

3

Dispositivos Hápticos

Este capítulo apresenta as diversas tecnologias hápticas existentes atualmente, muitas ainda em estado inicial de desenvolvimento, englobando dispositivos e interfaces hápticas. Uma ênfase maior é dada às tecnologias voltadas para deficientes visuais.

Quando se fala em “manipular um objeto”, seja no mundo real ou no mundo virtual, logo vem a idéia de tocar e sentir. O termo “*look and feel*”, comumente utilizado ao descrever uma interface, não é empregado adequadamente quando se trata de uma interface tradicional. Neste caso, está se falando muito mais da aparência do que da sensação (ETSI, 2002). Tal termo é mais adequado no contexto de interfaces hápticas, onde um dispositivo háptico proporciona ao usuário, através da interação com o sentido do tato, a sensação real mais próxima de tocar e sentir um objeto virtual.

Ao contrário dos dispositivos tradicionais de interação tais como mouse, teclado e *joysticks* convencionais, os dispositivos hápticos, são capazes de atuar tanto como dispositivos de entrada, fornecendo a posição espacial do *cursor*, como também de saída, aplicando forças e vibrações sobre alguma parte do corpo do usuário. Esta característica natural de ser bidirecional permite que a interface de uma aplicação seja sentida ao mesmo tempo em que interage com ela.

Através de simulações físicas do mundo virtual, a força (ou vibração) pode ser calculada em tempo real e enviada para os atuadores mecânicos do dispositivo (tipicamente motores e vibradores), causando no usuário a sensação de estar manipulando um objeto. Dependendo dos atuadores, os dispositivos hápticos podem ser reativos ou táteis.

Dispositivos reativos (ou *force feedback*) possuem atuadores mecânicos que aplicam forças em alguma parte do corpo do usuário, especialmente nas mãos ou dedos. Tais dispositivos podem resistir ao movimento provocado pelo usuário, ou seja, permitem controlar a posição *cursor* durante a interação. Além disto, podem simular diversos efeitos e propriedades, tais como, turbulência, impacto, rigidez,

viscosidade etc. Estão relacionados principalmente com o componente cinético do tato. Como exemplo de tais dispositivos, pode-se citar *SideWinder Joystick*, *WingMan Mouse*, *PHANToM* e *CyberForce*;

Por outro lado, os dispositivos táteis (ou *tactile feedback*) possuem atuadores mecânicos que aplicam vibrações em alguma parte do corpo do usuário. São capazes de transmitir sensações táteis, especialmente texturas, mas não inibem o movimento do *cursor*. Estão relacionados apenas com o componente cutâneo do tato. Como exemplo de tais dispositivos, pode-se citar *Tangible Mouse*, *SmartFinger* e *displays* de Braille.

3.1 Dispositivos de Uso Geral

3.1.1 SideWinder Joystick (Microsoft)

O *joystick SideWinder Force Feedback 2* (SideWinder, 2001), comercializado pela *Microsoft*, está incluído na categoria de dispositivos reativos. Seu relativo baixo custo, de aproximadamente US\$ 130, tornou-o acessível para o usuário doméstico e bastante popular em jogos de computador.



Figura 3.1: SideWinder Joystick

Como dispositivo de entrada, permite especificar a posição 2D e orientação do *cursor*. Entretanto, a força só pode ser aplicada em dois graus de liberdade. É conectado ao computador através da interface USB e pode ser programado através da biblioteca *DirectInput*, um dos componentes do *DirectX* da *Microsoft* (DirectX, 2002).

Para aumentar o desempenho do equipamento, este dispositivo é controlado por um microprocessador interno de 16 bits rodando a uma velocidade de 25 Mhz e ainda possui memória própria de aproximadamente 2 Kbytes para armazenar efeitos. Para aplicação de forças, o *joystick* utiliza dois motores capazes de manter uma força constante de aproximadamente 4,5 N e picos de 6,7 N cada um. Além de permitir a aplicação de forças constantes de intensidade e direções variáveis, este dispositivo pode simular efeitos baseados no tempo e no espaço (Chen & Marcus, 1998).

Os efeitos baseados no tempo permitem, por exemplo, aplicar uma força constante de duração variável (*pulse*), força com intensidade e duração variável (*ramp*) ou vibrações com diversas formas de onda (*sine*, *triangular*, *square*, *sawtooth*). A intensidade, frequência e direção das vibrações podem ser especificadas pelo programador do dispositivo (Figura 3.2).

