

## 4

### Interfaces e Aplicações Hápticas

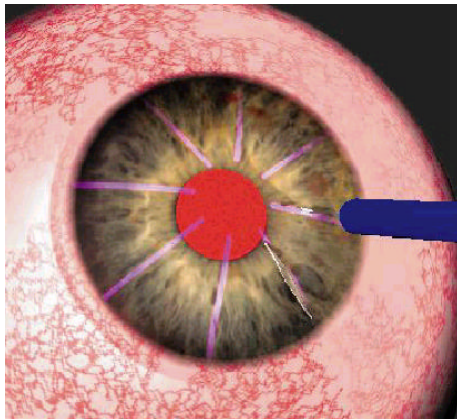
A seguir serão apresentadas diversas aplicações de interfaces e dispositivos hápticos. Conforme comentado no Capítulo 1, ainda existem poucas aplicações desenvolvidas para deficientes visuais e, em especial, para os cegos totais. Entretanto, muitos bons trabalhos já foram produzidos para o público vidente, em especial em áreas menos específicas, tais como educação, entretenimento, realidade aumentada, modelagem e visualização científica.

#### 4.1 Aplicações de Uso Geral

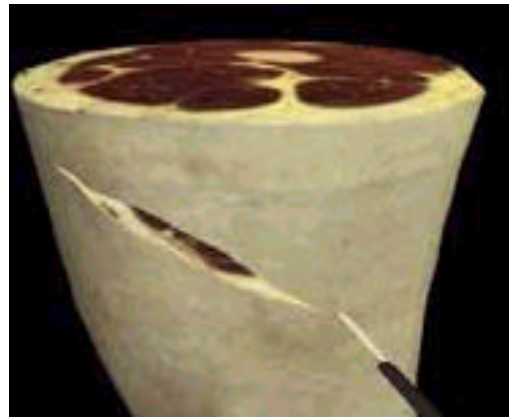
##### 4.1.1 Simulação Cirúrgica e Treinamento Médico

Machado et al. (2000) apresentam um sistema de realidade virtual para a simulação de cirurgia de transplante de medula óssea utilizando um PHANToM e óculos de visão estéreo. Salisbury & Srinivasan (1997) apresentam aplicação semelhante para simulação cirúrgica de correção de miopia (Figura 4.1a). Brewster (2001) apresenta uma aplicação para treinamento cirúrgico para alunos de veterinária (Horse Ovary Palpation Simulator). Reinig et al. (1996) descrevem uma aplicação que permite realizar incisões virtuais em um modelo reconstruído de um corpo humano (Visible Human, 2001) (Figura 4.1b). A simulação também utiliza um PHANToM. Aviles & Ranta (1999) descrevem uma aplicação semelhante para treinamento de estudantes de odontologia (Figura 4.1c). O sistema é comercializado pela Novint Technologies (Novint, 2002).

Reinkensmeyer et al. (2000) descrevem uma aplicação que utiliza o *joystick Microsoft SideWinder* para aplicar padrões terapêuticos de força em pacientes que sofreram danos cerebrais, especialmente derrame, ocasionando comprometimento motor. Este tratamento visa recuperar os movimentos do braço. O sistema permite que o paciente realize o tratamento em sua própria casa, pois os exercícios terapêuticos são enviados pela internet e do hospital os médicos podem acompanhar a evolução do tratamento (Figura 4.1d).



(a) Simulação de Cirurgia de Correção de Miopia (Salisbury & Srinivasan, 1997)



(b) Simulação de Incisão (Reinig et al., 1996)



(c) Virtual Reality Dental Training System (Novint, 2002)



(d) Sistema de Reabilitação (Reinkensmeyer et al., 2000)

Figura 4.1: Sistemas Médicos

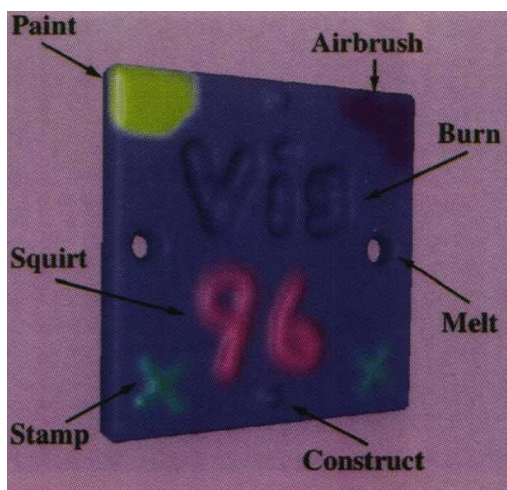
#### 4.1.2 Modelagem e Visualização

Interfaces hápticas também são úteis em ferramentas de modelagem. Utilizando um PHANToM, o *designer* pode construir objetos geométricos 3D esculpindo as formas em uma argila virtual (Sensable, 2002). Avila & Sobierajski (1996) descrevem aplicação semelhante, onde diversas ferramentas e filtros de modificação de dados podem ser aplicados a uma parede volumétrica. Este sistema tem sido utilizado para visualização de imagens médicas, artes e visualização científica (Figura 4.2a).

