

Conforme mencionado no Capítulo 1, esta tese tem como principal objetivo discutir que ferramentas são adequadas para um deficiente visual, em particular, cego total, ter acesso à informação em um ambiente computacional. Possibilitar o acesso a uma interface gráfica não é simplesmente apresentar o conteúdo da tela do computador em um formato não-visual. Requer o uso de tecnologias adequadas e novas técnicas de interação baseadas em *feedbacks* não-visuais. De modo mais específico, espera-se que tais ferramentas sejam capazes de proporcionar ao deficiente visual percepção mais ampla possível de propriedades físicas não-visuais de objetos virtuais. Em especial, espera-se que esta percepção esteja intimamente relacionada com a capacidade do sistema háptico humano, pois, conforme apresentado no Capítulo 2, o tato é o mecanismo primário de percepção utilizado por deficientes visuais, seguido da audição como mecanismo secundário.

Portanto, esta tese propõe a utilização de tecnologias assistidas não-visuais de *hardware* e *software* baseadas no tato para estabelecer um novo canal de comunicação entre o deficiente visual e interface computacional. Isto acarreta, portanto, na substituição da visão pelo tato como mecanismo primário de *feedback* em tarefas de interação com o usuário. De uma forma resumida, o que está sendo proposto neste trabalho é:

- Especificação de um modelo de interface de baixo nível, isto é, próximo das tecnologias de *hardware* e *software* empregadas, capaz de implementar técnicas que estimulem a percepção do maior número de propriedades hápticas possível, de acordo com as limitações das tecnologias utilizadas. Este assunto será discutido a seguir, neste capítulo da tese;
- Verificação das técnicas implementadas quanto à sua utilidade para os deficientes visuais, ou seja, se elas têm uma aplicação prática bem definida. Propor possíveis melhorias e outras técnicas capazes de implementar outras tarefas de interação. Estes assuntos serão discutido nos Capítulos 7 a 10 desta tese.

6.1 Propriedades Hápticas Consideradas

Lederman & Klatzky (1987) ao descrever os procedimentos exploratórios (ver seção 2.4) enumerou uma série de propriedades físicas que podem ser percebidas através do tato: textura, rigidez, temperatura, peso, volume e forma (global e exata). Estas propriedades são percebidas através da utilização dos procedimentos exploratórios *Lateral Motion*, *Pressure*, *Static Contact*, *Unsupported Holding*, *Enclosure* e *Contour Following*, respectivamente. Entretanto, nem todas as propriedades físicas mencionadas serão levadas em consideração nesta tese. Devido a restrições tecnológicas, alguns desses procedimentos exploratórios não estão disponíveis para o dispositivo háptico escolhido, ou seja, o *joystick Microsoft Sidewinder 2*. Em particular, para este dispositivo, não é possível simular os procedimentos exploratórios *Static Contact* e *Enclosure*, pois ele não permite *feedback* simultâneo em múltiplos pontos.

Textura, rigidez e temperatura são tipicamente associadas ao tato, sendo muito difíceis de serem percebidas através de outros sentidos, incluindo a visão. A forma, por outro lado, está intrinsecamente relacionada com a visão, apesar de também ser identificável através do tato. Entretanto, conforme discutido nos Capítulos 2 e 3, a percepção da forma exata unicamente através do tato é uma tarefa bastante complexa e demorada. Neste caso, a visão tem desempenho muito superior ao tato.

Volume e forma global estão relacionados com o procedimento exploratório *Enclosure*. Neste procedimento, as mãos mantêm contato simultâneo com o objeto como se fosse um envelope. Geralmente há um esforço para moldar a mão mais precisamente ao contorno do objeto. Conforme havia sido dito anteriormente, como o dispositivo háptico utilizado não suporta este procedimento, as propriedades volume e forma global não estarão diretamente disponíveis na interface assistida proposta neste trabalho. A propriedade temperatura não será considerada neste trabalho, nem de forma indireta.

A textura está relacionada com o procedimento exploratório *Lateral Motion*. Neste procedimento, os dedos se movimentam rapidamente sobre uma pequena região no interior do objeto. Este tipo de procedimento pode ser simulado pelo dispositivo háptico utilizado.

A rigidez está relacionada com o procedimento exploratório *Pressure*. Neste procedimento, os dedos aplicam forças normais à superfície do objeto enquanto a face oposta do mesmo é mantida apoiada, em oposição à força aplicada. Este procedimento também pode ser simulado pelo dispositivo háptico utilizado.

O peso está relacionado com o procedimento exploratório *Unsupported Holding*. Neste procedimento, o objeto é levantado e mantido nas mãos sem a intenção de envolvê-lo (como acontece com o procedimento exploratório *Enclosure*). Este procedimento também pode ser simulado pelo dispositivo háptico utilizado.