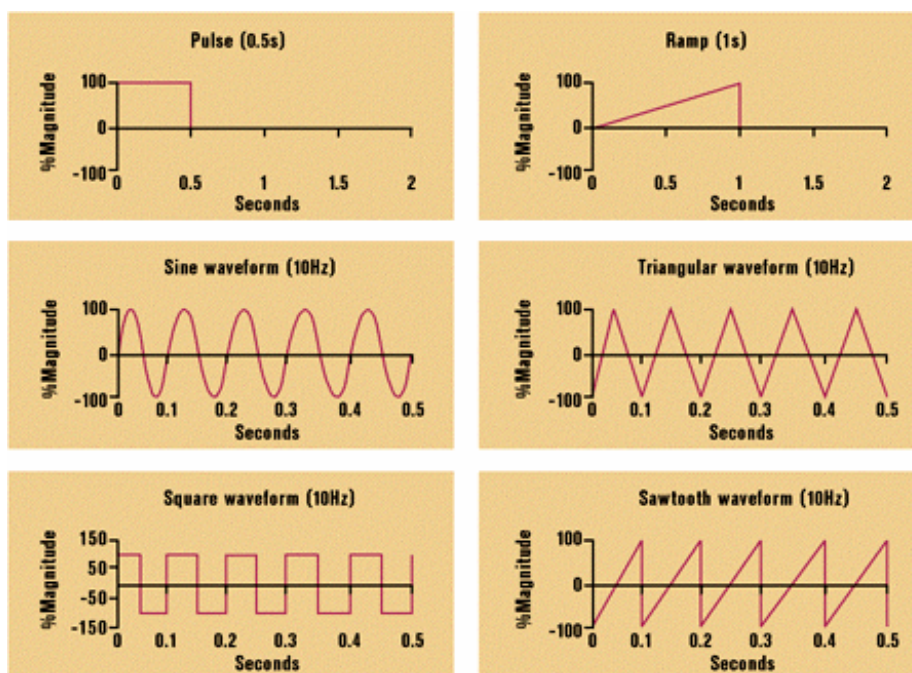


Figura 3.2: Efeitos Baseados no Tempo (Chen & Marcus, 1998)

Os efeitos baseados no espaço são utilizados para simular algumas propriedades físicas, tais como, rigidez, viscosidade, atrito e inércia (Figura 3.3). A força aplicada pelo *joystick* depende de sua posição ou de como ele se move. Os efeitos mais comuns são:

- *Spring*. Simula o comportamento de uma mola de acordo com a *Lei de Hook*. Ou seja, a força aplicada é proporcional à distância do *cursor* a um ponto fixo no espaço e na direção de restaurar a posição original da mola. A constante K especifica a rigidez da mola;
- *Damper*. Simula o comportamento de um fluido viscoso. Ou seja, a força aplicada é proporcional à velocidade de movimentação do *joystick* e de direção contrária. A constante B especifica a viscosidade do fluido;
- *Friction*. Simula o comportamento da força de atrito. Ou seja, a força aplicada é proporcional à força normal e de direção oposta ao movimento do objeto. A constante μ especifica o coeficiente de atrito;
- *Inertia*. Simula o efeito da força gravitacional de acordo com a *Lei de Newton*. Ou seja, a força aplicada é proporcional à aceleração do objeto e de direção oposta ao movimento. A constante m especifica a massa do objeto;
- *Wall*. Simula o comportamento de uma parede. É semelhante ao efeito *spring*, entretanto neste caso a força só atua quando o *cursor* penetra dentro da parede e tende a trazer o *cursor* para a superfície da parede. Quanto maior a penetração, maior a força de repulsão.

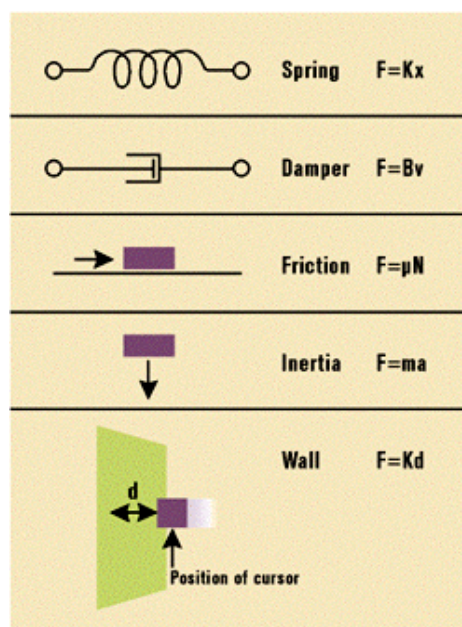


Figura 3.3: Efeitos Baseados no Espaço (Chen & Marcus, 1998)

Segundo Chen & Marcus (1998), o efeito *inertia* não é satisfatoriamente implementado pelo dispositivo, pois o efeito provocado pela aceleração é sentido

no ouvido humano e não como uma força aplicada à mão ou qualquer outra parte do corpo. O efeito *wall* também possui limitações, pois o dispositivo não tem força suficiente para evitar que o usuário penetre na parede. Na verdade, este efeito poderia ser melhor descrito como uma espuma de densidade bastante elevada.