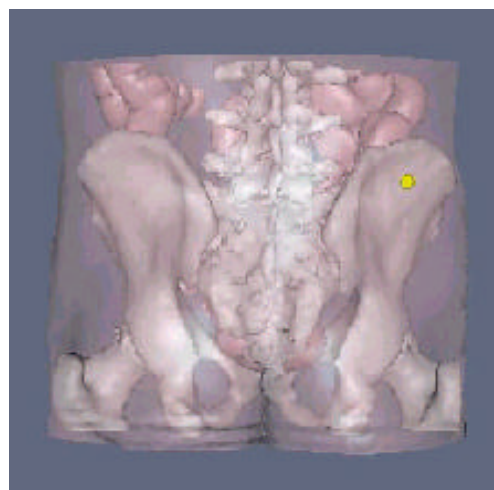
A análise de dados volumétricos também pode ser mais eficiente utilizando-se uma interface háptica. Branco & Encarnação (2000) descrevem uma aplicação na qual, através de um PHANToM, o médico pode sentir virtualmente os tecidos,

ossos e músculos do paciente, provenientes de exames de ressonância magnética ou tomografia computadorizada (Figura 4.2b).

Durbeck et al. (1998) criaram uma interface para a ferramenta de visualização científica SCIRun (Parker et al., 1997). Esta interface acrescenta uma janela de visualização háptica (além da janela gráfica tradicional) à ferramenta, permitindo ao usuário interagir hápticamente (através de um PHANToM) com campo de vetores e dados volumétricos.



(a) Vis96 (Avila & Sobierajski, 1996)



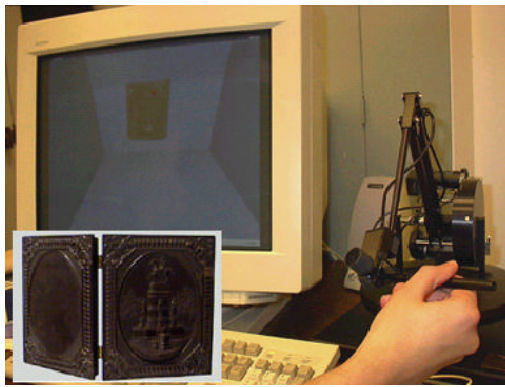
(b) Visualização Volumétrica Háptica  
Branco & Encarnação (2000)

Figura 4.2: Sistemas de Modelagem e Visualização Hápticos

## 4.2 Aplicações para Deficientes Visuais

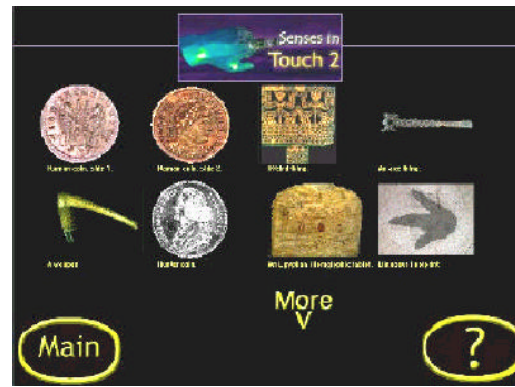
### 4.2.1 Educação e Entretenimento

McLaughlin et al. (2001) descrevem uma aplicação utilizada em uma exibição virtual para o Museu de História Natural de Los Angeles County (Figura 4.3a). Através da aquisição de modelos de uma coleção com cerca de 500 objetos do museu, esta aplicação permite que essas representações virtuais sejam manipuladas hápticamente através de um PHANToM. Aplicação semelhante, porém utilizando o WingMan mouse, também foi desenvolvida na Universidade de Glasgow. Esta aplicação, chamada Senses in Touch II (Figura 4.3b), permite a manipulação háptica de objetos em 2D, especialmente para crianças portadoras de deficiências visuais, tais como moedas antigas, hieróglifos egípcios, pegadas de dinossauros etc. (Brewster, 2001).



(a) Museu Háptico

(McLaughlin et al., 2001)

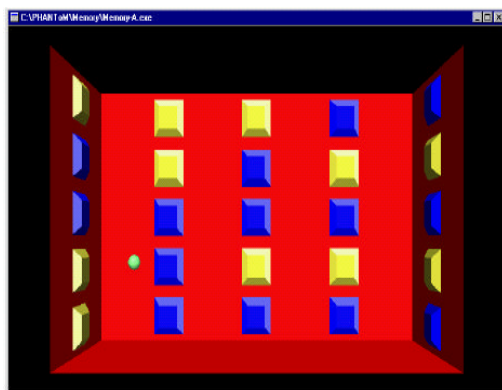


(b) Senses in Touch II

(Brewster, 2001)

Figura 4.3: Museus Hápticos

Diversos programas educativos foram desenvolvidos especialmente para deficientes visuais. Utilizando o PHANToM, pode-se citar BattleShip, MemoryHouse (Figura 4.4a) e TouchWindows (Sjöström & Rassmus-Gröhn, 1999; Sjöström, 2001). Utilizando o *joystick SideWinder*, pode-se citar Labyrinth (Johansson & Linde, 1999) (Figura 4.4b) e tutoriais para ensino de física em escolas de nível médio (Williams II & Seaton, 2000).



