais. Quanto a características contextuais considera-se desde informações e preferências do usuário e de sua colaboratividade até umidade do ar, temperatura ambiente e iluminação ambiente.

Exemplos de VP são o “The VOID” (2017), o “Real Virtuality” (Artanim, 2017) e o “Holodeck VR” (2017). Estas são todas consideradas novas formas de RM onde a experiência é altamente intensa e imersiva.

2.8 Considerações Finais

Com este capítulo fechamos a apresentação dos principais conceitos e da terminologia associados à área de Realidade Virtual e Aumentada. Você foi apresentado às definições e explicações destes termos e também de Realidade Misturada, Virtualidade Aumentada, Realidade Diminuída, Hiper Realidade, Realidade Pervasiva e Realidade Cruzada. Com base nestes termos, você tomou

contato com as siglas que os representam, respectivamente, RV, RA, RM, RD, VA, HR, RP e RC, e seus equivalentes em inglês: VR, AR, MR, DR, AV, HR, PR e XR.

Sim, é uma sopa de letrinhas! Mas você vai se acostumar à medida que tomará contato com tecnologias, técnicas e aplicações que serão apresentadas neste livro. O intuito principal até agora foi mostrar a você a amplitude da área e suas possibilidades - que são muitas.

2.8.1 Tendências e Pesquisas em Aberto

Acompanhando a tendência do desenvolvimento de jogos para dispositivos móveis, em especial para celulares, aliado ao aumento da capacidade de processamento desses dispositivos, os *smartphones*, a RA tende a acompanhar tal evolução ficando cada vez mais popular nesses dispositivos. Mas, não será somente para entretenimento, aplicações mais sérias, nas áreas da saúde, educação e comercial por exemplo, certamente surgirão em ritmo crescente.

Como a RA é fortemente dependente das funcionalidades do rastreamento (*tracking*), pesquisas nesta área continuarão a aparecer em busca de eficiência, robustez e flexibilidade. Uma das tarefas mais desafiadoras nas pesquisas em RA é o monitoramento do ponto de vista do observador (Billinghurst, 2015 p91). O objetivo é que o sistema de RA seja capaz de entender a composição da cena para que o objeto virtual sendo inserido seja coerente com ela e possa interagir com ela (percebendo superfícies sobre as quais será inserida, por exemplo). Isto se apresenta particularmente intrincado quando se consideram aplicações na área da manutenção e montagem de produtos pois o tamanho e quantidade das peças, o seu status de montagem (possivelmente já encaixado em algo, ocultando parte de sua forma) aliado a constante presença da mão do operador ocultando partes da cena tornam este tipo de aplicação um grande desafio (Wang et al., 2016).

As câmeras de profundidade (ou câmeras RBGD, *Depth Cameras*), podem trazer grandes benefícios e facilidades para o processo de rastreamento em ambientes internos - a variedade de dispositivos nesta área e a drástica diminuição do custo delas, as tornam candidatas potenciais para complementar, ou até substituir, funcionalidades tipicamente feitas por Visão Computacional atualmente. Não obstante, para ambientes industriais onde as peças podem ser muito pequenas, com grande variação de luz, pouca texturização (peças cruas), rastrear objetos continua um grande desafio.

Para ambientes externos, a RA tem se valido muito do GPS como dispositivo de rastreamento mas, a precisão deste dispositivo é limitada para algumas aplicações então, pesquisas envolvendo técnicas complementares para suprir esta limitação se fazem necessárias.

Quanto ao realismo gráfico, ao se inserir um elemento virtual em uma cena real há uma dificuldade de renderizar o objeto 3D virtual de forma a reconhecer as características da cena onde será inserido para que essa inserção seja imperceptível. Assim, além de perceber a sua posição e orientação (como já mencionado, para o registro e rastreamento), é preciso também perceber como a cena está sendo

iluminada pois o novo objeto deve ser coerente com o tipo de fonte de luz, sua cor e sua forma (imagine um spot, no meio da cena, de cor vermelha - isso certamente deveria afetar a renderização do objeto virtual também). Da mesma forma, se um objeto real vai bloquear total ou parcialmente o objeto virtual, a composição de sombras deve ser acrescentada na renderização do objeto virtual.

As técnicas de interação com os sistemas de RA ainda são uma área a ser explorada. Mais uma vez, a presença das câmeras RGBD vão trazer novas oportunidades e facilidades como o uso de gestos e a percepção da mão do usuário na cena. Por outro lado, como fazer com que isso se torne um processo natural e integrado ao ambiente parece ser um desafio interessante - ninguém parece estar disposto a fazer gestos que possam parecer exagerados, engraçados ou inusitados. Atualmente, os gestos têm sido propostos e testados mais com o foco de facilitar o funcionamento do sistema do que a execução da tarefa (Wang et al., 2016 p12).