Por ter sido originalmente projetado para ser utilizado em jogos de computador, existe muito pouca pesquisa científica utilizando este dispositivo, principalmente para dar suporte a deficientes visuais. Pode-se citar aplicações de diversão e aprendizado (Johansson & Linde, 1999; Willians II & Seaton, 2000) e um sistema de reabilitação para deficientes físicos (Reinkensmeyer et al., 2000).

3.1.2 PHANTOM (Sensable)

Este dispositivo, que significa *Personal Haptic iNterface Mechanism*, foi resultado de pesquisa que originou uma tese de doutorado no *Massachusetts Institute of Technology* (Massie, 1993). Atualmente é produzido industrialmente pela *Sensable Technologies* em diversos modelos. A Figura 3.4 apresenta o mais simples (*Desktop*).



Figura 3.4: PHANTOM Desktop

O grande inconveniente deste equipamento é, sem dúvida, seu elevado preço, variando de US\$ 15.000,00 (modelo *Desktop*) a quase US\$ 65.000,00 (modelo *Premium 3.0L*), incluindo o *toolkit GHOST* para desenvolvimento de

aplicações. Foi o primeiro dispositivo reativo comercial de boa fidelidade com três graus de liberdade para aplicação de força. Ele é capaz de representar de maneira bastante convincente a interação com objetos sólidos em 3D, texturas e diversos efeitos facilmente sentidos pelo tato humano.

Este dispositivo pode ser manipulado com a ponta do dedo (através de um adaptador semelhante a um dedal) ou com a mão (através de um adaptador semelhante a uma caneta). Todos os modelos permitem aplicação de forças em três graus de liberdade e definição da posição do *cursor* com pelo menos três graus de liberdade. Modelos mais avançados permitem seis graus de liberdade para definição de posição e também para aplicação de forças (Chen, 1999; Cohen & Chen, 1999). A intensidade máxima da força varia entre 6,4 N (para o modelo *Desktop*) até 22 N (modelo *Premium 3.0L*)

O *PHANToM* pode ser programado através do *GHOST SDK (General Haptic Open Software Toolkit)*, que é uma poderosa biblioteca de classes em C++ para o desenvolvimento de aplicações hápticas em 3D (Sensable, 2002). Tal biblioteca implementa em alto nível um conjunto de primitivas geométricas 3D e diversas propriedades físicas, tais como massa, rigidez, rugosidade etc.

Este dispositivo foi pioneiro e proporcionou um grande avanço na área de interfaces hápticas. Mesmo restrito a centros de pesquisa, a grande maioria dos trabalhos científicos utiliza o *PHANToM*. Há estudos de percepção de texturas (McGee et al., 2001), representação de gráficos de linhas e barras (Yu et al., 2000), desenhos em 2D (Sjöström et al., 2002) e 3D (Jansson & Billberger, 1999; Morris & Joshi, 2002), curvas matemáticas (Van Scoy et al., 2000), visualização científica (Avila & Sobierajski, 1996; Branco & Encarnação, 2000; Durbeck et al., 1998; Fritz et al., 1996), exploração de grafos geométricos (Schneider & Strothotte, 2000), realidade aumentada (Aviles & Ranta, 1999; Machado et al., 2000; McLaughlin et al., 2001; Novint, 2002), *design* (Sjöström et al., 2002) e avaliação de interfaces hápticas (Oakley et al., 2000), entre outros.

3.1.3 WingMan Mouse (Logitech)

Lançado em setembro de 1999 pela *Logitech*, este foi o primeiro e único *mouse* reativo disponível no mercado (Wingman, 1999). Custando relativamente pouco, em torno de US\$ 100, este dispositivo é conectado a um PC através de

uma porta USB. Ele pode ser programado através do *Immersion Developer Toolkit* (Immersion, 2001), tecnologia licenciada pela *Logitech*, porém 100% compatível com o *DirectX* (DirectX, 2002), tecnologia da *Microsoft*.

Sendo mais pesado que os modelos convencionais, este *mouse* é controlado através de dois pequenos motores instalados em seu *mousepad* (Figura 3.5), capazes de aplicar força na mão do usuário com dois graus de liberdade e simular alguns tipos de textura. O *mouse* pode ser movimentado em uma região com aproximadamente 10 cm de cada lado, bastante restrita, portanto, quando comparada com os *mice* tradicionais. A grande vantagem deste equipamento é permitir interações hápticas de forma tradicional, ou seja, através de um *mouse*.



Figura 3.5: WingMan Mouse

O dispositivo vem com um programa utilitário chamado *FeelIt Desktop* (Berman, 1999) que implementa a tradução direta de diversos objetos de interface em objetos hápticos. Este utilitário faz uso do *Microsoft Active Accessibility* (MSAA, 2002), generalizando, assim, a tradução háptica. Ou seja, objetos de interface das aplicações têm automaticamente as mesmas representações dos objetos do *Windows*: o usuário é capaz de sentir os botões, contorno das janelas, ícones, itens dos menus etc. Ao arrastar um subdiretório, é possível sentir, através da resistência ao movimento, se ele contém apenas 1 Mb ou 1 Gb em arquivos, por exemplo. O mesmo acontece com páginas da *web* apresentadas pelos navegadores *Microsoft Internet Explorer* ou *Netscape Navigator*: o usuário sente onde os textos começam e terminam, onde estão os *hyperlinks* etc.