(a) MemoryHouse (Sjöström &amp; Gröhn, 1999; Sjöström, 2001)

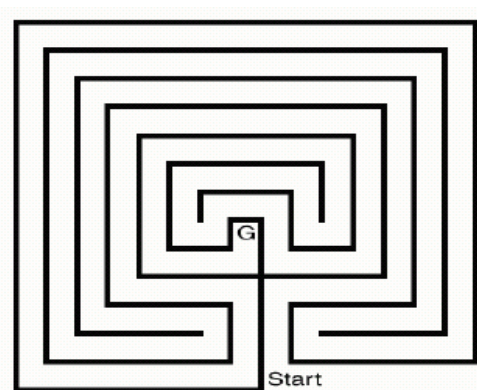
(b) Labyrinth  
(Johansson & Linde, 1999)

Figura 4.4: Aplicações de Educação e Entretenimento

#### 4.2.2 Sistemas de Desenho

Kurze (1996) desenvolveu o *TDraw* (*Tactile Draw*), uma interessante ferramenta de desenho para deficientes visuais. Utiliza um tipo especial de papel (*swell-paper*) que pode ser gravado em baixo relevo, uma caneta térmica especial (*thermo-pen*), uma mesa digitalizadora e um programa de computador (Figura



4.5). Este trabalho discute como os deficientes visuais fazem e percebem desenhos. Na época ainda não havia dispositivos reativos disponíveis, portanto a discussão é sob o ponto de vista da percepção humana. Conforme apresentado no Capítulo 2, o autor sustenta a existência de um modelo mental capaz de dotar um deficiente visual de habilidades muito semelhantes aos videntes, permitindo-o realizar desenhos a partir de experiências sensíveis, quando tais habilidades não dependam exclusivamente da visão.



Figura 4.5: TDraw (Kurze, 1996)

O programa suporta dois tipos de primitivas: linhas e polígonos. No modo de desenho, o usuário utiliza a caneta térmica que grava em baixo relevo no papel especial. Além disso, a mesa digitalizadora registra a posição da caneta e também seu estado (pressionada ou não). A primitiva padrão é linha. Caso o usuário termine uma linha muito próxima de seu início, ela é automaticamente convertida para polígono. Cada primitiva pode ser associada a uma etiqueta, uma pequena fala ditada pelo usuário e convertida para texto através de um programa de reconhecimento de voz.

No modo de exploração, o usuário utiliza a caneta desligada para navegar pelo desenho. Ao pressioná-la sobre uma linha ou no interior de um polígono, o programa fala a descrição do objeto dada pelo usuário ao criá-lo. O usuário percebe o desenho pelo tato unicamente através da informação impressa no papel.

Foram realizados testes com deficientes visuais com o objetivo de estudar o processo de construção de desenhos. Os testes consistiam em fornecer aos usuários alguns modelos plásticos de objetos comuns, tais como, cadeira, mesa,

garrafa, carrinho de brinquedo etc. Após examinarem esses objetos, era solicitado que os usuários desenhassem os modelos procurando manter o mais alto grau de fidelidade 3D possível. Por último, a mesma tarefa, entretanto utilizando uma cena mais complexa, formada pela combinação desses objetos (garrafa e carrinho sobre a mesa).

Uma das conclusões deste trabalho é que desenhos realizados por deficientes visuais têm semelhança com os realizados por crianças. As partes principais de um objeto são sempre representadas, especialmente através do desenho de seu contorno. A topologia também é observada. Entretanto, o efeito da perspectiva não é levada em conta, visto que esse conceito é puramente visual.

Kamel & Landay (2000) desenvolveram uma outra ferramenta de desenho vetorial bidimensional para deficientes visuais chamada IC2D (*Integrated Communication 2 Draw*). A ferramenta também foi projetada sem o suporte de dispositivos hápticos.

Os autores selecionaram um grupo de cinco usuários (três com visão subnormal e dois totalmente cegos) e, através de testes, identificaram as dificuldades enfrentadas pelo grupo ao desenhar utilizando ferramentas tradicionais (papel e caneta) e sem o *feedback* visual. A partir daí, concluíram que uma ferramenta de desenho bidimensional deve permitir ao usuário: localizar um ponto previamente selecionado, avaliar o comprimento de uma linha, estimar a curvatura de um objeto e avaliar ângulos.

Segundo os autores, tais requisitos são satisfeitos através da utilização de um modelo simples de grade 3x3, conforme mostra na Figura 4.6a. Através desse modelo, o espaço 2D é dividido em nove regiões discretas numeradas de 1 a 9. Essas regiões correspondem imaginariamente às posições das teclas numéricas de um telefone convencional. Dessa forma, é possível fazer desenhos simples, tais como um triângulo (Figura 4.6a) através da especificação da posição de seus vértices, ou seja, nas células 3, 7 e 9 da grade. É possível também subdividir recursivamente um célula até o terceiro nível, refinando ainda mais a grade até a resolução máxima de 27x27 (Figura 4.6b).