Forma exata está relacionada com o procedimento exploratório *Contour Following*. Neste procedimento, a mão mantém contato com o contorno do objeto e tipicamente move-se suavemente e de maneira não repetitiva ao longo de um segmento do objeto, parando ou mudando de direção quando um segmento termina. Segundo Lederman & Klatzky (1987), na ausência de visão, este é o procedimento exploratório ótimo, isto é, não existe outra forma mais eficiente de uma pessoa identificar, através do tato, a forma exata de um objeto no mundo real.

Conforme visto no Capítulo 3, o ato de percorrer o contorno de um objeto modelo virtualmente no computador utilizando um dispositivo háptico é seriamente prejudicado tendo em vista as simplificações introduzidas pelas tecnologias hápticas atuais, tais como a modelagem pontual do *cursor* e restrições na representação de *feedbacks* (tipicamente apenas aplicação de forças pontuais). Tais simplificações certamente terão impactos negativos na qualidade de uma interface háptica assistida, limitando a percepção do usuário e aumentando sensivelmente o tempo necessário para o reconhecimento de uma determinada forma geométrica virtual. Entretanto, espera-se que seja perfeitamente possível considerar este procedimento exploratório na interface assistida proposta.

Lederman & Klatzky (1987) afirmam que, na ausência de um procedimento exploratório ótimo, a pessoa naturalmente irá utilizar um outro procedimento disponível não-ótimo, porém suficiente, para avaliar uma determinada propriedade. Portanto, espera-se que, mesmo não sendo possível simular o procedimento exploratório ótimo *Enclosure* devido às limitações do dispositivo háptico utilizado, espera-se que seja possível avaliar propriedades espaciais (volume, área, forma global) de um objeto virtual baseando-se unicamente no procedimento exploratório *Contour Following*. Como a interface assistida aqui

proposta é bidimensional, espera-se, então, que a avaliação de área (tamanho) de um objeto virtual também seja indiretamente suportada pela interface (mesmo que de modo não ótimo) dado que o procedimento exploratório *Contour Following* esteja disponível para o usuário. Neste caso, esta avaliação será mais demorada e sujeita a erros devido à ausência do procedimento exploratório ótimo (*Enclosure*).

De uma forma resumida, as seguintes propriedades serão levadas em consideração no modelo de interface assistida proposto: textura (propriedades materiais), forma exata (propriedades geométricas) e forma global (propriedades espaciais). Acredita-se que as tecnologias de *hardware* e *software* utilizadas neste trabalho serão capazes de proporcionar ao deficiente visual mecanismos suficientes para a percepção das três propriedades mencionadas anteriormente. Portanto, espera-se que esta interface assistida possa ser utilizada por deficientes visuais para manipular hápticamente objetos gráficos virtuais. Como o tato é utilizado como mecanismo primário de *feedback*, esta interface pode ser plenamente utilizada por indivíduos cegos totais.

As propriedades rigidez e peso, apesar de serem disponibilizadas pelo dispositivo háptico, serão utilizadas indiretamente como mecanismo auxiliar para dar suporte às propriedades forma exata e global. Deve ficar claro também que propriedades percebidas exclusivamente pela visão, tais como cor, brilho, transparência e sombras, não serão aqui consideradas. Pode-se, entretanto, criar mapeamentos de tais propriedades através de codificações baseadas em propriedades não-visuais (por exemplo, texturas e sons). No entanto, isto não será abordado neste trabalho.

6.2 Técnicas Não-Visuais de Interação

Conforme apresentado na seção anterior, esta tese propõe que sejam simuladas propriedades de objetos gráficos virtuais relacionadas com características materiais (textura), geométricas (forma) e espaciais (tamanho e disposição relativa). Para cada uma das propriedades mencionadas, será proposto uma técnica de interação não-visual capaz de transmitir ao deficiente visual, através de um dispositivo háptico, a percepção tátil adequada.

6.2.1 Interação com Texturas

A textura é uma característica da superfície de um objeto que é facilmente identificada pelo tato (no caso de objetos do mundo real). A representação de texturas através de dispositivos hápticos, em particular através de dispositivos reativos, é uma tarefa bastante complexa (McGee et al., 2001). O uso de dispositivos reativos, por serem baseados em aplicação de força, dificulta a percepção de texturas virtuais devido a sua relação com o componente cutâneo do tato, conforme mencionado no Capítulo 3 desta tese. Entretanto, espera-se que esta informação seja relevante para aumentar a sensação de realismo e prover um mecanismo alternativo de identificação de objetos virtuais.

Para estimular a percepção de propriedades materiais de objetos virtuais, este trabalho propõe a simulação de texturas baseadas na representação da rugosidade, uma das características mais comuns de superfícies de objetos (juntamente com a rigidez). Tal escolha deve-se ao fato da rugosidade ser uma característica cuja implementação é mais facilmente representada por dispositivos reativos.