Sjöström (2002) mostra a capacidade do *FeelIt Desktop* dar suporte ao deficiente visual em tarefas de manipulação direta de objetos, percepção de propriedades espaciais e livre exploração da interface. Os testes, apesar de terem sido realizados com apenas dois deficientes visuais, mostraram a utilidade do dispositivo e do utilitário *FeelIt* em proporcionar uma boa representação espacial do *Windows*. Entretanto, o suporte a técnicas de manipulação direta não se mostrou adequada. Segundo o autor, isto se deve a limitações de precisão do dispositivo (a área de trabalho é muito reduzida) e a relativa falta de *feedback* do MSAA. Adicionalmente, o autor implementa duas técnicas de interação (*cross cursor* menus radiais hápticos), que serão apresentadas no Capítulo 4.

Existe um *plug-in* desenvolvido pela *Immersion* em conjunto com *Engineering.com*, chamado *TouchSense for AutoCAD 2000* (Sheerin, 2001), que oferece diversos *feedbacks* hápticos para o *AutoCAD*, entretanto ainda muito limitados. Talvez uma das aplicações mais interessantes para este dispositivo seria auxiliar deficientes visuais para, por exemplo, utilizar o ambiente *Windows* ou acessar páginas da *internet*. No entanto, a comercialização desse dispositivo infelizmente foi descontinuada e não se sabe da existência de aplicações e pesquisas científicas efetivas utilizando esta tecnologia.

3.1.4 Tangible Mouse (Fuji Xerox)

Este dispositivo foi desenvolvido muito recentemente pela empresa japonesa Fuji Xerox e ainda não está disponível comercialmente (TM, 2002). Trata-se de um *mouse* que possui um atuador montado em sua parte superior, próximo aos botões (Figura 3.6).

Ao contrário dos dispositivos apresentados anteriormente (*PHANToM*, *joystick SideWinder* e *mouse WingMan*), o *Tangible Mouse* não é baseado na aplicação de força, mas sim na simulação de sensações táteis através do movimento do atuador. Este pequeno dispositivo pode mover-se em uma região de 10 mm x 10 mm sobre a parte superior do *mouse* e tem precisão de 0,002 mm. Além disso, é capaz de aplicar uma força de até 0,85 N no dedo do usuário, permitindo, assim, simular diferentes texturas.



Figura 3.6: Tangible Mouse

Como este dispositivo está em fase experimental, ainda há pouca pesquisa e informação disponível. Han et al. (2002) analisaram a capacidade deste dispositivo representar, através de texturas, superfícies de objetos em 3D, fazendo uma comparação com um outro equipamento 3D (*PHANToM 1.0A*). Segundo os autores, os primeiros resultados indicam que este dispositivo pode ser tão eficiente quanto o outro mais sofisticado.

3.1.5 SmartFinger (Universidade de Tóquio)

Este dispositivo ainda está em fase de estudo e está sendo desenvolvido pela Universidade de Tóquio em parceria com a *Japan Science and Technology Corporation* (JST). A exemplo do *Tangible Mouse*, este dispositivo também se caracteriza por simular sensações táteis, ao invés de aplicar forças (Ando et al., 2002a).

Por ser um dispositivo muito leve e pequeno, ele é utilizado preso à unha do usuário deixando a parte oposta do dedo (onde efetivamente o usuário toca os objetos reais) totalmente livre, não atrapalhando, portanto, a sensação real de tato.

Este dispositivo é composto por três elementos distintos (Figura 3.7a):

- *Foto detector (1)*. Responsável por medir variações no ambiente. Utiliza um diodo emissor de luz (*led*) ultravioleta e um sensor de luminosidade. Este elemento identifica a posição do dedo do usuário para, por exemplo, identificar arestas virtuais de um objeto impresso em uma folha de papel (Figura 3.7b). Assim, o dispositivo pode proporcionar sensações táteis apropriadas;

- *Sensor de unha* (2). Responsável por medir variações de cor na ponta do dedo do usuário. Ou seja, mede a quantidade de sangue presente na região para, indiretamente, inferir a força que o usuário está aplicando sobre o objeto virtual (Mascaro & Asada, 2001). Junto com o *foto detector*, este sensor é responsável por modular a intensidade da sensação tátil aplicada pelo *Voice Coil*;
- *Voice Coil* (3). Semelhante a uma bobina elétrica utilizada em pequenos alto-falantes. É responsável pela efetiva transmissão de sensações táteis ao dedo do usuário. De acordo com as informações dos outros dois sensores, este elemento vibra com frequência e intensidade apropriadas.