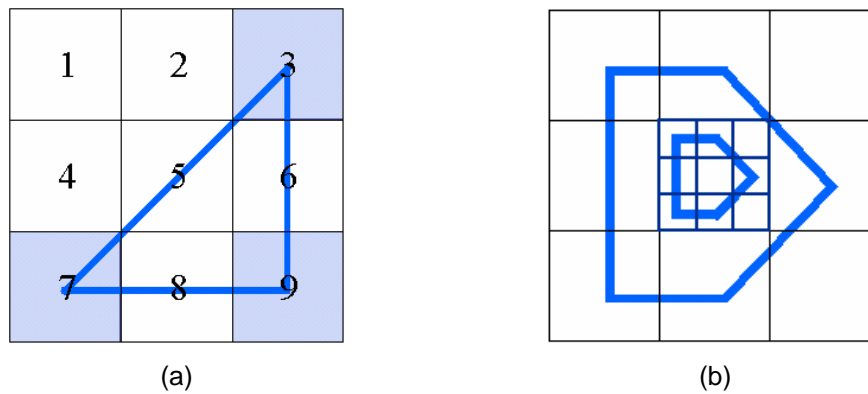


Figura 4.6: Grade de células do IC2D (Kamel & Landay, 2002)

Os autores acreditam que este método é eficiente, pois a subdivisão proposta do espaço (semelhante a um teclado de telefone) é facilmente entendida por qualquer pessoa, seja ela deficiente visual ou não. Além disto, a grade é eficiente para atender quase todos os requisitos mencionados, tais como a facilidade de localizar um ponto no espaço e medir distâncias e ângulos. O único requisito não atendido é a manutenção da curvatura de um objeto. Neste caso, os autores propõem a utilização de primitivas geométricas pré-definidas, tais como arco, círculo e elipse. Entretanto, essa solução pode comprometer a usabilidade da ferramenta, tornando-a complexa demais para ser utilizada por cegos. A ferramenta desenvolvida também utiliza uma estrutura hierárquica para armazenar partes de um desenho e oferece anotações audíveis dos objetos contidos na estrutura (Kamel & Landay, 2001).

#### 4.2.3 Representação de Objetos Geométricos

O projeto Multivis (Yu et al., 2000; Ramloll et al., 2000) da Universidade de Glasgow apresenta uma interface háptica que permite representar, através de um PHANToM, gráficos matemáticos formados por linhas poligonais. As diferentes linhas são modeladas através de superfícies cilíndricas, conforme está mostrado na Figura 4.7.

Inicialmente, os autores realizaram diversos testes-piloto com deficientes visuais com a intenção de avaliar a utilidade do PHANToM na representação de linhas, a eficiência do uso de linhas de grade hápticas para a percepção numérica dos dados e a capacidade do usuário distinguir linhas diferentes baseado em níveis distintos de fricção da superfície das linhas.

Segundo os autores, os testes mostraram que os usuários conseguiram ter uma percepção geral do *layout* do gráfico através do dispositivo reativo. Entretanto, o uso de linhas de grade hápticas, por conta da superposição com as linhas do gráfico, e os diferentes níveis de fricção, por terem confundido os usuários, não foram eficientes.

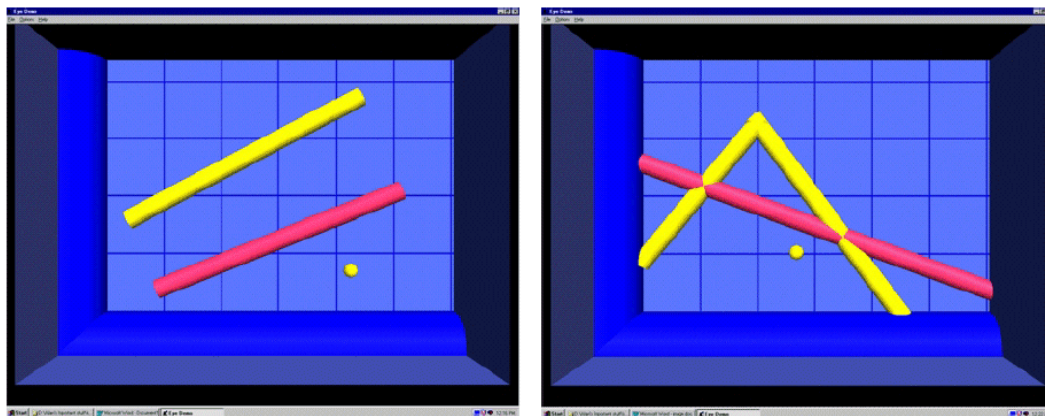


Figura 4.7: Multivis (Yu et al., 2000)

Os autores propuseram tornar as linhas de grade hápticas um recurso que pode ser ativado e desativado a qualquer momento pelo usuário e os níveis de fricção foram reduzidos a somente dois (um que faz o *cursor* deslizar sobre a linha e outro que o faz prender). Novos testes mostraram que as linhas de grade hápticas ainda não foram eficientes, pois muitos usuários não conseguiram utilizá-las para encontrar valores no gráfico. Entretanto, o uso de dois níveis de fricção na superfície das linhas mostrou ser bastante útil quando a complexidade do gráfico é pequena. No entanto, torna-se ineficiente a medida em que a complexidade aumenta.

Continuando este trabalho, Ramloll et al. (2000) incorporaram sons espaciais no projeto Multivis visando, através desta redundância de *feedback*, proporcionar melhor percepção da *layout* do gráfico. Virtualmente, uma fonte sonora 3D é colocada exatamente no ponto onde está o *cursor* sobre a linha e o usuário, que utiliza fones de ouvido estéreo, é posicionado na origem do gráfico (0,0). O tom sonoro ouvido pelo usuário varia de acordo com a altura da linha e a intensidade do som varia de acordo com a distância ao usuário. Como o som é estéreo, é possível perceber claramente os pontos em que a linha cruza o eixo horizontal.



