

Pré-simpósio SVR2009

XI Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada



**APLICAÇÕES DE
REALIDADE VIRTUAL
E AUMENTADA**

Organizadores

Rosa Maria Costa
Marcos Wagner S. Ribeiro

Aplicações de Realidade Virtual e Aumentada

SVR
2009

XI SIMPÓSIO DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA

Livro do
Pré-Simpósio

25 a 28 de maio de 2009
Porto Alegre-RS - Brasil

Editora
Sociedade Brasileira de
Computação - SBC

Organizadores
Rosa Maria Costa
Marcos Wagner S. Ribeiro

Realização
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Faculdade de Informática
Grupo de Realidade Virtual

Promoção
Sociedade Brasileira de Computação - SBC

© 2009 pelos editores e autores

Todos os direitos reservados pelos respectivos detentores

Figuras e citações referenciadas: direitos reservados aos respectivos detentores

Coordenação de Produção e Editoração

Marcos Wagner S. Ribeiro – ULBRA

Capa e Projeto Gráfico

Aline Santa Pereira – ULBRA

Aplicações de Realidade Virtual e Aumentada

Rosa Maria E. M. Costa, Marcos Wagner S.

Ribeiro - organizadores. – Porto Alegre - RS,

Editora SBC – Sociedade Brasileira de

Computação, Porto Alegre, 2009.

“Livro do pré-simpósio, XI Symposium on Virtual and Augmented Reality”

Bibliografia.

1. Realidade Virtual, Realidade Aumentada I.

Costa, Rosa II. Ribeiro, Marcos.

ISBN 857669236-8

Índice para catálogo sistemático:

1. Realidade Virtual e Aumentada: Ciência da Computação 006

Este livro foi especialmente editado, em tiragem limitada, a partir de conteúdos desenvolvidos para as palestras do pré-simpósio do *XI Symposium on Virtual and Augmented Reality*, realizado em Porto Alegre – Rio Grande do Sul, de 25 a 28 de maio de 2009, promovido pela Sociedade Brasileira de Computação e organizado pelo Grupo de Realidade Virtual da PUC-RS.

SIMPÓSIO DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA

de 25/05/2009 a 28/05/2009

Local: PUCRS - Faculdade de Informática

BOTEGA, Leonardo Castro; CRUVINEL, Paulo Estevão. *Realidade Virtual: Histórico, Conceitos e Dispositivos. Aplicações de Realidade Virtual e Aumentada*. XI Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada. Porto Alegre: SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2009. Pp. 8-30.

Capítulo

1

Realidade Virtual: Histórico, Conceitos e Dispositivos

Leonardo Castro Botega e Paulo Estevão Cruvinel

Abstract

This paper describes the history of the Virtual Reality (VR) in Brazil and abroad, aiming the first groups, systems and applications of this kind of interface. Later, the available kinds of VR systems are presented and classified, representing their employability into several applied scientific contexts. Finally, the input and output devices used in virtual environments are identified, since their components working methods, until their insertion into the three-dimensional context.

Resumo

Este artigo descreve o histórico da Realidade Virtual (RV) no Brasil e no exterior, apontando os primeiros grupos, sistemas e aplicações desta modalidade de interface. Posteriormente, são apresentadas e classificadas as diversas modalidades de RV disponíveis, retratando sua empregabilidade dentro de vários contextos científicos aplicados. Finalmente, são identificados os dispositivos de entrada e saída de dados utilizados em ambientes de RV, desde o funcionamento de seus componentes formadores, até sua inserção no contexto de interfaces tridimensionais.

1.1. Histórico

A Realidade Virtual configura-se como uma interface avançada de terceira geração para aplicações computacionais, na qual o usuário pode interagir, em tempo real, a partir de um ambiente tridimensional sintético, utilizando dispositivos multisensoriais (Kirner *et al*, 1995).

A tecnologia surgiu com o pesquisador Ivan E. Sutherland, o qual desenvolveu o primeiro sistema gráfico interativo, o qual interpreta desenhos como dados de entrada e realiza associações com topologias conhecidas, gerando novos desenhos (Sutherland, 1963). Já o termo Realidade Virtual (RV) surgiu em meados dos anos 70, onde pesquisadores sentiram a necessidade de uma definição para diferenciar as simulações computacionais tradicionais dos mundos digitais que começavam a ser criados. Nasceram então as interfaces de terceira geração, onde interações eram

produzidas sobre as situações geradas, utilizando-se de comandos não convencionais, diferenciando-se das interfaces dotadas apenas de reprodução multimídia, mantidas até então por interfaces bidimensionais de primeira e segunda geração (Krueger, 1977) (Bolt, 1980) (Lanier, 1984). O termo é bastante abrangente, e logo, acadêmicos, desenvolvedores de *software* e pesquisadores procuram definir Realidade Virtual baseados em suas próprias experiências. Pimentel define Realidade Virtual como sendo o uso de tecnologia para convencer o usuário de que ele está em outra realidade. Em geral, Realidade Virtual refere-se a uma experiência interativa e imersiva baseada em imagens gráficas tridimensionais geradas em tempo real por computador (Pimentel, 1995).

Machover afirma que a qualidade dessa experiência em Realidade Virtual é essencial, pois deve estimular ao máximo, de forma criativa e produtiva, o usuário. Os sistemas de Realidade Virtual também precisam fornecer uma reação de forma coerente aos movimentos do participante, tornando a experiência consistente (Machover, 1994). O principal objetivo desta nova tecnologia é fazer com que o participante desfrute de uma sensação de presença no mundo virtual (Jacobson, 1994). Para propiciar esta sensação de presença os sistemas de RV integram sofisticados dispositivos, os quais podem ser aplicados em ferramentas das mais diversas áreas, contribuindo para a análise e manipulação de representações virtuais. Estes dispositivos podem ser luvas de dados (Sun, 2007) (Immersion, 2007) e capacetes imersivos (*Head Mounted Displays*) (Sensics, 2007) (Darpa, 2007) (VRealities, 2007).

Na prática, a RV permite que o usuário navegue e observe um mundo tridimensional sob seis graus de liberdade (6 DOF)¹. Isso exige a capacidade do *software* de definir, e do *hardware* de reconhecer, seis tipos de movimento: para frente/para trás, acima/abaixo, esquerda/direita, inclinação para cima/para baixo, angulação à esquerda/à direita e rotação à esquerda/à direita. Na essência, a RV é um espelho da realidade física, na qual o indivíduo existe em três dimensões, tem a sensação de estar imerso no ambiente e tem a capacidade de interagir com o mundo ao seu redor. Os dispositivos de RV simulam essas condições, chegando ao ponto em que o usuário pode tocar virtualmente os objetos de um mundo virtual e fazer com que eles respondam, ou mudem, de acordo com suas ações (Von Schweber, 1995).

No final de 1986 uma equipe da NASA já possuía um ambiente virtual que permitia aos usuários ordenar comandos pela voz, escutar fala sintetizada e som 3-D, e manipular objetos virtuais diretamente através do movimento das mãos. O mais importante é que através desse trabalho verificou-se a possibilidade de comercialização de um conjunto de novas tecnologias, com o custo de aquisição e desenvolvimento cada vez mais acessível (Pimentel, 1995).

A conscientização de que os empreendimentos da NASA tornavam-se tecnologias comercializáveis deu início a inúmeras pesquisas em RV no mundo inteiro. Organizações variando de empresas de *software* até grandes corporações de informática começaram a desenvolver e vender produtos e serviços ligados à Realidade Virtual. Em 1987, a VPL Research Inc. começou a vender capacetes e luvas digitais e em 1989 a AutoDesk apresentava o primeiro sistema de RV baseado num computador pessoal (PC) (Jacobson, 1994).

1

DOF (*Degrees of freedom*): Graus de liberdade, relativo aos movimentos de translação e rotação do dispositivo de RV.

Apesar da RV ter sido inventada há mais de 30 anos ela tem a cada ano evoluído substancialmente. Seu custo permaneceu alto durante muito tempo devido aos equipamentos de alta tecnologia envolvidos. Entretanto, a evolução das indústrias de computadores e o grande avanço tecnológico possibilitaram a utilização da RV a um preço acessível, cerca de metade dos custos de dez anos atrás, fazendo com que deixasse de ser exclusividade de instituições de pesquisa ou governamentais (Machado, 1995).