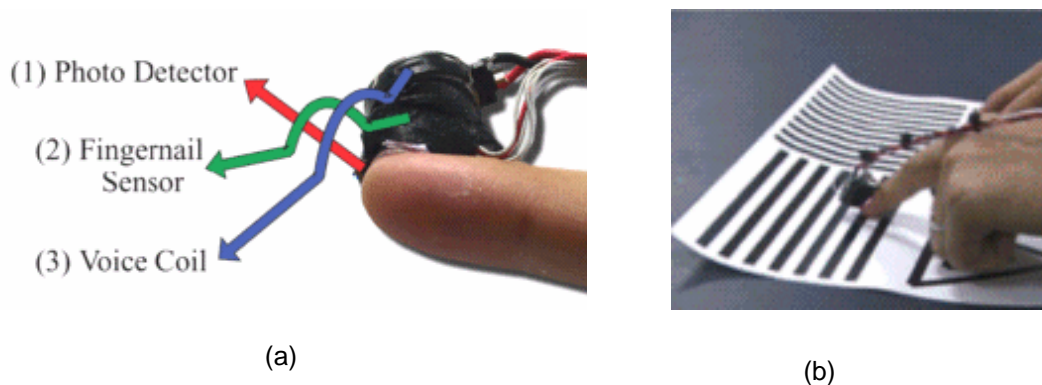


Figura 3.7: SmartFinger (Ando et al., 2002a)

Uma das aplicações do *SmartFinger* está no projeto *Parasitic Humanoid* que propõe o uso de dispositivos por seres humanos para modelar comportamentos não-verbais (Ando et al., 2002b). Os autores citam também a utilização deste dispositivo para auxiliar deficientes visuais a acessar informações na tela de computador.

3.1.6 CyberForce (Immersion)

Comercializado pela *Immersion Corp.* e desenvolvido originalmente na Universidade de Stanford, este dispositivo tem como aplicação fundamental o desenvolvimento de protótipos virtuais de produtos, permitindo encontrar falhas no projeto, montagem, conexão, movimentação de partes móveis etc. antes da etapa de fabricação (CyberForce, 2002).

Pode ser adquirida a luva com sensores de posição dos dedos (*CyberGlove*), mecanismo de aplicação de força para abrir e fechar cada dedo da mão (*CyberGrasp*) e mecanismo de *feedback* tátil através de vibração (*CyberTouch*). A configuração completa (*CyberForce*) custa aproximadamente US\$ 90.000,00. Para ser utilizada plenamente é necessário adquirir também o *VirtualHand Studio* (VirtualHand, 2002), uma aplicação especialmente desenvolvida para o dispositivo, custando cerca de US\$ 8.000,00.

Recentemente, a empresa lançou o *HapticWorkstation* (HW, 2002), um produto composto por dois *CyberForce*'s (um para cada mão) e, opcionalmente, um HMD (*head mounted display*). Por ser extremamente caro, seu uso é muito restrito. Atualmente, apenas grandes empresas, tais como Ford e Boeing, utilizam este dispositivo.



Figura 3.8: CyberForce

3.1.7 PenCat/Pro (Immersion)

Este dispositivo é uma realização comercial das idéias originalmente desenvolvidas no Pantograph (Ramstein & Hayward, 1994), que será apresentado a seguir. Ainda não está disponível comercialmente para usuários finais. Trata-se de um dispositivo 2,5D, ou seja, é capaz de aplicar forças em 2D, mas para entrada de dados é 3D (embora a variação na vertical seja mais restrita). A área de trabalho é de 100x60x25 mm. A força máxima que ele pode aplicar é de 3N. Existe uma força passiva de restauração na vertical, fazendo com que o

dispositivo retorne para o mesmo plano quando o usuário não aplica força nesta direção. A principal utilização deste dispositivo é na área de CAD, *design* em 3D (Hayward, 2001).



Figura 3.9: PenCat/Pro

3.2 Dispositivos para Deficientes Visuais

3.2.1 Pantograph (CITI)

O Pantograph foi desenvolvido no *Center for Information Technology Innovation* (CITI) em 1993 (Ramstein & Hayward, 1994). Trata-se de um dispositivo háptico composto por dois braços que se movem livremente no plano (Figura 3.10). Sua posição é calculada a partir de dois ângulos internos dos braços. A área de trabalho é de 6 x 10 cm e a força máxima aplicada é de 10 N.

A proposta inicial deste dispositivo é permitir que deficientes visuais possam acessar programas convencionais do sistema Windows utilizando uma interface háptica (Ramstein & Hayward, 1994) ou uma interface multimodal (Ramstein et al., 1996; Ramstein, 1996). Pode ser utilizado em substituição ao *mouse* tradicional, como vantagens para o deficiente visual: é um dispositivo de posicionamento absoluto e háptico.