Afora os dispositivos móveis (*handheld*), a RA baseada em visores (*head-coupled displays*) está recebendo muita atenção recentemente e tende a se tornar a nova moda de dispositivos pela praticidade e flexibilidade que isso traz. Para esta área existe grande expectativa para um futuro próximo no desenvolvimento de novos dispositivos de visualização *see-through*, que sejam mais fáceis de usar, reativos ao contexto, leves, e integrados ao dia-a-dia dos usuários. A recente descoberta do grafeno poderá levar o desenvolvimento de telas desse tipo a um novo patamar no cotidiano das pessoas e, a RA parece ser a tecnologia que mais se beneficiará desta integração. Não está longe o dia em que a visualização para RA estará na sua lente de contato.

Em termos de aplicações, se espera (Ling, 2017) que agora que a RA está madura e disponível para uma platéia mais ampla de desenvolvedores, os especialistas de domínios (conhecedores da área-problema) passem a ser os produtores de soluções com o uso da RA - e não os acadêmicos e pesquisadores, como vinha ocorrendo até então. Assim, o foco passará a ser nas funcionalidades do sistema e não mais, nos recursos de RA, somente. Assim, Inteligência Artificial, Percepção Semântica, Internet das Coisas, são recursos que se integrarão à RA promovendo experiências cada vez mais significativas e relevantes para os usuários.

Referências

- ALCANTARA, Marlon Fernandes; SILVA, Alexandre Goncalves; HOUNSELL, Marcelo Silva. Enriched Barcodes Applied in Mobile Robotics and Augmented Reality. **IEEE Latin America Transactions**, v. 13, n. 12, p. 3913-3921, 2015.
- AZUMA, Ronald et al. Recent advances in augmented reality. **IEEE computer graphics and applications**, v. 21, n. 6, p. 34-47, 2001.
- BELL, Blaine; HÖLLERER, Tobias; FEINER, Steven. An annotated situation-awareness aid for augmented reality. In: **Proceedings of the 15th annual ACM symposium on User interface software and technology**. ACM, 2002. p. 213-216.
- BILLINGHURST, Mark et al. A survey of augmented reality. **Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction**, v. 8, n. 2-3, p. 73-272, 2015.

- BILLINGHURST, Mark; KATO, Hirokazu; POUPYREV, Ivan. The magicbook-moving seamlessly between reality and virtuality. **IEEE Computer Graphics and applications**, v. 21, n. 3, p. 6-8, 2001.
- BIMBER, Oliver; RASKAR, Ramesh. **Spatial augmented reality: merging real and virtual worlds**. CRC press, 2005.
- BUCHINGER, Diego; JURASZEK, Guilherme Defreitas; HOUNSELL, M. da S. Estudo bibliométrico do crescimento da área de realidade virtual. In: **Workshop de Realidade Virtual e Aumentada**. 2012. p. 1-4.
- CAUDELL, Thomas P.; MIZELL, David W. Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In: **System Sciences, 1992. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on**. IEEE, 1992. p. 659-669.
- CERQUEIRA, Christopher Shneider; KIRNER, Claudio. basAR: ferramenta de autoria de realidade aumentada com comportamento. In: **VIII Workshop de realidade virtual e aumentada. Uberaba-MG-2011**. 2011.
- CORSANI, Laisi et al. Qual a melhor Realidade para Aprender Jogando: Virtual ou Aumentada?. Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital, 2009, p. 1-10.
- DOS REIS, Alessandro Vieira; DOS SANTOS GONÇALVES, Berenice. Interfaces Tangíveis: Conceituação e Avaliação. **Estudos em Design**, v. 24, n. 2, 2016.
- FEINER, Steven et al. A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. In: **Wearable Computers, 1997. Digest of Papers., First International Symposium on**. IEEE, 1997. p. 74-81.
- FIALA, Mark. ARTag, a fiducial marker system using digital techniques. In: **Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on**. IEEE, 2005. p. 590-596.
- FREEMAN, Russell; STEED, Anthony; ZHOU, Bin. Rapid scene modelling, registration and specification for mixed reality systems. In: **Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology**. ACM, 2005. p. 147-150.
- GÜVEN, Sinem; FEINER, Steven. Authoring 3D hypermedia for wearable augmented and virtual reality. In: **Proceedings of IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'03)**. 2003. p. 21-23.
- HOUNSELL, Marcelo da Silva et al. A Brief History of Virtual Reality in Brazil: A survey over the publications in the "Symposium on Virtual and Augmented Reality". **SBC Journal on Interactive Systems**, v. 5, n. 3, 2014. p. 78-92.
- INSLEY, Seth. Obstacles to general purpose augmented reality. **ECE 399H, Information Security & Cryptography, Oregon, EUA**, 2003.
- KIRNER, Claudio. Mãos colaborativas em ambientes de Realidade Misturada. In: Anais do 1º Workshop de Realidade Aumentada, Piracicaba, SP. 2004. p. 1-4.
- KIRNER, Claudio. Prototipagem rápida de aplicações interativas de realidade aumentada. **Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada**, v. 1, n. 1, p. 29-54, 2011.
- KIRNER, Claudio; TORI, Romero. Fundamentos de Realidade Aumentada. In: TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson Augusto. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Editora SBC, 2006.
- LAVIOLA JR, Joseph J. et al. **3D user interfaces: Theory and practice**. Addison-Wesley Professional, 2017.