A Figura 6.1 ilustra o modelo reativo genérico de texturas implementado neste trabalho. Um objeto virtual pode ter uma textura característica para a sua borda e seu interior. Qualquer objeto fechado pode ter uma textura associada. Através deste modelo simples é possível implementar qualquer tipo de textura e não apenas aquelas viabilizadas por um tipo particular de dispositivo háptico. Portanto, caso seja utilizado um outro dispositivo com mais recursos, outras texturas também poderão ser implementadas, através da simples extensão do modelo proposto. Quando um usuário manipula um objeto que possui textura, a interface sinaliza para a textura três tipos de eventos possíveis:

- *Enter*. Sinaliza para textura que o *cursor* acaba de entrar em sua região. Neste caso, a aplicação que implementa a textura poderá fazer as inicializações necessárias como, por exemplo, aplicar a força de textura no dispositivo reativo ou implementar a textura de borda;
- *Move*. Sinaliza para a textura que o *cursor* se moveu no interior de sua região. Neste caso, a aplicação que implementa a textura poderá atualizar a força de textura, que poderá ser uma função da posição do *cursor* dentro da textura, velocidade e aceleração do *cursor* etc;

- *Leave*. Sinaliza para a textura que o *cursor* acaba de sair de sua região. Neste caso, a aplicação que implementa a textura poderá fazer as finalizações necessárias como, por exemplo, parar de aplicar a força de textura no dispositivo reativo.

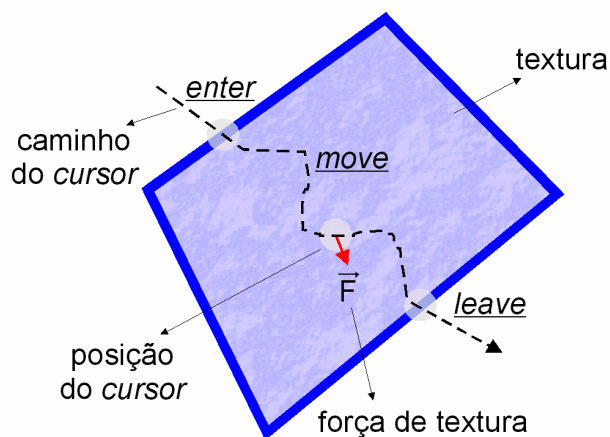


Figura 6.1: Modelo Genérico de Texturas

6.2.2 Interação com Objetos Geométricos

Conforme apresentado no Capítulo 3, a representação háptica de modelos geométricos virtuais ainda está muito limitada pelas tecnologias hápticas atuais. A técnica mais utilizada neste caso é a representação de contorno (ou de borda) em alto (ou baixo) relevo. Esta técnica é derivada do procedimento exploratório ótimo para a percepção da forma exata de um objeto real (*Enclosure*). Entretanto, conforme discutido no Capítulo 3, representações de borda pura e simplesmente fornecem pouca informação aos componentes cutâneo e cinético do tato humano. A proposta deste trabalho é, então, combinar a percepção proporcionada por estes dois componentes e, assim, amplificar a percepção de propriedades geométricas através do tato.

O tipo de interação proporcionada pelo *joystick* reativo permite, em primeiro lugar, a livre movimentação da mão do usuário em uma região planar e, dependendo da forma com que o usuário movimenta o dispositivo, ele aplicará na mão do usuário forças reativas de direção e intensidade controladas. Isso significa que o componente cinético do tato está sendo alimentado com informações que podem refletir características geométricas do objeto. Além disso, ao tocar a

superfície de um objeto virtual, o usuário poderá mover o *joystick* e aplicar pequenos movimentos laterais de forma a manter o contato com a superfície. Neste caso, o dispositivo irá reagir aplicando forças de pequena intensidade sobre a mão do usuário. Isso significa que o componente cutâneo do tato está sendo alimentado com informações que podem refletir características qualitativas da superfície do objeto (incluindo se ela é áspera, lisa etc.) .

Neste caso, tem-se uma combinação de duas formas de percepção que qualitativamente trazem informações ortogonais, pois, conforme apresentado no Capítulo 2, cada uma está relacionada com um mecanismo sensorial diferente (a informação cinética está associada a sensores localizados nos músculos, tendões e juntas enquanto a informação cutânea está associada a sensores localizados na superfície da pele).

Portanto, para estimular a percepção geométrica (ou seja, a forma exata) de um usuário ao manipular hápticamente um objeto virtual, será utilizado forças reativas de atração (estimulando componente cinético do tato) para manter o usuário próximo da borda do objeto e forças reativas de textura (estimulando o componente cutâneo do tato) para que o usuário perceba que está tocando a borda do objeto ou o seu interior (Figura 6.2).