No Brasil, um dos primeiros grupos de pesquisa em Realidade Virtual (RV) foi organizado no Departamento de Computação da Universidade Federal de São Carlos (DC/UFSCar), criado em outubro de 1995 (Kirner, 1995). Seu principal projeto, denominado AVVIC-PROTEM-CC, baseou-se na criação de um ambiente e aplicações de pesquisa de RV distribuída, provendo melhorias nas condições de visualização interativa e compartilhada em ambiente colaborativo. Neste âmbito, encontram-se na literatura da área trabalhos desenvolvidos que contribuíram para a popularização das técnicas e dispositivos de RV no País, tais como: Modelagem dinâmica de mundos virtuais (Schneider, 1997), detecção de colisão (Peruzza, 1997), ambiente virtual interativo tridimensional (Ipolito, 1997), suporte virtual para ensino a distância (Kubo, 1997), suporte para aplicações de RV e visualização (Santos, 1998). Ainda neste período, junto à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), outro trabalho relevante desenvolvido neste segmento foi a especificação e análise de um sistema distribuído de Realidade Virtual, a primeira tese de doutorado no país abordando RV (Araújo, 1996).

Atualmente, além do DC/UFSCar encontram-se no País outros grupos que desenvolvem estudos de RV (aproximadamente 30), onde segundo dados da Sociedade Brasileira de Computação (<http://www.sbc.org>), os principais estão localizados nas seguintes instituições: SVVR/LNCC, TecGraf/PUC, Interlab/USP, LSI/USP, GRV/UNESP, GRVa/UFRJ, GRV/UFU, GMRV/UNIMEP, GRV/UFPE e LApIS/UNIVEM. Dentre os principais trabalhos desenvolvidos encontram-se: sistema de reconstrução de mandíbula (Villamil *et al*, 2005), ambiente virtual para planejamento de hepatectomia (Benes e Bueno, 2003), prototipagem a partir de imagens reconstruídas (Bazan, 2004) (Souza *et al*, 2001), ferramentas estereoscópicas para treinamento médico (Botega e Nunes, 2005), sistemas de geração de modelos tridimensionais a partir de imagens médicas (Perdigão *et al*, 2005), Frameworks de simulação de procedimentos médicos (Oliveira, 2006), simuladores de segmentação de imagens (Delfino, 2006), sistema de análise de amostras agrícolas tridimensionais (Botega e Cruvinel, 2007), framework de Realidade Aumentada baseado em FPGA (Lima *et al*, 2007), gerador de jogos utilizando Realidade Aumentada (Tsuda *et al*, 2007), integração de Realidade Aumentada em interação entre robôs (Calife *et al*, 2007), iluminação realística (Pessoa *et al*, 2008), gerador de aplicações multimídia com RV (Malfatti *et al*, 2008), estimador de profundidade em ambientes de RV (Sanchez *et al*, 2008), incorporação de comandos de voz em ambientes de RV (Pizzolato *et al*, 2008) e sistema de rastreamento virtual (Teixeira *et al*, 2008).

1.2. Sistemas de Realidade Virtual

Os sistemas de RV diferem entre si de acordo com os níveis de imersão e de interatividade proporcionado ao usuário. Esses níveis são alcançados pelos diversos tipos de dispositivos de entrada e saída de dados do sistema, além da performance do computador que o hospeda. Existem algumas formas de classificação dos sistemas de

RV. Shepherd (1993), identifica duas grandes classes: tele-presença, em que um ambiente sintético comum é compartilhado entre várias pessoas como uma extensão ao conceito de trabalho cooperativo suportado por computador, e tele-operação, onde robôs agem sobre um elemento, seja ele um corpo humano ou um produto sendo manufaturado. Entretanto, esses termos sofreram vários desdobramentos e mesmo inversões.

Segundo Araújo (1996), as aplicações de RV, em geral, são classificadas da seguinte forma: tele-colaboração, tele-presença e visualização científica 3-D. Sistemas de tele-colaboração implementados permitem aos usuários compartilhar um mesmo espaço e manipular objetos, sentindo o peso dos mesmos por meio de dispositivos de *feedback*. Um sistema de tele-presença, ou tele-existência, estende as capacidades sensoriais de um usuário humano, bem como a suas habilidades de solução de problemas, para um ambiente remoto. Na tele-presença, também conhecida como tele-operação ou tele-robótica, o robô executa as tarefas fisicamente separadas de seu operador humano. As ações executadas pelo operador são traduzidas em ações executadas pelo robô em seu ambiente remoto, ao mesmo tempo em que é emitido *feedback* sensorial ao operador humano, que se sente como se estivesse realmente presente no ambiente remoto. A tele-presença pode ser mais claramente vista como uma técnica de visão computacional que realça a função intermediária entre o participante e o ambiente (Latta, 1994).

Já a Visualização Científica permite que grandes quantidades de dados gerados por simulações computacionais sejam traduzidas em representações visuais tridimensionais. Dados podem ser renderizados como pontos, linhas, curvas, superfícies, volumes, cores, e mesmo como sons. Também permite a manipulação dos modelos sob vários ângulos e posições, permitindo uma ampla exploração de propriedades matemáticas intrínsecas (Upton *et al*, 1989) (Hultquist *et al*, 1992) (Spencer, 2001).

Jacobson (1994) e Pimentel (1995) consideram que sistemas ou estilos de RV podem ser classificados como RV de Simulação, RV de Projeção, Realidade Aumentada ou Realçada (*Augmented Reality*), Tele-presença, *Displays* Visualmente Acoplados (*Visually Coupled Displays*) e RV de Mesa.

A RV de Simulação trata-se do estilo mais antigo, originado com os simuladores de vôo desenvolvidos pelos militares americanos após a Segunda Guerra Mundial. Um sistema desse tipo basicamente imita o interior de um carro, avião ou jato, colocando o participante dentro de uma cabine onde se encontram monitores que apresentam um mundo virtual que reage aos comandos do usuário. Um sistema de RV de Simulação não processa imagens em estéreo, as imagens são geradas de forma bastante rápida. Em alguns sistemas as cabines são montadas sobre plataformas móveis, e os controles oferecem *feedback* tátil e auditivo (Burdea *et al*, 1994).

A RV de Projeção, também conhecida como Realidade Artificial, foi criada nos anos 70 por Myron Krueger (Krueger, 1977). Na RV de Projeção o usuário está fora do mundo virtual, mas pode se comunicar com os personagens virtuais. O sistema VIDEOPLACE, criado por Krueger naquela época, capturava a imagem do usuário e projetava-a em uma grande tela que representava um mundo virtual nas quais os usuários podiam interagir uns com os outros ou com os modelos virtuais. Krueger usou o termo Realidade Artificial para descrever o tipo de ambiente criado pelo seu

sistema, o qual não exigia que o participante vestisse ou usasse dispositivos de entrada.

Já a Realidade Aumentada (*Augmented Reality*) utiliza os dispositivos não convencionais de mais baixo custo para promover a imersão e interação do usuário com modelos 3-D. Utilizando-se de câmeras, marcadores de papel e técnicas de visão computacional, esta modalidade de RV captura a cena real onde se encontram os marcadores, reconhece a estrutura constante nos mesmos e insere o modelo virtual correspondente na cena real, a qual pode ser visualizada por monitores, *HMD's* ou algum sistema de projeção (Kirner *et al*, 2007). A Figura 1 demonstra o processo de reconhecimento dos marcadores e o posicionamento dos modelos virtuais na cena real.

Em sistemas de Realidade Aumentada (RA) mais custosos, utilizam-se dispositivos visuais transparentes, por onde o usuário pode ver dados, diagramas, animações e gráficos tridimensionais sem deixar de enxergar o mundo real, obtendo informações geradas por computador sobrepostas ao mundo real. Esses *displays* transparentes são chamados *heads-up-displays (HUD's)*. O usuário pode, por exemplo, estar consertando algo e visualizando nos óculos os dados necessários a esta operação.

A RA visa aprimorar a percepção sensorial e pode ser entendida como uma forma de interface homem máquina de quarta geração que não tem um único foco de atenção, sendo que a interação se dá com o meio de forma global e ampliada. São características básicas de sistemas de RA: o processamento em tempo real, a combinação de elementos virtuais com o ambiente real e o uso de elementos virtuais concebidos em 3-D.

Por outro lado, a Tele-presença, utiliza câmeras de vídeo e microfones remotos para envolver e imergir o usuário profundamente no mundo virtual. Controle de robôs e exploração planetária são exemplos de pesquisas de Tele-presença em desenvolvimento. Contudo, existe também um grande campo em aplicações médicas, onde são utilizadas câmeras de vídeo e cabos de fibra óptica em intervenções cirúrgicas para auxiliar a visualização dos corpos de seus pacientes. Através da RV eles podem, literalmente, entrar no paciente, diretamente no ponto de interesse (Heeter, 1992) (Steuer, 1992).