Os autores também modificaram a forma com que as linhas são apresentadas para o usuário. Inicialmente, as linhas eram modeladas através de superfícies em alto relevo (Figura 4.8a). Tal representação foi substituída por outra equivalente em baixo relevo (Figura 4.8b). Segundo os autores, esta mudança estimula o usuário percorrer as linhas do gráfico e facilita a identificação das linhas (caso, por exemplo, ocorra interseção) através do estabelecimento de níveis diferentes de fricção na superfície de cada linha.

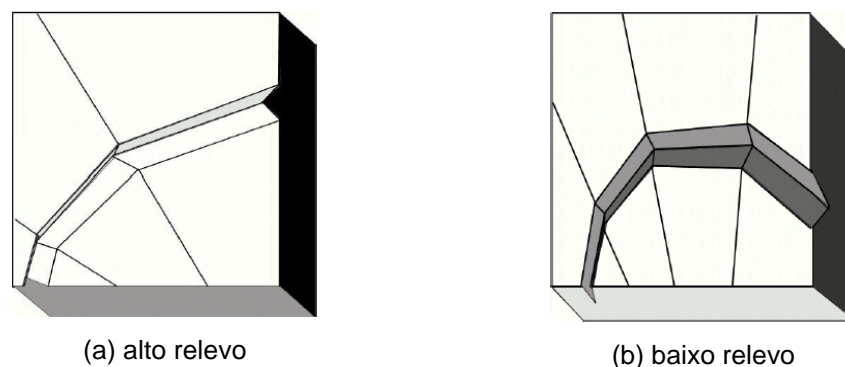


Figura 4.8: Representação de Linhas em 3D (Ramloll et al., 2000)

Metodologia semelhante também foi adotada por outros autores. Van Scoy et al. (2000) desenvolveram um sistema para a construção de um modelo háptico de funções matemáticas de uma variável. Neste trabalho, o usuário especifica uma função matemática (por exemplo,  $F(x) = 10.0 * X ** 2 - 2.0 * X + 10.0$ , representando uma parábola) e o sistema constrói um modelo 3D em baixo relevo da curva, semelhante ao mostrado na Figura 4.8b. O usuário pode, então, explorar a curva através de um *PHANToM*.

Sjöström (2002) realizou testes intensivos com deficientes visuais e interfaces hápticas utilizando *PHANToM* e *WingMan mouse*. Os testes com o *PHANToM* incluem, além da representação háptica de curvas matemáticas (Figura 4.9a), simulações de texturas reais (Figura 4.9b), percepção de desenhos de linhas (Figura 4.9c) e mapas hápticos (Figura 4.9d). Nos testes com curvas matemáticas, o autor também adotou a representação em baixo relevo. A diferença entre este e os demais trabalhos basicamente está no algoritmo utilizado para converter as curvas para a representação em baixo relevo. Nos testes com mapas hápticos, as paredes foram representadas em alto relevo. Nos testes com desenhos de linha, foi alternada a representação de alto e baixo relevo para verificar o efeito provocado.

O autor concluiu que a representação em baixo relevo estimula o usuário a seguir a região em depressão. Por outro lado, a representação em alto relevo estimula o usuário explorar a região delimitada pelos ressaltos.

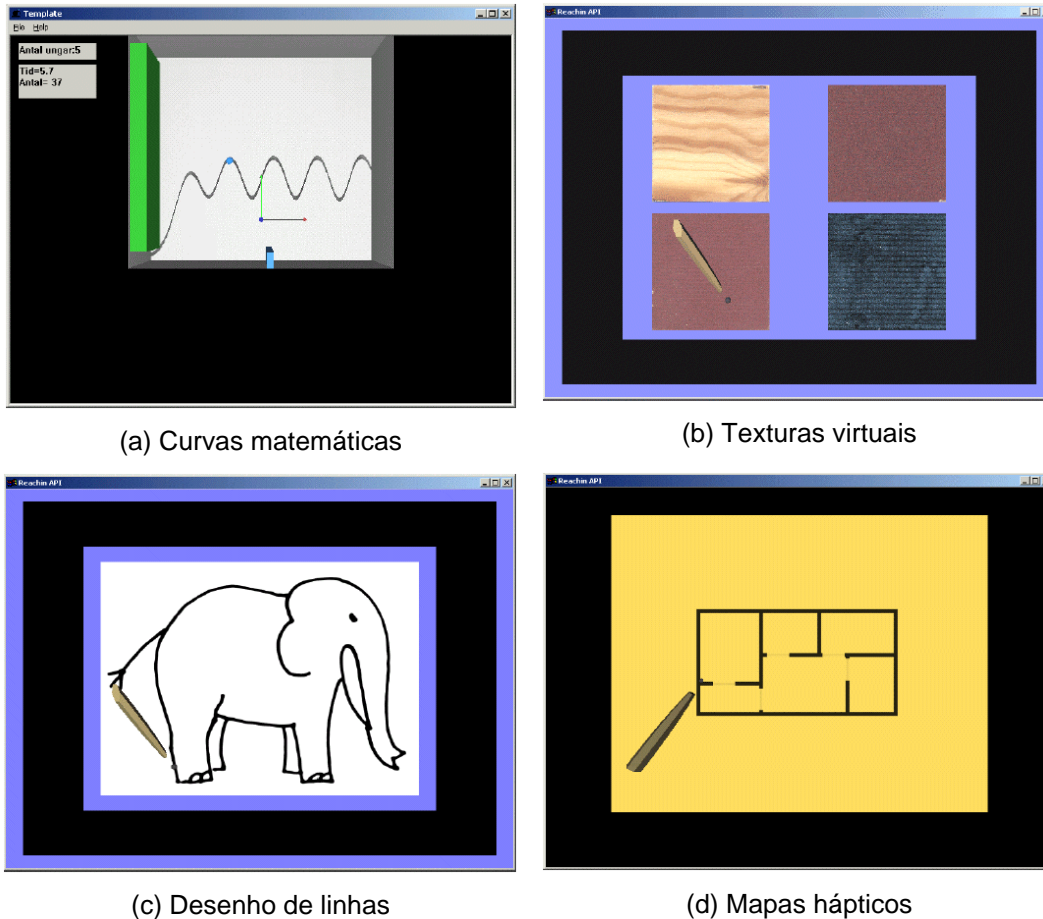
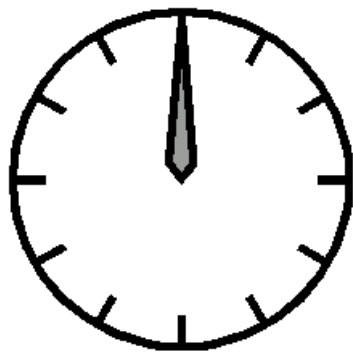