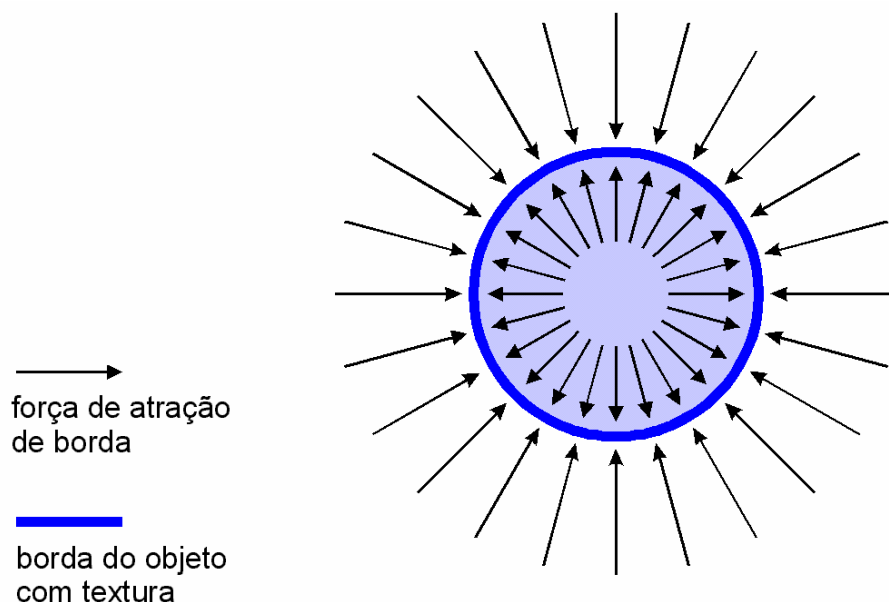


Figura 6.2: Forças Reativas de Atração e de Textura

O motivo de serem utilizadas forças reativas para estimular o usuário percorrer a borda do objeto não é apenas devido ao fato deste ser o método naturalmente utilizado por pessoas (deficientes visuais e videntes) para identificar a forma geométrica de objetos do mundo real. Arestas e faces, ou seja, formas definidas por contornos, são as características perceptuais geométricas mais importantes de um objeto e é assim que as pessoas (deficientes visuais e videntes) percebem os objetos na ausência da visão. Em seu trabalho, Kurze (1996) conclui que uma característica comum em desenhos realizados por deficientes visuais é representar de maneira completa, ou seja, incluindo todas as partes principais, as bordas dos objetos, respeitando, inclusive, a topologia. Portanto, é de extrema importância que a interface assistida disponibilize ao deficiente visual recursos que os permitam perceber o contorno dos objetos.

Entretanto, é preciso justificar porquê foi utilizado forças reativas de atração para a borda e não forças reativas de repulsão. Em um primeiro momento, para manter o usuário sobre a borda de um objeto, força de atração parece ser muito mais adequada que a repulsão. Esta observação é confirmada por Sjöström et al. (2002) através de testes de exploração e identificação de desenhos de linhas com usuários deficientes visuais. Os autores concluíram que desenhos em alto relevo estimulam os usuários a explorarem a área no interior de um contorno, enquanto desenhos em baixo relevo os estimulam a seguir o contorno. Yu et al. (2000) também concluem que é difícil seguir, utilizando um dispositivo háptico (no caso um PHANTOM), linhas em alto relevo. Tipicamente o *cursor* desliza sobre a região em alto relevo e repousa sobre região plana logo abaixo.

A Figura 6.3 ilustra a forma de ser calculada a força reativa de atração para a borda do objeto. Na figura, o objeto, uma linha poligonal, é representado por sua borda. Até uma distância máxima D , representada pela região pintada, o *cursor*, cuja posição é p , é atraído para p' , o ponto mais próximo do objeto. A força de atração F tem intensidade proporcional à distância d do *cursor* ao objeto. Os valores de d e p' são calculados através da transformada de distância do objeto utilizando o algoritmo de Mauch, conforme apresentado no Capítulo 5.