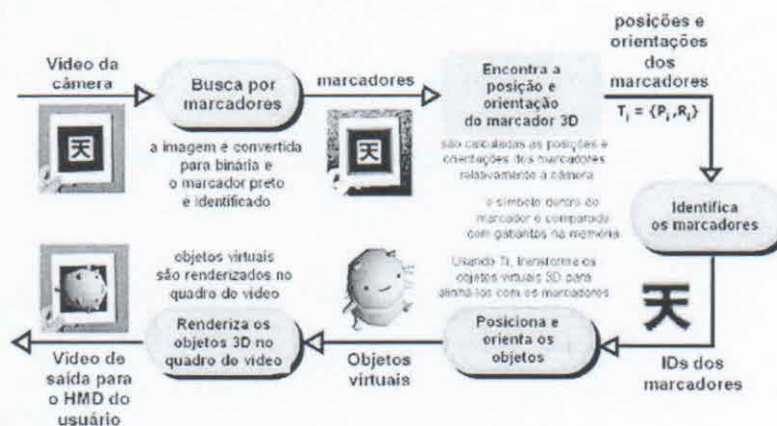


Figura 1. Representação do processo de reconhecimento dos marcadores e o posicionamento de modelos virtuais (traduzido de Kato et al, 2000).

Os *Displays Visualmente Acoplados (Visually Coupled Displays ou Head Mounted Displays)* correspondem a uma classe de sistemas na qual imagens são exibidas diretamente ao usuário, que está olhando em um dispositivo que deve acompanhar os movimentos de sua cabeça. Esses dispositivos geralmente permitem imagens e sons em estéreo e detecção de movimentos da cabeça do usuário, usando essa informação para realimentação da imagem exibida (Azuma *et al*, 1994) (Romano, 2004).

A RV de Mesa (*Desktop VR*) é um subconjunto dos sistemas tradicionais de RV em que, ao invés de *Head Mounted Displays (HMD)*, são utilizados grandes monitores ou algum sistema de projeção para apresentação do mundo virtual. Alguns sistemas permitem ao usuário ver imagens tridimensionais no monitor com óculos obturadores, polarizadores ou filtros coloridos. Outros ainda utilizam-se de espelhos e displays horizontais, onde a imagem é retroprojetada em uma mesa translúcida, cujo resultado se assemelha com os hologramas (Cruz-Neira *et al*, 1993) (Burdea *et al*, 1994).

1.3. Imersão, Interação e Envolvimento

A RV também pode ser caracterizada pela coexistência integrada de três idéias básicas: imersão, interação e envolvimento (Morie, 1994). A idéia de imersão está intimamente ligada ao sentimento de fazer parte do ambiente. Normalmente, um sistema imersivo é obtido com o uso de capacete de visualização, cavernas e projeções das cenas nas paredes, teto e piso (Cruz-Neira, 1992). Além do fator visual, dispositivos ligados aos demais sentidos também são importantes para o sentimento de imersão, principalmente o som (Begault, 1994; Gradecki, 1994), além do posicionamento do usuário e dos movimentos da cabeça. A visualização de uma cena 3D em um monitor é considerada não imersiva. Dessa forma, tem-se a conceituação de RV imersiva e não imersiva (Leston, 1996).

De modo geral, do ponto de vista da visualização a RV imersiva utiliza capacete ou cavernas, enquanto a RV não imersiva utiliza monitores. Entretanto, dispositivos baseados nos demais sentidos podem introduzir algum grau de imersão à RV que usa monitores (Robertson, 1993). Ainda assim, os monitores ainda apresentam alguns pontos positivos, como o baixo custo e a facilidade de uso, evitando as limitações técnicas e problemas decorrentes do uso do capacete. Todavia, a tendência deve ser a utilização da RV imersiva, considerando que a imersão, aliada à interação, justificam-se como os grandes propósitos das aplicações em RV.

A interação está ligada à capacidade do computador detectar as entradas do usuário e modificar instantaneamente o mundo virtual em função das ações efetuadas sobre ele (capacidade reativa ou *feedback*). As pessoas sempre procuram uma boa simulação em um sistema de RV, onde que as cenas mudam em resposta aos seus comandos, que é a característica mais marcante dos *video games*. Para que um sistema de RV pareça mais realista, o ambiente virtual deve ser interativo (Araújo, 1996).

A idéia de envolvimento, por sua vez, está ligada ao grau de motivação para o engajamento de uma pessoa em determinada atividade. O envolvimento pode ser passivo, como ler um livro ou assistir televisão, ou ativo, como participar de um jogo com algum parceiro. A RV tem potencial para os dois tipos de envolvimento ao permitir a exploração de um ambiente virtual e propiciar a interação do usuário com o mundo virtual dinâmico.

1.4. Dispositivos de Realidade Virtual

A interface em RV envolve um controle tridimensional altamente interativo de processos computacionais. O usuário entra no espaço virtual das aplicações e visualiza, manipula e explora os dados da aplicação em tempo real, usando seus sentidos, particularmente os movimentos naturais tridimensionais do corpo. A grande vantagem é que o conhecimento intuitivo do usuário sobre o mundo físico pode ser transportado para o mundo virtual.

Como consequência do advento da RV, surgiu a necessidade de se redefinir o paradigma de interface homem-computador. O sistema tradicional mouse-teclado-monitor foi substituído por dispositivos não-convencionais, que permitem maior imersão do usuário no ambiente sintético e o manuseio de todas as potencialidades dessa nova tecnologia (Kirner, 1995).

1.4.1. Dispositivos de saída de dados

A maioria das aplicações de RV é baseada no isolamento dos sentidos, principalmente a visão. Assim, cabe ao *hardware* de RV de saída de dados estimular tais sentidos. A saída dos sistemas de RV, seja ele imersivo (HMD's) ou parcialmente imersivo (monitores), tem como preocupação principal a estereoscopia, seja ela passiva, como a polarização, anaglifos e difração de luz, ou ativa, como os óculos obturadores (Gattas *et al*, 2004).

1.4.1.1. Dispositivos convencionais de saída de dados

Os dispositivos de convencionais de saída de dados são periféricos de comum utilização, destinados à visualização e análise de sistemas de propósito geral. São eles: monitor de vídeo, impressoras, auto-falantes, etc. Envolvendo sistemas de Realidade Virtual, os dispositivos convencionais de saída de dados podem contribuir para o desenvolvimento de ambientes interativos e semi-imersivos, porém, não são capazes de prover realismo e o envolvimento tal qual fornecidos por sistemas virtuais dotados de dispositivos não-convencionais, os quais serão amplamente utilizados no presente projeto e descritos minuciosamente na seção a seguir.

1.4.1.2. Dispositivos não-convencionais de saída de dados

Os dispositivos não-convencionais de saída de dados são responsáveis em fornecer grande parte do efeito imersivo ao sistema de RV. Assim, tais dispositivos, implementados sob *interfaces* intuitivas, são capazes de transportar o usuário à cena sintética, tornando real sua experiência.

1.4.1.2.1. Head Mounted Displays

O vídeo-capacete (*Head-Mounted Display*, HMD) é um dos dispositivos de interface para RV mais populares, por tratar-se do dispositivo não-convencional de saída de dados que mais isola o usuário do mundo real. Este dispositivo é constituído basicamente de uma ou duas minúsculas telas e um conjunto de lentes especiais. Com duas telas, a tecnologia pode ser utilizada para exibir imagens estereoscópicas, apresentando os respectivos pontos de vista de cada olho para cada tela, contribuindo para o efeito imersivo.

As lentes ajudam a focalizar imagens que estão a alguns milímetros dos olhos do usuário, ajudando também a ampliar o campo de visão do vídeo. Os HMD's funcionam também como um dispositivo de entrada de dados, porque contém sensores de rastreamento que medem a posição e orientação da cabeça, transmitindo esses dados para o computador. Consequentemente, o computador gera uma seqüência de imagens por quadro correspondente às ações e perspectivas do usuário (Gradescki, 1994).

Os HMD's são construídos, normalmente, usando três tipos de telas: os monitores de TV (CRT), os monitores de cristal líquido (LCD), os mais usados atualmente, e os de diodo emissores de luz orgânicos (OLED).