Ramstein et al. (1996) propõem a utilização do dispositivo de forma a traduzir a GUI do Windows para uma representação acústica e háptica que possa ser compreendida por deficientes visuais. Ramstein (1996) propôs aplicação semelhante, porém combinando o *feedback* háptico com a tecnologia Braille. O dispositivo, chamado Pantobrilie, é, na verdade, um Pantograph com uma célula

Braille acoplada ao dispositivo, permitindo ao deficiente visual ler o caractere de texto que está sob o *cursor*.

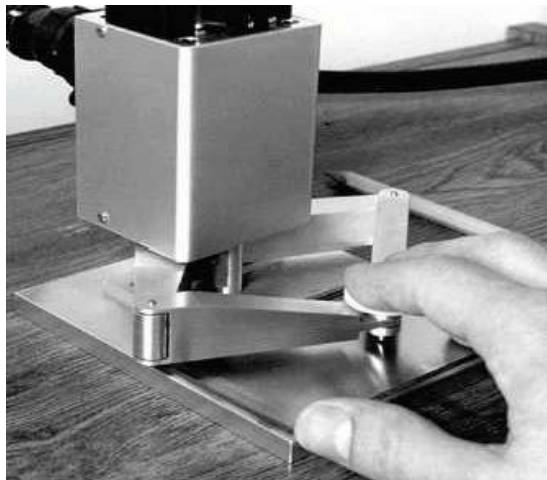


Figura 3.10: Pantograph

3.2.2 The Moose (Universidade de Stanford)

O'Modhrain & Gillespie (1997) desenvolveram o dispositivo háptico chamado *The Moose* (Figura 3.11) no *Center for Computer Research in Music and Acoustic, Stanford University*. Trata-se de um dispositivo experimental (não disponível comercialmente) formado por duas hastes horizontais. A área de trabalho é limitada (3 x 3 cm) tendo em vista a utilização de motores lineares para controlar as hastes. A força máxima aplicada é de 6 N. A finalidade de tal dispositivo é semelhante ao proposto por Ramstein et al. (1996), ou seja, permitir que deficientes visuais utilizem o sistema Windows.



Figura 3.11: The Moose

O protótipo desenvolvido cria representações hápticas dos objetos de interface do Windows, tais como, botões, janelas, *checkboxes* etc. Por exemplo, a borda de uma janela é representada hápticamente como se fosse uma linha afundada. O *checkbox* quando marcado faz com que o *cursor* seja atraído para ele. Caso contrário, causa repulsão. Com isso, o deficiente visual pode reconhecer não só os objetos de interface que estão sob o *cursor* como também verificar seus estados. Textos que aparecem na tela são representados através de voz sintética (os autores pretendem experimentar dispositivos de Braille também). Este dispositivo também foi utilizado experimentalmente para acrescentar *feedback* háptico em instrumentos musicais (O'Modhrain, 2000).

3.2.3 GUIDE (Universidade de Stuttgart)

Este dispositivo foi projetado especialmente para ser utilizado no âmbito do projeto GUIB (*Graphical User Interface for Blind People*) (GUIB, 1998). Este projeto está fundamentado na tradução do conteúdo da tela em uma representação tátil que está baseada na organização espacial dos objetos da interface gráfica. O GUIDE é, na verdade, um dispositivo multimídia formado por uma combinação de diversos componentes independentes, conforme mostra a Figura 3.12: uma coluna e duas linhas de células Braille (1), alto-falantes para saída de som e voz sintética (2), dois botões equivalentes aos botões de *mouse* (3), *touch-tablet* (4) e teclas para exploração (5).

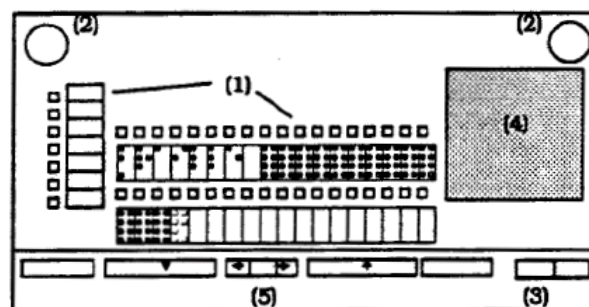


Figura 3.12: GUIDE (Weber, 1993b)

Este dispositivo atua como um substituto para o *mouse* e pode ser utilizado em tarefas de manipulação direta, tais como apontar e arrastar (Weber, 1993b). As células Braille possuem pequenos sensores (interruptores) que podem ser

pressionados pelo usuário (Figura 3.12). Ao manipular textos, isto faz com que o *cursor* se desloque para o caractere representado pela célula Braille pressionada, semelhante ao comportamento do *mouse* em um editor de textos. Para exploração do conteúdo da tela, o usuário utiliza a *touch-tablet*. O conteúdo da tela na posição do *cursor* é então apresentado através de *feedback* sonoro (pelos alto-falantes) ou através de *feedback* háptico (pelas células Braille) (Weber, 1993a; Weber, 1993b).