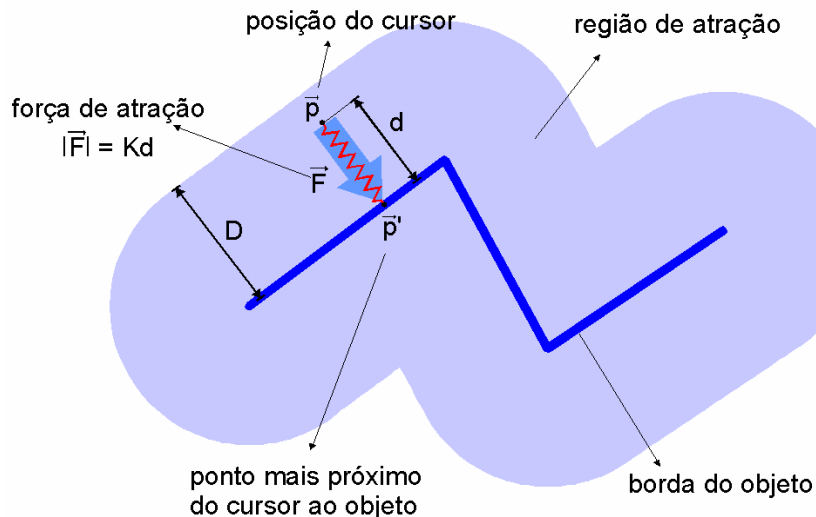


Figura 6.3: Modelo Reativo de Atração para a Borda

Na prática, pode-se imaginar que o usuário interage com o objeto tendo a sensação de haver uma mola móvel ligando o *cursor* ao objeto. Ou seja, se o *cursor* mantiver-se sobre a borda do objeto, o usuário não sentirá força alguma. Caso se afaste da borda, a força vai aumentando até um valor máximo, ou seja, quando atingir a distância D da borda. Se o usuário tentar se afastar mais ainda, esse vínculo é desfeito e a força de atração para este objeto deixa de atuar. Neste caso, considera-se que o usuário desistiu de seguir a borda deste objeto e o *cursor* poderá ir para o espaço vazio, onde se moverá livremente, ou poderá ser atraído por um outro objeto próximo, caso a distância até ele seja menor ou igual a D .

O objetivo de fixar o foco da interação em um único objeto por vez é evitar que, involuntariamente, o usuário passe a manipular objetos próximos do corrente, conforme mostrado na Figura 6.4. Isso poderia criar ambigüidades enquanto o usuário percorre as arestas de um determinado objeto. Esta situação deve ser evitada e torna-se ainda mais grave quando o usuário nem percebe que isto aconteceu.

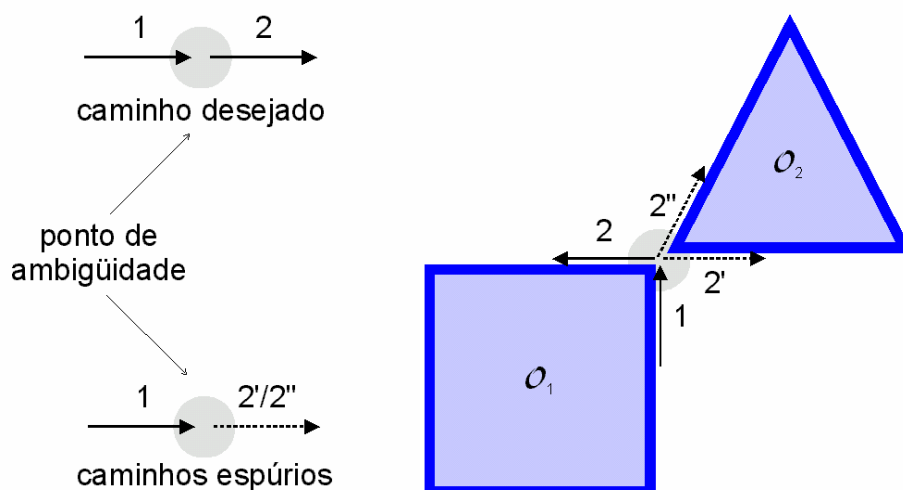


Figura 6.4: Problema de interseções de múltiplas arestas

Além do problema de ambigüidade citado anteriormente, um outro possível motivo de confusão é mostrado na Figura 6.5. Nesta situação, o usuário está percorrendo o contorno de um determinado objeto O . Dependendo do lado em que se percorre, ou seja, pelo interior (caminho C) ou exterior (caminho C') de O , a sensação será diferente para o usuário. O motivo é simples: como o *cursor* é atraído para o ponto mais próximo do objeto, caso ele percorra pelo interior de O , não irá visitar os vértices do objeto (sendo O um polígono convexo). Neste caso, se o ângulo interno do objeto no vértice considerado v_1 for próximo de 180° , o usuário poderá nem perceber que mudou de direção, ou seja, encontra-se em uma nova aresta de O .