1.4.1.2.1.1. Displays CRT

Os monitores de TV, em função da avançada tecnologia disponível nesta área, podem exibir imagens de alta resolução (1280x1024 pixels) com uma qualidade de cor excelente, mesmo em pequenas dimensões, sob campo de visão horizontal de até 127 graus. Entretanto, são relativamente pesados, volumosos e colocam altas voltagens muito próximas à cabeça do usuário (> 100v) (Kalawski, 1993). O funcionamento básico de um monitor CRT baseia-se na emissão de um raio de elétrons (raios catódicos) por um canhão de elétrons. O raio passa por um sistema de ajuste de foco (anodo) e deflexão, que direciona o raio para posições específicas de uma tela fosforescente. O fósforo então emite um pequeno ponto de luz em cada posição atingida pelo raio catódico. Devido ao rápido enfraquecimento da luz, a maioria dos HMD's CRT possuem um sistema de *refresh*, responsáveis por redesenhar a imagem repetidas vezes na tela. As cores na tela podem ser representadas através de duas maneiras: por uma dupla camada de fósforo, vermelha e verde, onde as cores exibidas na tela dependem de quanto os raios catódicos penetram nestas camadas e através de máscaras coloridas, posicionadas no caminho do raio. Tais máscaras possuem três pontos de cor em cada posição de pixel (verde, vermelho e azul) e três canhões de elétrons, cada um para um ponto de cor. Quando os raios atravessam a máscara, eles ativam o triângulo de cores, o qual aparece em um pequeno ponto na tela. Cada cor específica pode ser alcançada por emissões específicas de raios catódicos (Hearn e Baker, 1997).

Os HMD's CRT usam dois Monitores de Raios Catódicos (CRT) que são posicionados nas laterais do HMD. Refletores de imagens são usados para dirigir a cena para o olho do usuário (Lane, 1993) A Figura 2 demonstra a emissão de raios catódicos e a Figura 3 demonstra um HMD com *display CRT*.

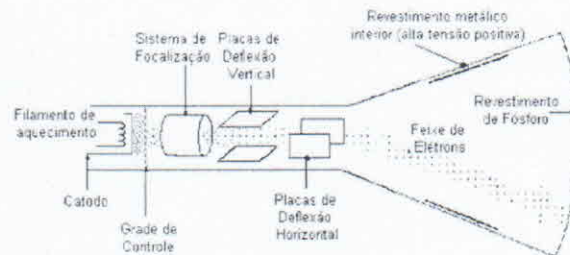


Figura 2. Representação do funcionamento de um CRT, partindo da emissão de raios catódicos, passando por sistemas de focalização, deflexão e controle, até atingir a tela fosforescente

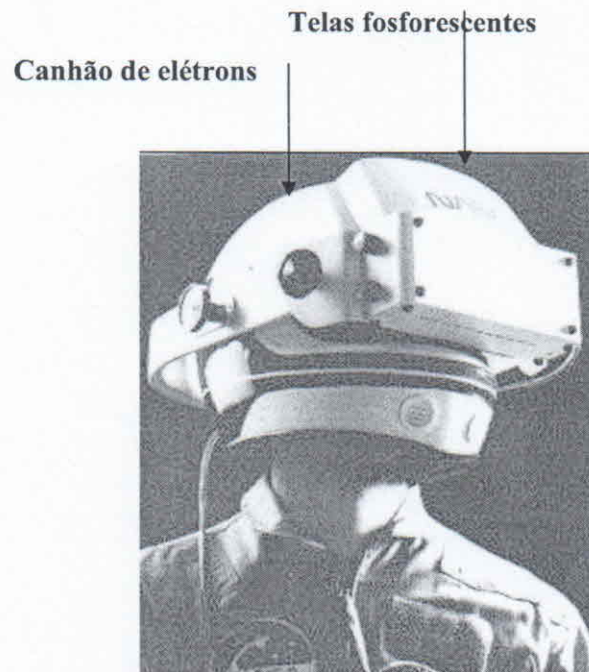


Figura 3. HMD CRT de 2 telas desenvolvido na NASA, onde o canhão de elétrons é posicionado nas laterais do dispositivo, expondo o usuário a altas voltagens próximas da cabeça (Kalawski, 1993).

1.4.1.2.1.2. Displays LCD

Os HMD's LCD's, por sua vez, são leves e podem ser usados com pequenas voltagens (entre 20 e 100v). Sua resolução espacial em monitores pequenos pode variar desde extremamente baixa VGA (640x480 pixels) (Darpa, 1996), até uma amostragem satisfatória SXGA (1280x1024 pixels) (Vrlogic, 2007) com baixo ângulo de visão no campo horizontal (60 graus). Este tipo de HMD usa tecnologia LCD para exibir a cena, através da emissão de luz polarizada por um material de cristal líquido.

O termo cristal líquido atribuído a tal material refere-se ao fato de que os componentes do mesmo possuem uma disposição cristalina de moléculas, fluindo como líquido. O display é construído com cristal líquido nemático, duas superfícies de vidro, contendo polarizadores de luz e separadas pelo cristal líquido. Uma camada horizontal e outra vertical de condutores transparentes são atreladas às superfícies de vidro e a interseção dos condutores define a posição de um pixel. Quando uma luz polarizada ultrapassa todo o material, ela é rotacionada para que ultrapasse a outra superfície polarizadora e ative os pixels. Quando os *pixels* de cristal líquido são ativados, bloqueiam a passagem de luz. Milhares desses *pixels* são localizados em duas matrizes para cada exibição. Depois que o cristal líquido bloqueia a passagem de luz para exibir a cena, a luz deve ser refletida da matriz LCD para os olhos, provendo brilho para a cena. As cores podem ser obtidas em processo semelhante ao CRT, onde são utilizadas máscaras com as cores: vermelho, verde e azul, responsáveis por filtrar as posições

específicas de cada pixel. A Figura 4 demonstra o esquema dos componentes dos monitores LCD (Hearn e Baker, 1997) e a Figura 5 demonstra um HMD com *display* LCD.

1.4.1.2.1.3. Displays OLED

Já os monitores dos HMD's OLED, os mais recentes do mercado, trabalham de maneira semelhante aos LCD's, entretanto, são baseados em diodos orgânicos emissores de luz e não necessitam de luz traseira para funcionar, acarretando um menor consumo de energia à baixa voltagem. Esta tecnologia possui telas planas muito mais finas, leves e baratas que as atuais telas de LCD. A idéia é usar diodos orgânicos, compostos por moléculas que emitem luz ao receberem uma carga elétrica através de filamentos metálicos que conduzem os impulsos elétricos a cada célula. Quando uma voltagem é aplicada aos eletrodos, a carga começa a se mover no dispositivo sob influência do campo elétrico, assim, os elétrons deixam o catodo e as cargas positivas deixam o anodo em direções opostas. A combinação das cargas, na camada emissora, leva à criação de um fóton de moléculas emissoras, que sob energia elétrica gera a luz.

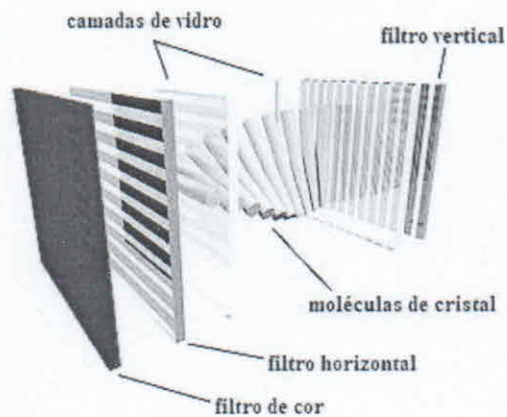


Figura 4. Esquema dos componentes formadores dos monitores LCD(GeorgiaTech, 2006)

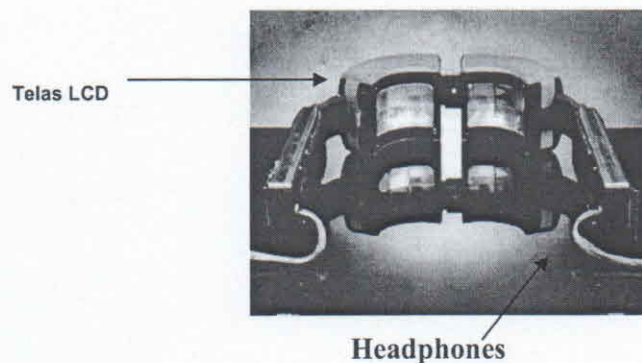


Figura 5. Exemplo de HMD com duas telas LCD e dois headphones (Darpa, 1996)

A vantagem é que ao contrário dos diodos tradicionais, estas moléculas podem ser diretamente aplicadas sobre a superfície da tela. Como desvantagens apresentam uma rápida degradação do material que compõe as telas, não suportam resolução maior que 800x600 pixels e têm baixo ângulo de visão horizontal (42 graus) (Daeyang, 2005). A Figura 6 demonstra a movimentação de cargas para a formação da luz e a Figura 7 mostra um HMD com *display* OLED.