3.2.4 Display Rotativo de Braille (NIST)

Desenvolvido em 1999 pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST), ainda em caráter experimental, este *display* de Braille foi o primeiro a utilizar um sistema mecânico rotativo (NIST, 2002; Roberts et al., 2000). Os *displays* tradicionais possuem apenas uma única célula de Braille (como o utilizado por Ramstein (1996)) ou até 80 células (RNIB, 2002b).

O problema dos dispositivos tradicionais é o alto custo e a quantidade de atuadores mecânicos, tornando sua manutenção cara e complexa. Além disso, o tato humano é muito mais sensível a movimentos laterais e a colocação dos caracteres em células fixas interfere no processo de construção do modelo mental do texto (Roberts et al., 2000).

O dispositivo rotativo possui poucos atuadores sendo, portanto, muito mais barato e de manutenção mais simples. Além disso, os usuários têm a impressão de estarem lendo uma linha de comprimento infinito, ao contrário dos dispositivos convencionais com linhas de dimensões reduzidas (Figura 3.13).

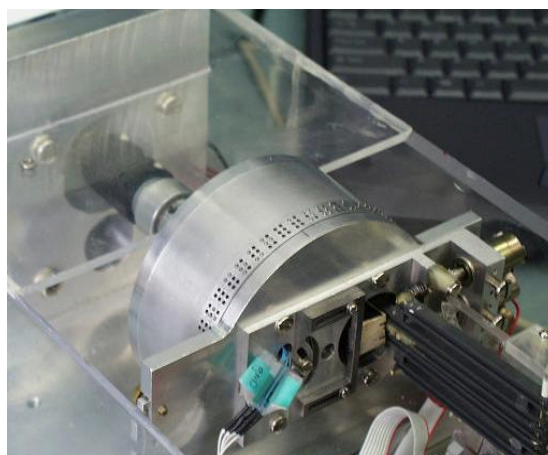


Figura 3.13: Display Rotativo de Braille

3.2.5 Display Tátil de Imagens (NIST)

Também desenvolvido pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST), ainda em caráter experimental, e anunciado oficialmente em novembro de 2002, este *display* permite criar representações táteis de imagens. É formado por um conjunto de 3.600 pequenos pinos metálicos dispostos em um retângulo de 5"x7" (Figura 3.14). Cada pino pode ser levantado e abaixado individualmente, criando assim a representação em alto relevo de uma imagem que pode ser facilmente sentida com as mãos. Utiliza mecanismo semelhante a um *plotter* para construir as imagens (NIST, 2002b). Outros dispositivos semelhantes, porém com resoluções inferiores, também foram desenvolvidos (Fricke & Baring, 1992; Kowalik & Postawka, 1994). Kawai & Tomita (1996) desenvolveram um dispositivo tátil em 3D. A resolução espacial é bem menor (16x16 pinos), mas os pinos podem ser posicionados em alturas diferentes.

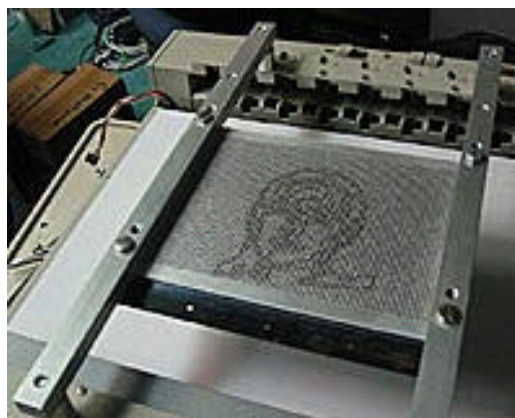


Figura 3.14: Display Tátil de Imagens

3.3 Limitações das Tecnologias Hápticas

Conforme apresentado no Capítulo 2, existem sérios problemas com representações hápticas bidimensionais de modelos geométricos mais complexos, tais como imagens e mapas espaciais (Lederman & Campbell, 1982; Lederman et al., 1985; Eriksson, 1999). Tais dificuldades devem-se principalmente a limitações tecnológicas das interfaces e dos dispositivos hápticos utilizados.

Tipicamente, dispositivos hápticos modelam o usuário como sendo um ponto infinitesimal no mundo virtual. Ou seja, a sensação tátil é definida em apenas um ponto por vez, enquanto o tato humano processa sensações em

múltiplos pontos. Isto limita drasticamente a percepção espacial global de qualquer representação háptica, tendo em vista que a exploração através do tato é sequencial e extremamente lenta (Lederman & Campbell, 1982). Este quadro é ainda mais agravado quando propriedades perceptuais importantes, tais como forma e textura, são precariamente representadas ou mesmo omitidas devido restrições imposta por uma determinada tecnologia (Klatzky et al., 1985). Dispositivos de Braille, por exemplo, são relativamente eficientes para codificação de texto, porém inadequados para representação de propriedades geométricas e espaciais. Mesmo para texto, a leitura em Braille é cerca de três ou quatro vezes mais lenta quando comparada com o método tradicional para videntes (Ramstein, 1996) e poucos deficientes visuais conhecem e utilizam o método (Yu et al., 2000).