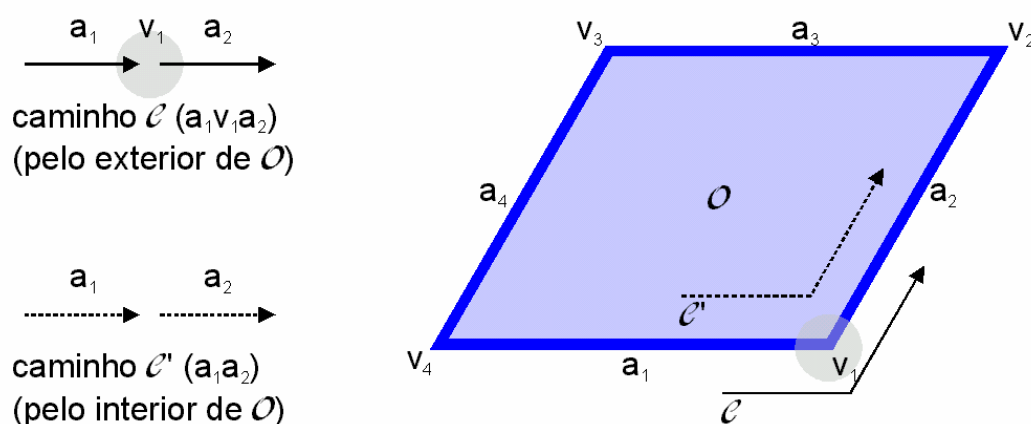


Figura 6.5: Caminhos pelo interior e exterior de um objeto

Espera-se que seja importante perceber claramente as mudanças de arestas para que o usuário identifique a forma do objeto. Espera-se, também, que alguns usuários possam utilizar a contagem mental do número de arestas de um objeto para identificá-lo mais facilmente. Para resolver este problema, optou-se por utilizar *feedbacks* sonoros distintos para sinalizar a transição do *cursor* de uma aresta para outra vizinha passando ou não pelo vértice em comum.

O modelo matemático mais adequado para desenvolver uma interface espacial reativa e, em particular, implementar o modelo de atração mostrado na Figura 6.3 é, sem dúvida, transformada de distância. Este modelo matemático torna muito mais simples o cálculo da força reativa de atração para a borda do objeto e ainda oferece meios de balancear a resolução espacial do dispositivo reativo e a resolução espacial da imagem que está sendo manipulada pelo usuário.

Essencialmente, a utilização da transformada de distância permite ao desenvolvedor da aplicação controlar a extensão das arestas dos objetos, ou seja, definir limites para “borrar” as arestas, de acordo com a precisão do dispositivo háptico utilizado, conforme mostrado na Figura 6.6. Um dispositivo háptico preciso poderia trabalhar com um modelo de objetos cujas arestas são pouco estendidas, ou borradas (Figura 6.6b), enquanto um dispositivo de baixa resolução precisaria borrar as arestas dos objetos ainda mais (Figura 6.6c).

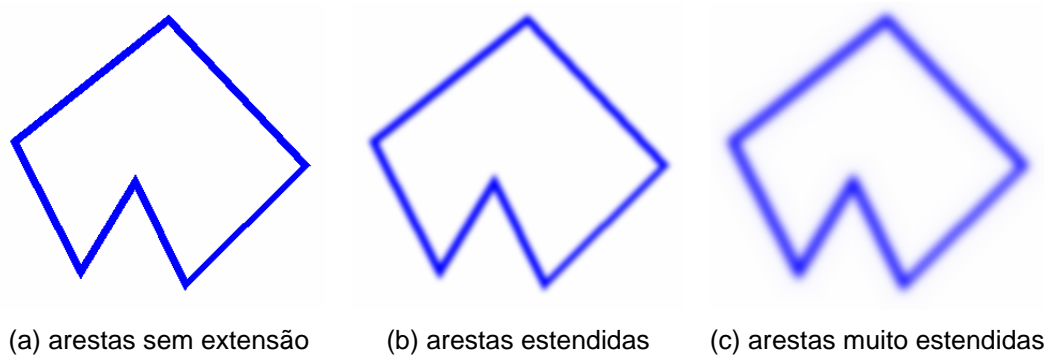


Figura 6.6: Controle da extensão de arestas

A extensão de arestas é importante para suavizar a movimentação do *cursor* enquanto o usuário interage com os objetos da interface. Caso isto não ocorra (Figura 6.6a) o usuário estará sujeito a “solavancos” do dispositivo háptico sempre que o *cursor* se afastar ou se aproximar da borda do objeto. É preciso haver uma variação progressiva da intensidade da força reativa aplicada pelo

dispositivo háptico sobre o usuário. Esta variação é facilmente controlada caso esteja disponível a informação de distância do *cursor* ao objeto. Além disso, caso se utilize um outro dispositivo háptico mais (ou menos) preciso, este limite pode ser facilmente ajustado. Esses motivos justificam a utilização da transformada de distância para implementar esta técnica de interação.

6.2.3 Percepção de Propriedades Espaciais

No contexto deste trabalho, entende-se por propriedades espaciais aquelas relacionadas com a percepção da disposição relativa de objetos (ou seja, à direita, à esquerda, à frente e atrás de uma determinada referência) e com a percepção de tamanho (comprimento, área ou volume). No caso de uma interface bidimensional, o tamanho de um objeto está relacionado com sua área.

Conforme mencionado no início deste capítulo, a percepção de tamanho está diretamente relacionada com o procedimento exploratório *Enclosure*, que não pode ser diretamente simulado através dos atuais dispositivos que oferecem apenas interações hápticas pontuais. Entretanto, espera-se que o procedimento exploratório *Contour Following*, implementado neste trabalho, seja suficiente para a percepção do tamanho de objetos virtuais.