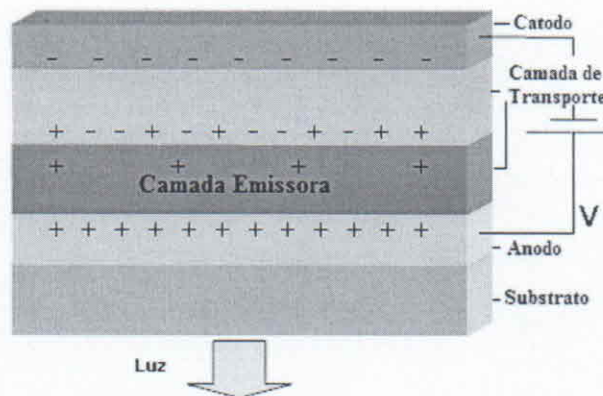


Figura 6. Representação da movimentação das cargas positivas e negativas para a formação da luz, aplicada sobre a superfície da tela (Nieto, 2006)

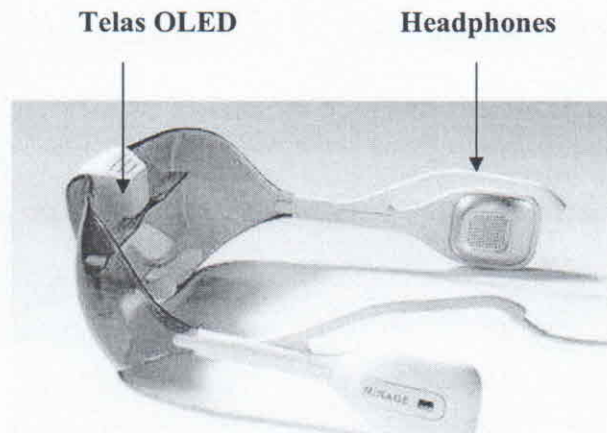


Figura 7. Representação de HMD OLED com duas telas e dois headphones (Vrealities, 2007)

O correto funcionamento de um HMD baseia-se em duas principais diretrizes: o posicionamento do plano de imagem e a disparidade focal (VRresources, 2007).

Para entender o processo, faz-se necessária compreensão da teoria do stress biológico humano, a qual diz que notamos a presença de um plano de imagem localizado a alguns metros dos olhos do observador. O valor 2 metros representa o

melhor ponto de operação pelas seguintes razões. Esta distância é utilizada para minimizar o stress muscular causado pela grande variação entre a distância do plano da imagem e a distância do objeto virtual.

Com o plano da imagem a 2 metros, é possível exibir um objeto a 1 metro de distância e ter 5% de variações do esforço necessário. Além disso, todos os objetos exibidos atrás do plano de imagem ainda estarão próximos do foco necessário desde que a variação do esforço a partir de 2 metros até o infinito seja sempre inferior a 5%. Em modelos mais recentes, o esforço muscular absoluto nunca ultrapassa 10%, sob qualquer circunstância, não importando a posição do objeto virtual.

Assim, os 2 metros de distância do plano de imagem permitem a visualização de uma imagem relativamente clara, sob uma escala de 1 metro até o infinito, mesmo com um foco óptico fixo, como na maioria dos HMD's encontrados no mercado. Evidente que mesmo com um esforço mínimo, ainda não é o ideal. Assim, pesquisadores da área buscam desenvolver um sistema óptico adaptativo, capaz de alterar a distância do plano da image dinamicamente.

O Segundo principal ponto relativo aos HMD's trata-se do campo de visão (FOV), e a sua relação com a mínima distância onde o objeto se apresenta, considerando que as ações devem ocorrer de forma com que a magnitude do campo de visão e os limites humanos devem trabalhar em conjunto.

Dependendo do campo de visão e da distância entre o plano de imagem e o observador, o mínimo ponto de aparição de um objeto virtual será, geometricamente falando, variável. Se o objetivo do uso de HMD's na aplicação for um nível de imersão razoável, deve assegurar-se que o campo de visão seja suficiente, levando em conta a distância do plano de imagem, para permitir a geração de imagens dentro dos limites fisiológicos do ser humano.

Geralmente, pode-se afirmar que o campo de visão de um HMD não consta como fator limitante, considerando a distância mínima de aparição de um objeto virtual na cena. Assim, o limite é imposto pelo máximo stress suportado pelo usuário. Desta maneira, 1 metro ocorrerá no pior caso.

1.4.1.2.2. Projetores

Os projetores desempenham um papel crucial nos sistemas de RV imersivos ou parcialmente imersivos. O brilho e a alta resolução são fatores que melhoram a qualidade da imagem, assim aumentam a sensação de imersão. Alguns projetores possuem a capacidade de gerar imagens para estereoscopia ativa e outros, através da combinação com outro projetor, são capazes de fornecer estereoscopia passiva. Atualmente existem três tipos de projetores: CRT, LCD e DLP (Gattass *et al*, 2004).

Os projetores CRT, os mais antigos, possuem três canhões de elétrons, responsáveis pela geração das três componentes de cores primarias. A imagem é então formada, semelhante ao método descrito na seção anterior, e depois projetada com o auxílio de lentes na tela de projeção.

Os projetores baseados em sistemas LCD também baseiam-se no processo descrito anteriormente, com a diferença de sempre possuírem matriz ativa, a qual permite que uma determinada linha e coluna da tela de cristal líquido seja endereçada e

receba uma carga capaz de ser mantida até o próximo ciclo de atualização da tela. Com esta carga é possível controlar a intensidade da luz que irá passar por determinado pixel. Ao fazer isso em pequenos incrementos, é possível criar uma escala de cinza.

Já os projetores DLP's utilizam semicondutores óticos para a manipulação digital da luz, dividida em três fases: semicondutor, onde o processo de acender um pixel ocorre pela movimentação de micro-espelhos posicionados em uma malha retangular; imagem cinza, obtida pela frequência de movimentação dos micro-espelhos ao serem atingidos pela luz, onde quanto maior a frequência, mais claro será o pixel, dentre 1024 níveis; e adição de cor, obtida pela utilização de máscaras, semelhante aos LCD's. A combinação da frequência de cada micro-espelho com as componentes da máscara pode produzir 16.7 milhões de cores diferentes.

1.4.1.2.3. Workbenchs e CAVEs

Com o emprego de projetores, múltiplas telas de projeção e espelhos, é possível criar as mais variadas configurações de ambientes de visualização para RV, como as *Responsive Workbenchs* e CAVE's, de maneira que, a projeção de imagens sobre tais espelhos, permite o direcionamento dos raios para superfícies específicas, como telas translúcidas (Gattass *et al*, 2004).

A *Workbenché* um espaço interativo e tridimensional, onde imagens estereoscópicas são projetadas em um topo de mesa horizontal, utilizada como superfície de visualização.

A projeção ocorre por um sistema de projetores e espelhos, onde os raios projetados atravessam a superfície translúcida da mesa e são visualizados por meio de óculos 3-D estéreo-ativos (óculos oburadores). O movimento da cabeça do usuário é acompanhado utilizando um sistema de rastreamento com seis graus de liberdade (6DOF). Desta maneira, o usuário pode ver o ambiente virtual através do ponto de vista correto, entretanto restrito a apenas uma pessoa. A Figura 8 apresenta um exemplo de *Responsive Workbench*.

Já a CAVE trata-se de uma sala cujas paredes, teto e chão são superfícies de projeção, ou seja, sobre cada superfície semitransparente da sala existe um sistema de câmeras e espelhos responsáveis por transmitir determinada porção da cena virtual. A fusão das partes de cada câmera forma a cena completa e provê ao usuário a sensação de imersão no ambiente.

Este dispositivo requer que as projeções estejam sincronizadas e as bordas das imagens sejam combinadas, para que uma junção seja imperceptível. A geração de uma perspectiva do usuário em uma CAVE não é um problema simples e deve ser calculada com base na posição do usuário, a rotação sua cabeça e a tela de projeção. A Figura 9 ilustra o funcionamento de uma CAVE.