- LEDERMANN, Florian; SCHMALSTIEG, Dieter. APRIL: A high-level framework for creating augmented reality presentations. In: **Virtual Reality, 2005. Proceedings. VR 2005. IEEE**. IEEE, 2005. p. 187-194.
- LING, Haibin. Augmented Reality in Reality. **IEEE MultiMedia**, v. 24, n. 3, p. 10-15, 2017.
- MACINTYRE, Blair et al. DART: The designer's augmented reality toolkit. In: **Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings. The Second IEEE and ACM International Symposium on**. IEEE, 2003. p. 329-330.
- MILGRAM, Paul et al. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In: **Telemanipulator and telepresence technologies**. 1994. p. 282-292.
- MUR-ARTAL, Raul; MONTIEL, Jose Maria Martinez; TARDOS, Juan D. ORB-SLAM: a versatile and accurate monocular SLAM system. **IEEE Transactions on Robotics**, v. 31, n. 5, p. 1147-1163, 2015.
- POUPYREV, Ivan et al. Tiles: A Mixed Reality Authoring Interface. In: **Interact**. 2001. p. 334-341.
- PRINCE, Simon et al. 3d live: Real time captured content for mixed reality. In: **Mixed and Augmented Reality, 2002. ISMAR 2002. Proceedings. International Symposium on**. IEEE, 2002. p. 7-317.
- PROVIDELO, Celso et al. Ambiente Dedicado para Aplicações Educacionais com Realidade Misturada. In: **Proceedings of VII Symposium on Virtual Reality**, SP. 2004.
- SHERMAN, William R.; CRAIG, Alan B. **Understanding virtual reality: Interface, application, and design**. Elsevier, 2002.
- SISCOUTTO, Robson Augusto; TORI, Romero. AVTC-Augmented virtuality tele-conferencing. In: **Proceedings of VII Symposium on Virtual Reality**. 2004. p. 124-136.
- SCHMALSTIEG, Dieter et al. The studierstube augmented reality project. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 11, n. 1, p. 33-54, 2002.
- SEICHTER, Hartmut; KVAN, Thomas. Tangible interfaces in design computing. **Virtual Environment**, v. 2, p. 159-166, 2004.
- TIFFIN, John; TERASHIMA, Nobuyoshi (Ed.). **Hyperreality: Paradigm for the third millenium**. Psychology Press, 2001.
- TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOUTTO, Robson Augusto. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Editora SBC, 2006.
- VALENTE, Luis et al. The Concept of Pervasive Virtuality and Its Application in Digital Entertainment Systems. In: **International Conference on Entertainment Computing**. Springer International Publishing, 2016. p. 187-198.
- WANG, X.; ONG, S. K.; NEE, A. Y. C. A comprehensive survey of augmented reality assembly research. **Advances in Manufacturing**, v. 4, n. 1, p. 1-22, 2016.
- ZAUNER, Jürgen et al. Authoring of a mixed reality assembly instructor for hierarchical structures. In: **Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality**. IEEE Computer Society, 2003. p. 237.
- ZHOU, Zhi Ying; CHEOK, Adrian David; PAN, Jiun Horng. **Interactive system and method**. U.S. Patent n. 7,295,220, 13 nov. 2007.

Sites

Artanim, 2017

<http://www.artanim.ch/en/projects-detail.php>

Acesso em 15/10/2017

ARToolkit.

<https://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/>.

Acesso em 6/9/2017.

Augment.

<http://www.augment.com/how-augmented-reality-works/>

Acesso em 20/9/2017.

Aurasma.

<https://www.aurasma.com/>

Acesso em 15/10/2017

Flash

<http://www.adobe.com/br/products/animate.html>

Acesso em 20/9/2017.

Holodeck VR

<http://www.holodeckvr.co>

Acesso em 15/10/2017.

Inglobe Technologies

<http://www.inglobetechnologies.com>

Acesso em 15/10/2017.

Irrlicht 3d

<http://www.irrlicht3d.org>

Acesso em 15/10/2017.

Isdale, J. Augmented Reality 2000.

http://vr.isdale.com/vrTechReviews/AugmentedReality_Nov2000.html.

Acesso em 15/10/2017.

Interaction Design Foundation. Augmented Reality – The Past, The Present and The Future.

<https://www.interaction-design.org/literature/article/augmented-reality-the-past-the-present-and-the-future>. Acesso em 20/9/2017.

osgART

<http://www.osgart.org>

Acesso em 15/10/2017

The Eye of Judgment

www.playstation.com/en-us/games/the-eye-of-judgment-ps3

Acesso em 20/9/2017

The Void.

<https://www.thevoid.com/>

Acesso em 15/10/2017

Total Immersion

<http://www.t-immersion.com/>

Acesso em 15/10/2017

Vuforia.

<https://vuforia.com/>

Acesso em 15/10/2017