Figura 4.9: Testes com PHANToM (Sjöström, 2002)

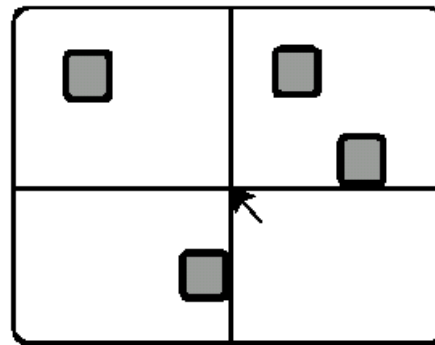
Utilizando o *WingMan mouse*, o autor implementou e testou menus radiais hápticos (Figura 4.10a) e uma ferramenta virtual de busca para a percepção de propriedades espaciais (Figura 4.10b). Menus radiais hápticos permitem que deficientes visuais selecionem uma entre doze opções possíveis, como se estivessem apontando para os números de um relógio imaginário. O dispositivo háptico atua como uma mola virtual tendendo a atrair o *cursor* para uma linha imaginária formada pelo centro do relógio e o item do menu. Há também uma ligeira atração para o centro do relógio. O autor acredita que este tipo de menu é mais eficiente que o equivalente linear.

A ferramenta virtual de busca permite ao deficiente visual explorar objetos em uma região bidimensional. Esta ferramenta foi originalmente concebida para

permitir ao deficiente visual encontrar e reconhecer objetos de interface (menus, botões, ícones etc) em uma janela do *Windows*. O autor utilizou um *cursor* háptico que permite ao usuário sentir quando houve alinhamento (horizontal ou vertical) do *cursor* com algum objeto da janela.



(a) Menu radial



(b) Ferramenta virtual de busca

Figura 4.10: Testes com WingMan mouse (Sjöström, 2002)

Em todos os trabalhos apresentados nesta seção, ficou comprovado que, de uma maneira geral, a utilização de interfaces hápticas na representação de curvas bidimensionais é de extrema relevância para os deficientes visuais.

#### 4.2.4 Sistemas de Orientação e Mobilidade

Morris & Joshi (2002) desenvolveram um sistema de visualização capaz de representar hápticamente o mapa de profundidade de uma cena do mundo real. Este sistema pode ser utilizado para a orientação e mobilidade de deficientes visuais, embora os autores não tenham realizado testes efetivos. Utiliza um par de câmeras para extrair o mapa de profundidade, uma câmera adicional para obter o fluxo ótico da cena e um PHANToM para explorá-la hápticamente (Figura 4.11). O fluxo ótico também é representado através de sons em um fone de ouvido estéreo. O balanceamento deste som permite ao deficiente visual se deslocar com mais facilidade em um ambiente desconhecido.

Kawai & Tomita (1996) desenvolveram um sistema semelhante, porém utilizando um *display* háptico formado por pinos ao invés de um PHANToM. Este sistema também utiliza uma câmera estéreo para capturar a imagem em 3D. A partir desta imagem, o sistema reconhece formas geométricas comparando os dados obtidos em 3D com os modelos previamente armazenados. Os autores

acreditam que este sistema auxilia o deficiente visual a reconhecer objetos em um determinado ambiente.