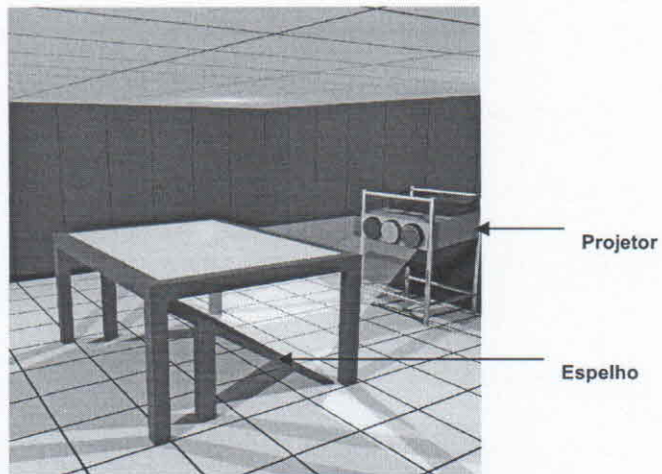


Figura 8. Representação de uma Responsive Workbench, onde as imagens são projetadas sobre um espelho abaixo da mesa e incididas em sua superfície translúcida (Scgl, 2006)

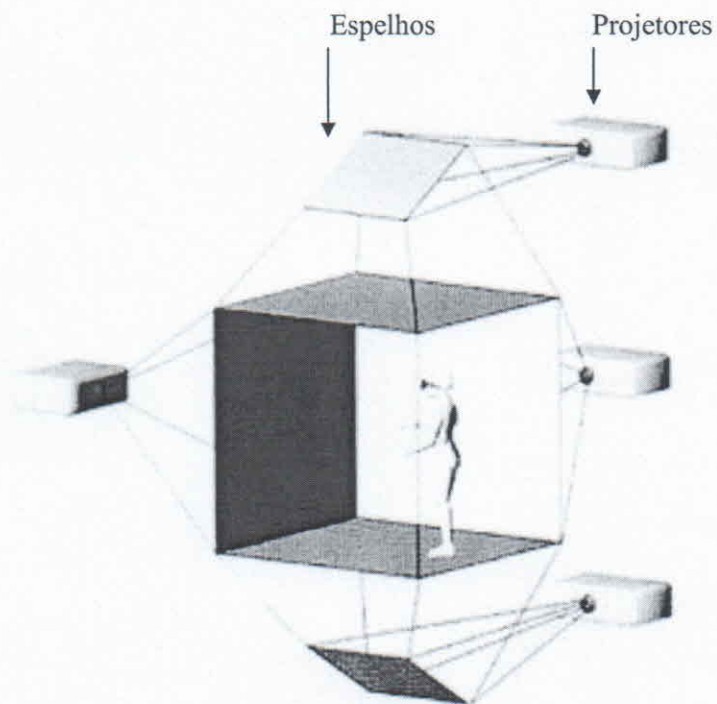


Figura 9. Representação do funcionamento de uma CAVE, onde o usuário sente-se imerso através das diversas projeções a sua volta, cada qual retratando uma parte da cena (Buxton e Fitzmaurice, 1998)

1.4.2. Dispositivos de entrada de dados

O usuário de um sistema de RV pode sentir-se dentro do ambiente sintético por intermédio dos dispositivos de saída de dados. Já os dispositivos de entrada, por outro lado, permitem o envolvimento do usuário e sua interação com tal ambiente. Sem um dispositivo de entrada de dados adequado o usuário participa da experiência de RV de forma passiva.

Pimentel (1995), divide os dispositivos de entrada em duas categorias: dispositivos de interação e dispositivos de trajetória. Os dispositivos de interação permitem ao usuário a movimentação e manipulação de objetos no mundo virtual (mouse, teclado, joysticks). Os dispositivos de trajetória, por sua vez, monitoram partes do corpo do usuário, detectando seus movimentos e criando a sensação de presença no mundo virtual (dispositivos de rastreamento).

1.4.2.1. Dispositivos de convencionais de entrada de dados

Os dispositivos de convencionais de entrada são periféricos de usabilidade comum, destinados a usuários comuns e sistemas de propósito geral. São eles: teclado, mouse, *trackballs*, digitalizadores de mesa (*scanners*), canetas digitais e microfones. No âmbito de sistemas de Realidade Virtual, os dispositivos não-convencionais de entrada de dados podem contribuir para o desenvolvimento de ambientes interativos e semi-imersivos, porém, não provêm o realismo e o envolvimento tal qual fornecidos por sistemas virtuais dotados de dispositivos não-convencionais, descritos na próxima sessão e utilizados no presente trabalho.

1.4.2.2. Dispositivos não-convencionais de entrada de dados: Rastreadores e Luvas Digitais

Os dispositivos de rastreamento tratam-se de periféricos não-convencionais de entrada de dados destinados a sistemas de RV. Graças a estes dispositivos, o usuário pode interagir com os objetos da cena virtual através de comportamentos interativos de manipulação direta (*behaviors*), contextualizando-se com a idéia original básica de um sistema de RV, onde se busca a interação natural do usuário com o ambiente virtual (VRresources, 2007).

O modo como os participantes interagem com o sistema de RV influencia enormemente suas experiências, afetando a facilidade de uso do sistema, a sensação de imersão do usuário e a variedade de ações que podem que o usuário pode tomar dentro do ambiente de RV (Gattass *et al*, 2004).

Já as luvas digitais comportam-se como dispositivos de entrada, devido principalmente a uma característica em comum: seus dispositivos de rastreamento. Assim, as luvas digitais funcionam como suporte aos vários sensores, mecânicos, óticos, acústicos, inerciais e magnéticos, utilizados para capturar dados físicos como a posição e a orientação espacial de um objeto, com complexidade variável.

1.4.2.2.1. Rastreamento por campo magnético

Este modo de detecção permite o rastreamento no espaço através de 6 graus de liberdade (6DOF). O princípio consiste em emitir três impulsos de rádio utilizando antenas e bobinas, orientadas segundo os eixos de coordenadas cartesianas, as quais, sob corrente elétrica, geram um campo magnético. O usuário tem a mesma configuração de antenas como o emissor, para que possa captar cada onda de rádio e assim determinar a intensidade do sinal sob cada eixo. A força global das três antenas do receptor dará a distância relativa da fonte emissora. A presença de objetos metálicos na área provoca interferências na transmissão, configurando-se um inconveniente ao método. Além disso, o sistema é restrito a pequenos espaços, devido ao alcance do campo magnético de no máximo 3 metros, sem canal de comunicação desobstruído.

Os movimentos são então interpretados por *software*, que podem acompanhar o dispositivo ou ser programado manualmente. Alguns modelos podem ainda fornecer *feedback*, provendo a sensação de tato e categorizando as luvas de dados também como um dispositivo de saída.

Estes dispositivos são bastante precisos, cerca de 1 a 2 mm para posição e 0.1° para orientação, sendo que sua velocidade de captura varia de 100 a 200 leituras por segundo. A Figura 10 apresenta uma luva digital *5DTGlove* com sensores magnéticos.

1.4.2.2.2. Rastreamento por correlação óptica

Este método utiliza-se de análise estereoscópica, correlacionando *pixels* comuns a duas imagens, vistas por 2 câmeras *offset*. Como na transmissão magnética, esta técnica requer uma desobstrução do canal de comunicação, para que as câmeras possam ver os pontos a serem triangularizados (correlação de pixels entre as imagens) em posições tridimensionais, representados por diversos LED's posicionados no dispositivo. Entretanto, este dispositivo de rastreamento é livre de interferências.

Sua velocidade depende muito do sensor empregado, limitado a amostragem no caso de uma câmera padrão NTSC, a qual consegue capturar imagens a 30 quadros por segundo. Já sua precisão, usualmente suficiente, depende de técnicas de calibração das câmeras e extração de informação da imagem, em geral empregadas sob algoritmos de visão computacional. A Figura 11 apresenta uma *Impulse Glove* com emissores para correlação óptica.

1.4.2.2.3. Rastreamento Mecânico

Este dispositivo baseia-se no princípio de medição de ângulos e distâncias entre juntas, onde dada uma posição conhecida, todas as outras podem ser determinadas pela relação entre as juntas. Os rastreadores podem estar presos ao chão ou mesmo anexos ao corpo do usuário, na forma de exoesqueleto. Rotações e distâncias podem ser medidas por engrenagens, potenciômetros ou sensores de dobra. Suas vantagens encontram-se na facilidade de implementação de *feedback* de força, aplicando uma força contrária ao movimento do usuário. Possui alta precisão (0.1° para orientação) e baixo tempo de resposta (200ms). A Figura 12 apresenta uma luva com sensores mecânicos e suas engrenagens.