Por outro lado, métodos de representação de contorno em alto relevo confiam quase exclusivamente na percepção proporcionada pelos sensores cutâneos localizados na ponta dos dedos das pessoas. Lederman & Campbell (1982) mostram que a simples tradução da informação visual para a representação correspondente em alto relevo não é suficiente em alguns casos. Nas situações envolvendo objetos simples (linhas, barras, formas geométricas simples) a tradução imediata visual-tátil parece ser apropriada para os deficientes visuais. Entretanto, formas mais complexas (imagens e mapas espaciais) não podem ser traduzidas diretamente utilizando apenas a representação em alto relevo das bordas dos objetos.

Representações de borda fornecem pouca informação aos componentes cutâneo (apenas uma pequena variação de pressão em 2D) e cinético (apenas deslocamentos planares) do tato. Interfaces hápticas bidimensionais transmitem ao usuário apenas uma versão muito restrita das sensações táteis, tornando a percepção espacial uma tarefa difícil e demorada (Lederman & Klatzky, 1987). Por isso, esta representação isoladamente pode ser ineficiente quando os objetos modelados não são estruturalmente simples (Klatzky et al., 1985).

Entretanto, conforme apresentado no Capítulo 2, pesquisas indicam a inegável capacidade de percepção do sistema háptico humano (Klatzky et al., 1985; Lederman, 1982; Reed, 1996). Este é, sem dúvida, um grande estímulo para que pesquisadores extrapolem as limitações das tecnologias hápticas atuais. Conforme será visto no Capítulo 6, a combinação da percepção proporcionada

pelos componentes cutâneo e cinético do tato servirá como ponto de partida para a especificação de técnicas de interação adequadas para deficientes visuais.

3.4 Escolha do Dispositivo para a Tese

Diversos fatores foram levados em consideração na escolha do *joystick SideWinder* como dispositivo háptico mais indicado para a interface assistida proposta neste trabalho. Os principais requisitos são:

1. O dispositivo deve ser capaz de auxiliar o usuário na percepção de forma;
2. O dispositivo deve ser capaz de representar texturas;
3. O dispositivo deve ser capaz de funcionar em um sistema absoluto de coordenadas;
4. O dispositivo deve ser facilmente encontrado no mercado e é necessário que suas funções e recursos possam ser programados através de uma biblioteca com interface bem conhecida;
5. O dispositivo deve ser de baixo custo.

O requisito 1 sinaliza que o dispositivo mais adequado deveria ser reativo, ou seja, baseado na aplicação de força. A força, se bem utilizada, pode ser útil para guiar o usuário em tarefas de interação. Este requisito exclui, portanto, todos os dispositivos táteis, tais como, *TangibleMouse* e *SmartFinger*.

O requisito 2 contrasta com o anterior, pois sabe-se que os dispositivos táteis são muito mais adequados neste caso. Entretanto, texturas também podem ser simuladas com dispositivos reativos. Porém, não se deve esperar muita precisão neste caso, pois, conforme mencionado no início deste capítulo, a percepção de textura está associada ao componente cutâneo do tato.

O requisito 3 é muito importante, pois sistemas relativos de coordenadas dificultam a orientação do deficiente visual, conforme será visto no Capítulo 6. Até o presente momento, não foram encontrados trabalhos com interfaces assistidas para deficientes visuais que utilizem dispositivos reativos em um sistema relativo de coordenadas.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi pensado inicialmente utilizar o PHANTOM. Entretanto, esta idéia infelizmente teve que ser abandonada por não atender ao requisito 5: o modelo mais simples, *Desktop*, custa cerca de US\$

15.000,00. A seguir, pensou-se em utilizar o *Wingman mouse*. Entretanto, este dispositivo, por não atender ao mercado ao qual foi concebido (jogos de computador) foi descontinuado pelo fabricante. Portanto, o dispositivo não atende ao requisito 4. Por fim, optou-se definitivamente pelo *joystick SideWinder*, pois atende a todos os requisitos citados.

Entretanto, vale ressaltar que, embora atenda aos requisitos propostos, a decisão de utilizar o *joystick* reativo da *Microsoft* implica em uma série de comprometimentos, como era de se esperar. Os principais inconvenientes do dispositivo são:

- Baixa resolução espacial, conforme será comprovado nos testes;
- Limitações para a representação de texturas virtuais. Isto já era esperado e os testes também mostram claros indícios dessas limitações;
- Baixo desempenho. Apesar de ser microprocessado, não é rápido o suficiente para permitir simulação de modelos físicos mais elaborados;
- 2D apenas, restringindo todas as interações a um único plano.