Com relação à percepção da disposição relativa de objetos, espera-se também contar com as habilidades proporcionadas pelo componente cinético do tato humano. Conforme apresentado no Capítulo 2 (seção 2.3), os sensores localizados nos músculos, tendões e juntas são estimulados com o movimento dos membros do corpo (em particular, a mão do usuário que manipula o dispositivo reativo). Neste caso, espera-se que a manipulação ativa, ou seja, o movimento aplicado pelo usuário no dispositivo reativo, seja capaz de transmitir a ele a noção de disposição relativa de objetos.

Para que isto aconteça é necessário, entretanto, que o sistema de coordenadas do dispositivo reativo seja absoluto. Deste modo, espera-se que seja fácil para o usuário identificar as posições absolutas do *cursor*, ou seja, se o *cursor* está no canto direito, no canto esquerdo etc. Daí, a noção de posição relativa, ou seja, à esquerda, à direita etc., é automaticamente entendida. Dispositivos de entrada que utilizam sistema relativo de coordenadas, em especial o *mouse* e *trackball*, são inúteis para os deficientes visuais justamente por não

permitirem a identificação da posição do *cursor* na tela do computador. Isto faz com que o usuário fique completamente desorientado ao tentar imaginar a posição do *cursor* (Fraser & Gutwin, 2000).

Tipicamente, em aplicações convencionais o *joystick* é utilizado em um sistema relativo de coordenadas, da mesma maneira que o *mouse* e *trackball*. Esta característica natural teve que ser alterada para que o dispositivo torne-se absoluto e, assim, possa ser utilizado por deficientes visuais. Entretanto, espera-se que esta modificação comprometa bastante a eficiência do dispositivo, visto que sua resolução espacial (ou seja, o curso de mobilidade) é bastante reduzida.

Em resumo, espera-se que a percepção de propriedades espaciais (tamanho e disposição relativa) seja automaticamente suportada pela interface assistida aqui proposta, visto que a percepção de propriedades geométricas (ou seja, a forma) e a noção de disposição relativa (dado que o dispositivo reativo é absoluto) estão disponíveis para o usuário.

6.3 Implementação de um Protótipo

Baseando-se nas idéias apresentadas na seção anterior, foi implementado um protótipo de uma interface assistida para deficientes visuais que simula as propriedades não visuais relacionadas com características materiais, geométricas e espaciais de objetos virtuais. Este protótipo, como já foi dito, utiliza o *joystick Microsoft Sidewinder Force Feedback 2* como dispositivo háptico para implementar os mecanismo reativos de atração para borda e texturas virtuais. Espera-se que este dispositivo seja capaz de transmitir ao deficiente visual a noção de textura, forma e espacialidade.

Para implementar os mecanismos reativos de atração para a borda foi utilizado o modelo matemático de transformada de distância, mais especificamente, o algoritmo de Mauch, conforme apresentado no Capítulo 5. Este algoritmo é bastante eficiente para objetos geométricos lineares por partes.

A implementação do protótipo foi realizada em C++ e utiliza a biblioteca *DirectX* da *Microsoft*, em especial o componente *DirectInput* desta biblioteca (DirectX, 2002). Utiliza também o sistema de criação de interfaces com o usuário IUP/LED do TeCGraf/PUC-Rio (Levy et al., 1996). A implementação do protótipo segue um modelo de interação para interfaces baseadas em manipulação

direta de objetos em um *canvas* gráfico (Carneiro et al., 1997). Este modelo oferece mecanismos de abstração de tarefas bidimensionais de interação, facilitando, assim, a implementação das técnicas não-visuais de interação aqui propostas. Este protótipo foi utilizado para realizar testes com usuários, conforme será discutido no Capítulo 7. Para isto, além de implementar técnicas não-visuais de interação, o protótipo realiza diversas medições quantitativas da atividade do usuário. Os dados medidos estão especificados no Apêndice C desta tese.

6.3.1 Implementação de Texturas

Testes preliminares de implementação mostraram que as limitações impostas pelo *joystick* reativo utilizado não permite a simulação de texturas baseadas em modelos físicos, tais como os modelos apresentados por Colwell et al. (1998) e Sjöström et al. (2002). Ficou constatado que o *joystick* reativo não possui resolução espacial nem velocidade de processamento compatíveis com os requisitos mínimos para uma representação convincente de tais modelos. Portanto, a representação de texturas virtuais aqui proposta tem a finalidade de permitir ao usuário distinguir texturas diferentes e não de simular texturas existentes no mundo real.