Figura 10. 5DTGlove com sensores magnéticos, onde o receptor detecta a intensidade do sinal sob os três eixos, caracterizando o movimento (Dayeang, 2007)



Figura 11. *Impulse Glove* com rastreamento óptico, que determina a posição por correlação de posições sob diversos emissores LED's (PhaseSpace, 2008)

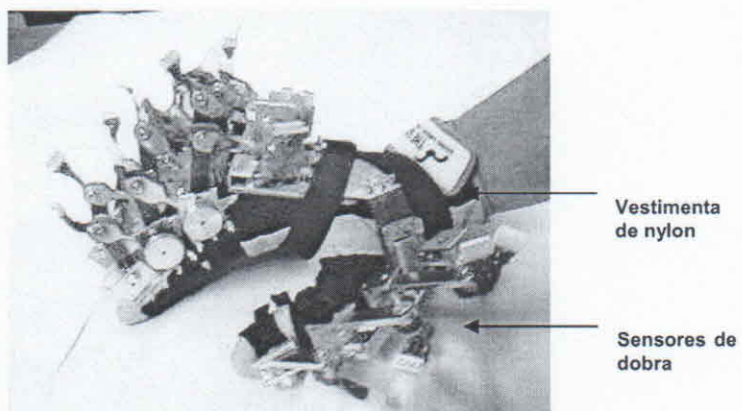


Figura 12. Representação da luva digital com sensores mecânicos, os quais mapeiam os movimentos na cena através de deslocamentos físicos do exoesqueleto (Marcus, 1991)

1.4.2.2.4. Rastreamento Acústico

Utilizam ondas sonoras ultra-sônicas para medir distância, baseando-se em tempo de voo e coerência de fase, tendo como objetivo transformar tempo de resposta em distância. Neste método de rastreamento, utiliza-se apenas um par emissor/receptor, o qual fornece a distância de um objeto em relação a um ponto fixo e três pares fornecem a posição exata do periférico.

Quanto à precisão, o rastreador acústico provê um atraso devido à espera do sinal, dependente da baixa velocidade da velocidade do som. Paralelamente, o desempenho do dispositivo é degradado em ambiente ruidoso e sob caminho obstruído entre os autofalantes e microfones. Devido a estas restrições de interferência, a distância entre receptor e transmissor não deve ultrapassar 15 metros. A Figura 13 demonstra uma luva digital com rastreamento acústico *Logitech Tracker*.

1.4.2.2.5. Rastreamento Inercial

Os dispositivos de rastreamento inerciais têm seu princípio de funcionamento baseados na segunda lei de Newton onde, $F = ma$ e $M = I\alpha$, sendo assim, o sistema deve integrar a leitura para obter a velocidade e a posição (Gattass *et al*, 2004). Possui três variantes de sensores: os magnetômetros passivos, que medem o campo magnético do ambiente e fornece medidas angulares, os girômetros, que fornecem apenas medidas angulares e os acelerômetros, que fornecem medidas lineares.

Este método de rastreamento apresenta grande precisão, sendo capaz de alcançar uma resolução angular de até 0.2° em alguns casos. Também é livre de interferências, pois o sistema é autocontido, não havendo a necessidade de um ponto externo para a obtenção de dados, e livre de restrições físicas, limitado apenas pela conexão entre o dispositivo e o computador. Um exemplo de periférico não-convencional que utiliza esse tipo de sensor é a *CyberGlove* (Immersion, 2007), representada na Figura 14.

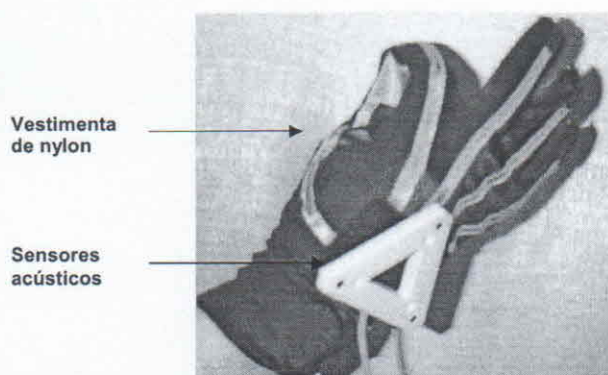


Figura 13. Luva digital com rastreamento acústico, onde a mesma pode ser localizada no espaço através do tempo de resposta da onda sonora do três receptores, relativos aos três eixos tridimensionais (VRDepot, 2007)

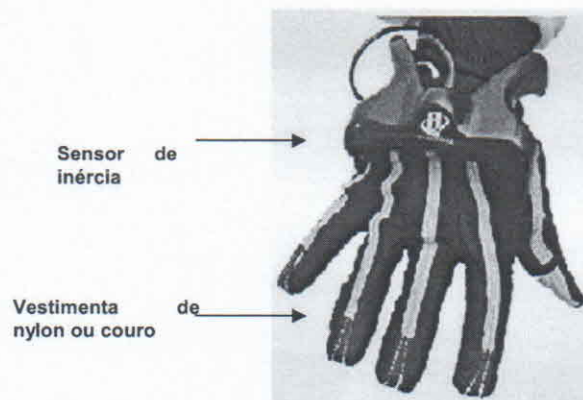


Figura 14. Representação de uma CyberGlove com sensores inerciais, os quais registram os deslocamentos a partir de uma posição de origem definida pelo sistema (Immersion, 2007).

1.5. Referências Bibliográficas

- Araújo, R.B. **Especificação e Análise de um Sistema Distribuído de Realidade Virtual**. Tese de Doutorado, EPUSP, 1996
- Azuma, R., Bishop, G. **Improving Static and Dynamic Registration in a See-Through HMD**. Proceedings of SIGGRAPH, Annual Conference Series, pp. 197-204, 1994.
- Bazan, O. **Usinagem de Próteses para Cranioplastia a partir de Imagens Tomográficas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná - UFPR. Curitiba, 2004.
- Begault, D. R. **3-D Sound for virtual reality and multimedia**, Academic Press, Cambridge, MA, 1994.
- Benes, J.A; Bueno, R.P. **Ambiente Virtual para Planejamento de Hepatectomia**. Trabalho de conclusão de curso. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUC-RS. Porto Alegre, 2003.
- Bolt, R.A. **“Put-that-there”: Voice and Gesture at the graphics interface**. 7th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp. 262-270, Washington, 1980.
- Botega, L.C.; Cruvinel, P. E. **Three-Dimensional Soil Physics Image Analysis Based on a Virtual Reality Environment**. IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, Petrópolis, 2007.
- Botega, L.C., Nunes, F.L.S., **Implementação de estereoscopia de baixo custo para aplicações de Realidade Virtual para treinamento medico**. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens – SIBGRAPI. Natal, 2005.
- Burdea, G., Coiffet, P. **Virtual Reality Technology**. John Wiley & Sons, 1994.
- Buxton, W. e Fitzmaurice, G.W.(1998). **HMD's, Caves & Chameleon: A Human-Centric Analysis of Interaction in Virtual Space**. *Computer Graphics: The SIGGRAPH Quarterly*, 32(4), 64-68
- Calife, D.; Tomoyose, A.; Spinola, D.; Bernardes, J.; Tori, R. **Robot ARena: Infrastructure for Applications Involving Spatial Augmented Reality and Robots**. IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, Petrópolis, 2007.
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., Defanti, T. A. **Sorround-screen projection based virtual reality: the design and implementation of the CAVE**. Proceedings of the 20th Annual Conference of Computer Graphics and Interactive Techniques, pp. 135-142, 1993.
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A., Kenyon, R. V., Hart, J.C. **The CAVE audio visual experience automatic virtual environment**, *Communication of the ACM*, 35(6):64-72, 1992.
- Darpa. Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). **Darpa HMD Project Summaries**. Disponível em <<http://www.darpa.mil/mto/displays/hmd/projects>>. Acesso em Janeiro de 2007.
- Dayeang Co. 5DT, fifth dimension technology, **5DT data glove specification**. Disponível em <<http://www.dayeang.com>>. Acesso em Janeiro de 2007.