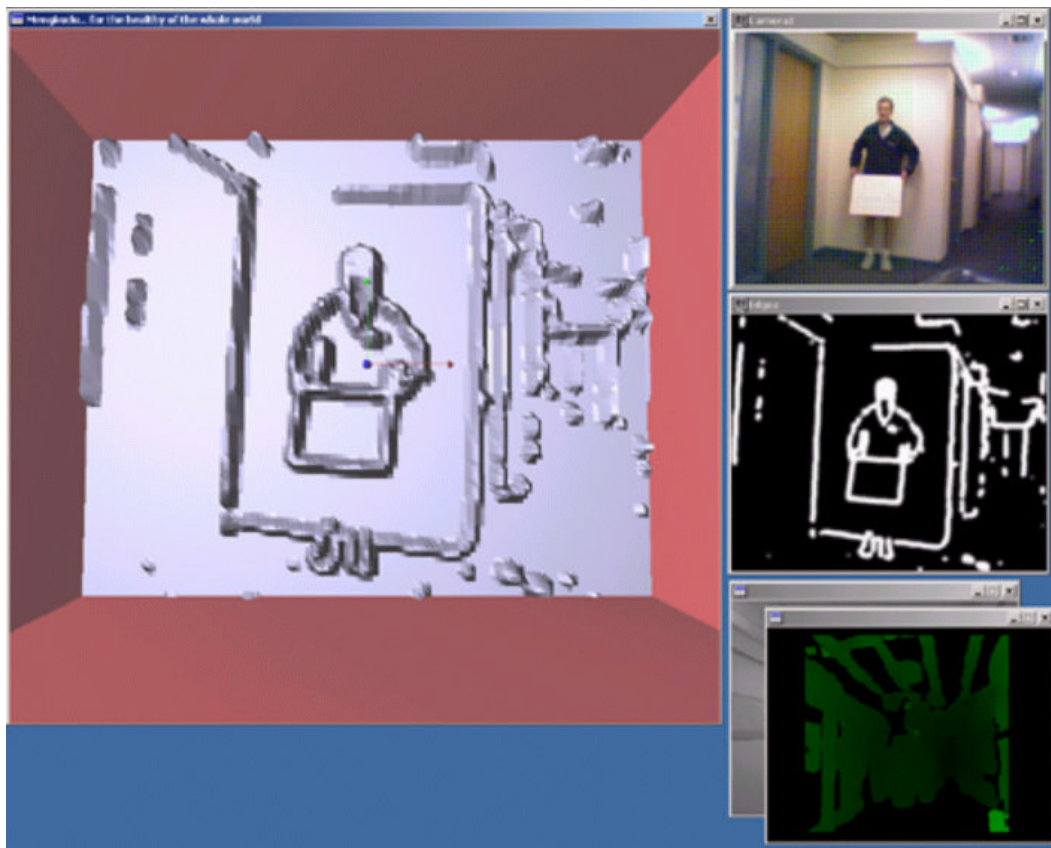


Figura 4.11: Sistema Mengkudu (Morris & Joshi, 2002)

Ross & Blasch (2000) um sistema para facilitar a orientação e mobilidade de deficientes visuais. Utilizando um computador portátil, este sistema auxilia o deficiente a realizar uma das tarefas mais complexas e perigosas do dia-a-dia: atravessar uma rua (Figura 4.12a).

Segundo os autores, uma das principais dificuldades de um deficiente é conseguir andar em linha reta. Utilizando uma bússola digital, a direção correta é apresentada ao usuário através três mecanismos: balanceamento de som estéreo em um fone de ouvido; voz sintética informando a direção correta, de acordo com os ponteiros do relógio (por exemplo, uma hora etc.) ou em graus; interface háptica utilizando um conjunto de pequenos alto-falantes que ficam em contato com as costas do usuário (*Shoulder-Tapping*).

Esta interface indica a direção correta de acordo com a ordem de atuação dos dispositivos: vibrando de baixo para cima sinaliza que o usuário deve seguir



em frente; da esquerda para direita ou direita para esquerda sinaliza que o usuário deve seguir para direita ou esquerda, respectivamente (Figura 4.12b).

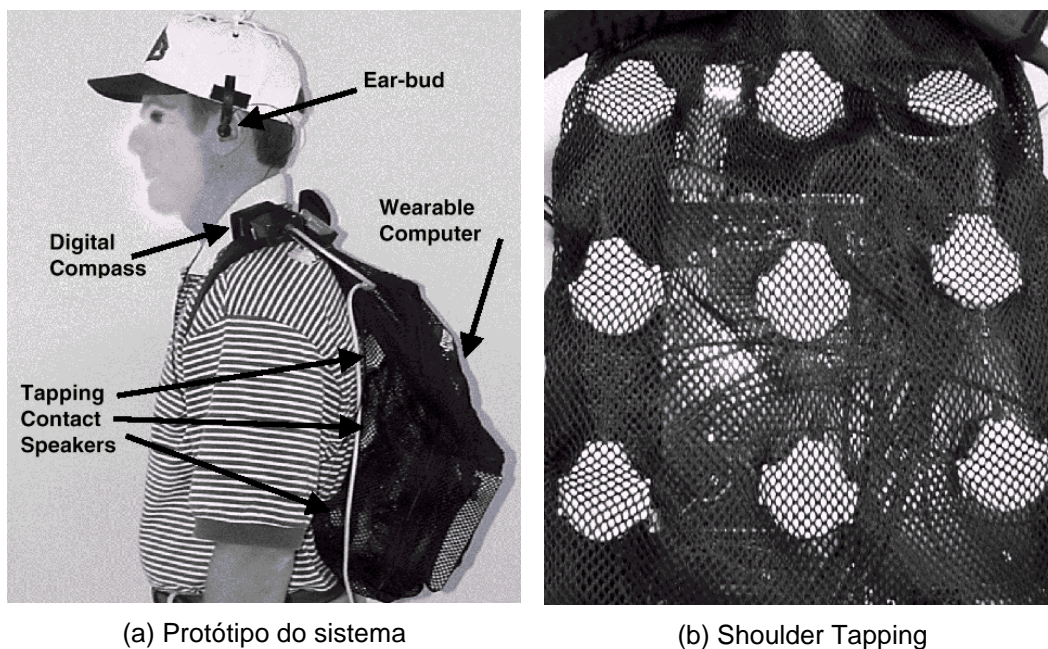


Figura 4.12: Sistema de Orientação e Mobilidade (Ross & Blasch, 2000)

May (2000) descreve um produto comercial com o mesmo propósito do anterior, porém utilizando uma interface de voz para orientar o deficiente visual. Utilizando a tecnologia militar americana GPS (Garmin, 2000) para obter a posição precisa do usuário. O produto, chamado GPS-Talk, custa cerca de US\$ 900, não incluindo o computador portátil. A comercialização é realizada pelo Grupo Sendero (<http://www.senderogroup.com>).