Para isto, é utilizada uma combinação de efeitos baseados no tempo e espaço disponibilizados pelo *joystick* reativo, conforme apresentado no Capítulo 3 (seção 3.1.1.1). Essencialmente, texturas são implementadas através de efeitos vibratórios e simulação física do atrito (disponibilizado pelo *hardware*). Para este trabalho, três texturas distintas foram implementadas:

- *Bump*. Simula uma superfície cheia de ressaltos distribuídos uniformemente em uma grade regular dentro da textura (Figura 6.7). Quando o *cursor* passa sobre um dos ressaltos, o dispositivo reativo vibra senoidalmente na direção *y* (para frente e para trás), com frequência de 30 Hz por 80 ms e com 20% da intensidade máxima permitida pelo dispositivo;
- *Friction*. Simula a inércia ao movimento do *cursor*, como se a ele estivesse preso um objeto de determinada massa. Ao ser movimentado, é necessário vencer a resistência dessa massa aparente (fricção estática) e, em movimento, a resistência tende a diminuir a velocidade do *cursor* (fricção dinâmica);

- *Vibration*. Enquanto o *cursor* estiver nessa textura, o dispositivo reativo vibra senoidalmente na direção *y* (para frente e para trás), com frequência de 30 Hz e com 20% da intensidade máxima permitida pelo dispositivo.

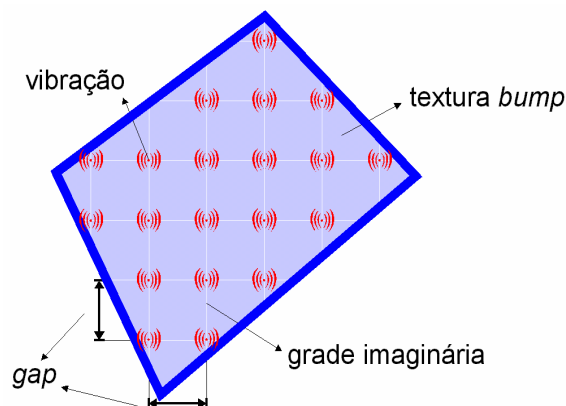


Figura 6.7: Textura *Bump*

A sensação da textura *bump* depende da velocidade com que se passa por ela: quanto mais rápido, mais fortemente são sentidos os ressaltos, representados aqui pelas vibrações. Já a sensação da textura *vibration* é simplesmente uma vibração contínua, mesmo o *cursor* estando parado sobre a textura. A sensação da textura *friction* também depende da velocidade com que se passa por ela: quanto mais rápido, maior é a resistência ao movimento.

Cada textura foi encapsulada em uma classe em C++ cuja hierarquia é apresentada na Figura 6.8a. As texturas recebem eventos de movimentação do *cursor* e são responsáveis por tratá-los adequadamente. Os objetos que implementam texturas possuem, entre outras informações:

- Métodos para implementar o início da atuação da textura (*EnterCursor*), ou seja, quando o *cursor* penetra em um objeto que possui textura, quando o *cursor* percorre o interior da textura (*MoveCursor*) e quando o *cursor* deixa da textura (*LeaveCursor*);
- Método de desenho (*Draw*). Apesar da representação visual ser desnecessária, ela pode ser utilizado por um vidente para dar instruções ao deficiente visual que esteja manipulando um objeto com textura;

6.3.2 Implementação de Objetos Geométricos

Foram implementados três objetos geométricos simples: círculo, triângulo e quadrado. Cada objeto é encapsulado em uma classe em C++, cuja hierarquia é apresentada na Figura 6.8b. Os objetos recebem eventos da interface (movimentos do *cursor*, pressionamento de botões do *joystick*, eventos do sistema gráfico, por exemplo, *repaint* etc) e são responsáveis por implementar o tratamento necessário. Cada objeto contém, entre outras informações:

- Referência para a textura, se houver;
- Métodos para implementar o início da manipulação do objeto (*AttachObject*), a manipulação em si (*InteractObject*) e finalização (*DetachObject*).
- Método de desenho (*Draw*). Apesar da representação visual ser desnecessária, ela pode ser utilizado por um vidente para dar instruções ao deficiente visual que esteja manipulando o objeto;
- Métodos para o cálculo da transformada de distância (*Distance*) e força reativa (*Force*).

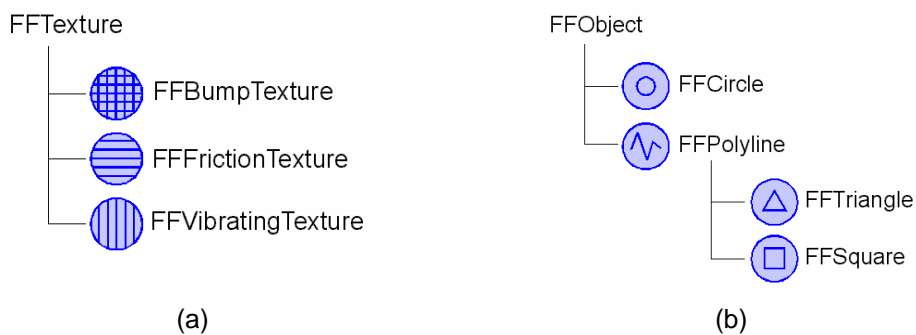


Figura 6.8: Hierarquia de Classes (Parcial) do Protótipo