- Delfino, S.; Nunes, F.L.S. **Estudo Comparativo entre Algoritmos de Segmentação para Simulação Tridimensional de Imagens Mamográficas**. Anais do II Workshop de Visão Computacional, 2006, São Carlos-SP, 2006.
- Gattass, M; Biasi, S. C. **Utilização de Quatérnios para representação de rotações em 3-D**. *Reports from academic research*. Disponível em: <<http://www.tecgraf.puc-rio.br/~mgattass/>> , 2002.
- GeorgiaTech. **Self-Aligning Liquid Crystal Technique Could Simplify Manufacture of Display Devices**. Disponível em <gtresearch.gatech.edu>. Acesso em Janeiro de 2007.
- Gradescki, J. **The virtual reality construction kit**, John Wiley & Sons, 340 Pp., 1995.
- Hearn, D. e Pauline, M. **Computer Graphics: C Version**. Second edition prentice hall. 1997
- Heeter, C. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**. MIT Press, 1992.
- Hultquist, J.P.M., e Haible, E.L. **Superglue: A programming environment for scientific visualization**, Procedure Visualization, pp. 243-250, 1992.
- Immersion Corp3D. **Interaction Overview**. Disponível em <<http://www.immersion.com/3d/>>. Acesso em Janeiro de 2007.
- Ipolito, J e Kirner, C. **Técnicas de otimização e realismo em aplicações de Realidade Virtual**. Workshop de Realidade Virtual – WRV, pp. 91-100, UFSCar, São Carlos, 1997.
- Jacobson, L. **Garage Virtual Reality**, SAMS Pub., Indianapolis, IN, 1994
- Kalawsky, R. S. **The science of virtual reality and virtual environments**, Ed. Addison- Wesley, 405 Pp., 1993.
- Kirner, C., Deriggi, F., Kubo, M.M., Sementille, A. C., Brega, J, F., Santos, S. **Virtual Environments for Shared Interactive Visualization**. Workshop of the german-brazilian cooperative program in informatics, Berlin – Alemanha, 1995.
- Kirner, C; Siscoutto, R. **Realidade Virtual e Aumentada: conceitos, projetos e aplicações. Livro do pré-simpósio**. IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, 290Pp, 2007.
- Krueger, M. W. **Responsive environments**. NCC Proceedings, pp. 375-385, 1977
- Kubo, M.M. Santos, S.G., Deriggi J.R., Kirner, C.. **Múltiplas visões em um ambiente virtual multiusuário**. Workshop de Realidade Virtual – WRV, pp. 62-70, UFSCar, São Carlos, 1997
- Latta, J. N. e Oberg, D. J. **A conceptual virtual reality model**, *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp. 23-29, Jan., 1994.
- Lane, C. Display Technologies (1993). **Encyclopedia of Virtual Environments**. Disponível em <<http://www.hitl.washington.edu/scivw/EVE/1.A.1.Displays.html>>. Acesso em Janeiro de 2007.
- Lanier, J. **“Virtual Reality: The promise of the future”**. Interactive Learning International, 8(4), pp. 275-279, New York, 1992.
- Leston, J. **Virtual reality: the it perspective**, *Computer Bulletin*, pp. 12-13, June, 1996.
- Machado, L. S. **Conceitos básicos da realidade virtual**, Monografia, INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos/SP. Disponível em <<http://www.lsi.usp.br/~liliane/conceitosrv.html>>, 1995.
- Machover, C; Tice, S.E. **Virtual Reality**. IEEE Computer Graphics & Applications, Jan. 1994
- Malfatti, S.; Santos, S.; Oliveira, J.; Justel, C.; Fraga, L.; **EnCima: A Graphics Engine for the Development of Multimedia and Virtual Reality applications**. X Symposium on Virtual and Augmented Reality, João Pessoa, 2008.
- Marcus, B. A., Beth A. **EXOS Research on Master Controllers for Robotic Devices**. In Proceedings of 1991 SOARP Conference. 1991. Minas Gerais, 1996.
- Morie, J. F. **Inspiring the future: merging mass communication, art, entertainment and virtual environment**, *Computer Graphics*, 28(2):135-138, May, 1994.
- Nieto, A. U. Vandersteegen, P., Buggenhout, C., Verstuyft, S., Bienstman, P., Neyts, K., Baets, R. **Increasing light extraction of a substrate emitting OLED using a 2D surface grating**. IEEE LEOS Annual Meeting. 2006.
- Oliveira, A.C.M.T., Pavarini, L., Botega, L.C., Nunes, F. L. S., Bezzera, A. **Virtual Reality Framework for Medical Training: Implementation of a Deformation class using Java**. ACM International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications, 2006, Hong Kong.
- Perdigão, N., Manuel, J., Tavares, R. S., Martins, J.A.C., Pires, E.B., Jorge, R.M.N. **Sobre a Geração de Malhas Tridimensionais para fins computacionais a partir de Imagens Médicas**. Anais do Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia. Granada, Espanha, 2005.

- Delfino, S.; Nunes, F.L.S. **Estudo Comparativo entre Algoritmos de Segmentação para Simulação Tridimensional de Imagens Mamográficas**. Anais do II Workshop de Visão Computacional, 2006, São Carlos-SP, 2006.
- Gattass, M; Biasi, S. C. **Utilização de Quatérnios para representação de rotações em 3-D**. *Reports from academic research*. Disponível em: <<http://www.tecgraf.puc-rio.br/~mgattass/>>, 2002.
- GeorgiaTech. **Self-Aligning Liquid Crystal Technique Could Simplify Manufacture of Display Devices**. Disponível em <gtresearch.gatech.edu>. Acesso em Janeiro de 2007.
- Gradescki, J. **The virtual reality construction kit**, John Wiley & Sons, 340 Pp., 1995.
- Hearn, D. e Pauline, M. **Computer Graphics: C Version**. Second edition prentice hall. 1997
- Heeter, C. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**. MIT Press, 1992.
- Hultquist, J.P.M., e Haible, E.L. **Superglue: A programming environment for scientific visualization**, Procedure Visualization, pp. 243-250, 1992.
- Immersion Corp3D. **Interaction Overview**. Disponível em <<http://www.immersion.com/3d/>>. Acesso em Janeiro de 2007.
- Ipolito, J e Kirner, C. **Técnicas de otimização e realismo em aplicações de Realidade Virtual**. Workshop de Realidade Virtual – WRV, pp. 91-100, UFSCar, São Carlos, 1997.
- Jacobson, L. **Garage Virtual Reality**, SAMS Pub., Indianapolis, IN, 1994
- Kalawsky, R. S. **The science of virtual reality and virtual environments**, Ed. Addison- Wesley, 405 Pp., 1993.
- Kirner, C., Deriggi, F., Kubo, M.M., Sementille, A. C., Brega, J, F., Santos, S. **Virtual Environments for Shared Interactive Visualization**. Workshop of the german-brazilian cooperative program in informatics, Berlin – Alemanha, 1995.
- Kirner, C; Siscoutto, R. **Realidade Virtual e Aumentada: conceitos, projetos e aplicações. Livro do pré-simpósio**. IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, 290Pp, 2007.
- Krueger, M. W. **Responsive environments**. NCC Proceedings, pp. 375–385, 1977
- Kubo, M.M. Santos, S.G., Deriggi J.R., Kirner, C.. **Múltiplas visões em um ambiente virtual multiusuário**. Workshop de Realidade Virtual – WRV, pp. 62-70, UFSCar, São Carlos, 1997
- Latta, J. N. e Oberg, D. J. **A conceptual virtual reality model**, *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp. 23-29, Jan., 1994.
- Lane, C. Display Technologies (1993). **Encyclopedia of Virtual Environments**. Disponível em <<http://www.hitl.washington.edu/scivw/EVE/1.A.1.Displays.html>>. Acesso em Janeiro de 2007.
- Lanier, J. **“Virtual Reality: The promise of the future”**. Interactive Learning International, 8(4), pp. 275-279, New York, 1992.
- Leston, J. **Virtual reality: the it perspective**, *Computer Bulletin*, pp. 12-13, June, 1996.
- Machado, L. S. **Conceitos básicos da realidade virtual**, Monografia, INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos/SP. Disponível em <<http://www.lsi.usp.br/~liliane/conceitosrv.html>>, 1995.
- Machover, C; Tice, S.E. **Virtual Reality**. *IEEE Computer Graphics & Applications*, Jan. 1994
- Malfatti, S.; Santos, S.; Oliveira, J.; Justel, C.; Fraga, L.; **EnCima: A Graphics Engine for the Development of Multimedia and Virtual Reality applications**. X Symposium on Virtual and Augmented Reality, João Pessoa, 2008.
- Marcus, B. A., Beth A. **EXOS Research on Master Controllers for Robotic Devices**. In Proceedings of 1991 SOARP Conference. 1991. Minas Gerais, 1996.
- Morie, J. F. **Inspiring the future: merging mass communication, art, entertainment and virtual environment**, *Computer Graphics*, 28(2):135-138, May, 1994.
- Nieto, A. U. Vandersteegen, P., Buggenhout, C., Verstuyft, S., Bienstman, P., Neyts, K., Baets, R. **Increasing light extraction of a substrate emitting OLED using a 2D surface grating**. IEEE LEOS Annual Meeting. 2006.
- Oliveira, A.C.M.T., Pavarini, L., Botega, L.C., Nunes, F. L. S., Bezzera, A. **Virtual Reality Framework for Medical Training: Implementation of a Deformation class using Java**. ACM International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications, 2006, Hong Kong.
- Perdigão, N., Manuel, J., Tavares, R. S., Martins, J.A.C., Pires, E.B., Jorge, R.M.N. **Sobre a Geração de Malhas Tridimensionais para fins computacionais a partir de Imagens Médicas**. Anais do Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia. Granada, Espanha, 2005.