### 4.3 Comparações com a Proposta da Tese

Entre todos os trabalhos anteriores estudados até o momento, alguns possuem semelhanças como o que será proposto nesta tese. Em especial, o projeto Multivis (Yu et al., 2000; Ramloll et al., 2000) e os testes realizados por Sjöström (2002) com dispositivos reativos (essencialmente o PHANToM) têm alguns aspectos em comum com o protótipo de interface assistida que será proposto no Capítulo 6. Entretanto, há grandes diferenças, conforme será visto nas seções a seguir.



### 4.3.1 Quanto ao dispositivo háptico

Como foi mostrado neste e nos capítulos desta tese, a grande maioria dos trabalhos científicos na área de interfaces hápticas utilizam o PHANToM como dispositivo para representar propriedades hápticas. Em uma rápida leitura desta tese, pode-se encontrar mais de vinte referências distintas. Os principais motivos desta escolha são: precisão, capacidade de aplicar forças com três graus de liberdade e disponibilidade de bibliotecas para desenvolvimento de aplicações (*GHOST SDK*).

Existe muito pouca pesquisa que emprega dispositivos reativos com dois graus de liberdade para aplicação de força. Há também trabalhos que nem utilizam dispositivos hápticos, tais como Kamel & Landay (2000), Kurze (1996), Mynatt (1997), entre outros. Alguns exemplos citados neste tese utilizando dispositivos reativos bidimensionais são:

- *Joystick SideWinder*: Johansson & Linde (1999), Reinkensmeyer et al. (2000) e Willians II & Seaton (2000);
- *Mouse WingMan*: Brewster (2001), Sjöström (2002);
- *Pantograph*: Ramstein & Hayward (1994), Ramstein et al. (1996) e Ramstein (1996);
- *The Moose*: O'Modhrain (2000).

### 4.3.2 Quanto ao cálculo da força reativa

Em nenhum trabalho estudado até o momento foi utilizado transformadas de distância para o cálculo de forças reativas. Como será visto no Capítulo 5, este é o modelo matemático mais adequado em interfaces espaciais reativas, pois está intimamente relacionado com as características geométricas dos objetos.

Tipicamente, os trabalhos estudados calculam forças reativas em função da profundidade atingida pelo *cursor* em um determinado objeto virtual. Ou seja, a força é calculada multiplicando-se uma constante (que representa a rigidez do objeto) pela distância de penetração do *cursor*.

Esta abordagem simplificada é, essencialmente, a aplicação imediata da Lei de *Hook* e possui alguns inconvenientes. Um deles é a ausência de forças reativas quando não há colisão do *cursor* com algum objeto da aplicação. Portanto, pode

ser difícil para um deficiente visual explorar a interface, pois ele será incapaz de perceber objetos mesmo estando muito próximo deles. Esta abordagem assume também a inexistência de forças tangenciais (a força reativa será sempre na direção da normal à superfície), ou seja, dará uma falsa impressão ao usuário da superfície de todos os objetos serem bastante polidas. Além disso, sem um modelo espacial de dados, a detecção de colisões é mais complexa.

Esta metodologia é adotada por Ramloll et al. (2000), Sjöström (2002), Van Scoy et al. (2000), Yu et al. (2000), entre outros. Nestes trabalhos, que tratam de exploração háptica de objetos geométricos (mais especificamente de curvas matemáticas bidimensionais), a borda de tais objetos é convertida em modelos geométricos em alto ou baixo relevo, conforme mostrado na Figura 4.8. A força reativa é, então, calculada em função da penetração do *cursor* em tais modelos e não explicitamente em função da distância do *cursor* à borda do objeto.

A conversão em modelos geométricos tridimensionais só faz sentido quando a interface reativa também é 3D, ou seja, utiliza um dispositivo reativo 3D, como é o caso da maioria dos trabalhos citados anteriormente. A exceção é o trabalho de Sjöström (2002) que utilizando o *WingMan mouse* para implementar menus radiais hápticos e uma ferramenta virtual de busca, conforme apresentado na seção 4.2.3. Este trabalho utiliza um modelo de atração magnética que tende a levar o *cursor* até o objeto mais próximo. Entretanto, a forma de calcular a força reativa não é através da transformada de distância.

Com relação aos trabalhos citados na seção anterior que utilizam o *joystick Sidewinder*, nenhum deles utiliza transformadas de distância: Johansson & Linde (1999) aplicam restrições ao movimento do *cursor* utilizando o método *god-object* (Zilles & Salisbury, 1995), enquanto Reinkensmeyer et al. (2000) e Willians II & Seaton (2000) não parecem utilizar um modelo explícito para o cálculo de forças reativas.