



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE INFORMÁTICA  
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

CARLOS EDUARDO M. RODRIGUES

cemr@cin.ufpe.br

“UM DISPOSITIVO HÁPTICO DE AUXÍLIO À NAVEGAÇÃO  
PARA DEFICIENTES VISUAIS”

*TRABALHO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CENTRO DE  
INFORMÁTICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
PERNAMBUCO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A  
OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM CIÊNCIA DA  
COMPUTAÇÃO.*

ORIENTADORA: PROF. DR. JUDITH KELNER (jk@cin.ufpe.br)

CO-ORIENTADORA: PROF. DR. VERONICA TEICHRIEB (vt@dsc.upe.br)

RECIFE - BRASIL, FEVEREIRO DE 2006

*"For me, my disability is a fact and not a problem. I'm not living the life of a disabled person. For sure, I have to handle some things differently from other people. But it's not so different from the life of someone who is not disabled. In any case, who is really not disabled?"*

*"Para mim, minha deficiência é um fato, e não um problema". Eu não vivo a vida de uma pessoa com deficiência. Com certeza eu tenho que lidar com algumas coisas de uma maneira diferente das outras pessoas. Mas não é tão diferente da vida das pessoas sem deficiência. Em qualquer caso, quem realmente não é deficiente?"*

*Thomas Quasthoff, Cantor de Ópera*

## RESUMO

---

Estima-se que existam cerca de 40 milhões de pessoas cegas no mundo. Para muitas delas, o uso de bengalas ou de cães-guia pode ser suficiente para atingir destinos conhecidos. Entretanto, no caso de destinos novos, através de caminhos desconhecidos (e que podem mudar dinamicamente), a limitação desses instrumentos de auxílio torna-se evidente.

Com a proliferação de pesquisas em tecnologias sensíveis ao contexto, foram desenvolvidos diversos sistemas de auxílio à navegação. A maior parte desses sistemas, entretanto, dá *feedback* sonoro aos usuários, não podendo ser usados em ambientes com barulho intenso ou em situações em que ele precisa concentrar sua atenção em algum evento que use a audição.

Nesse contexto, os dispositivos hápticos surgem como uma alternativa ao uso do som, uma vez que interagem com o usuário através do tato. O objetivo deste trabalho é estudar a utilização de tecnologias hápticas na criação de sistemas de auxílio à navegação, com foco no usuário com deficiência visual.

**Palavras chaves:** dispositivos hápticos, tecnologias assistivas, realidade aumentada, sistemas de auxílio à navegação.

## **AGRADECIMENTOS**

---

À minha família, pelo apoio incondicional em todas as horas. Mesmo quando eu estava de mau humor.

Ao Bado, Guto e Ivan (em ordem alfabética, pra ninguém reclamar!), pela idéia, pelas discussões construtivas e pela minha viagem à Índia.

À Veronica, ou melhor, VT, pelos conselhos, puxões de orelha e pelo esforço para estar disponível sempre que eu preciso.

À Professora Judith, por me dizer exatamente o que eu preciso escutar, nas horas em que eu preciso escutar.

À Joma, Mouse, Saulo, Nacha, Dinaldo, Guilherme e o resto da galera do GPRT/GRVM, por terem segurado as pontas enquanto eu escrevia este trabalho.

À Abner, pela ajuda com a implementação do protótipo.

À Viviane e Taciana, minhas revisoras extra-oficiais.

Aos numerosos amigos (que não vou citar para não cometer injustiças e para manter este texto com menos de 1000 páginas!) que sempre acreditaram no meu trabalho e torceram por mim.

À Larissa, pelos lanches e chás quentinhos quando eu chegava do trabalho, que me incentivaram a seguir em frente.

Aos meus gatos, pela companhia noturna e pelos miados de apoio.

# CONTEÚDO

---

<b><u>CAPÍTULO 1</u></b>	<b><u>INTRODUÇÃO</u></b> .....	<b>9</b>
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	9
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO .....	11
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	11
<b><u>CAPÍTULO 2</u></b>	<b><u>DEFICIÊNCIA VISUAL E TECNOLOGIAS ASSISTIVAS</u></b> .....	<b>12</b>
2.1	CONSIDERAÇÕES SOBRE DEFICIÊNCIA VISUAL E ACESSIBILIDADE .....	12
2.2	TECNOLOGIAS ASSISTIVAS .....	14
2.2.1	TECNOLOGIAS ASSISTIVAS TRADICIONAIS .....	15
2.2.2	TECNOLOGIAS ASSISTIVAS DE SUBSTITUIÇÃO SENSORIAL.....	17
<b><u>CAPÍTULO 3</u></b>	<b><u>DISPOSITIVOS HÁPTICOS</u></b> .....	<b>20</b>
3.1	CONCEITOS BÁSICOS .....	20
3.2	ÁREAS DE APLICAÇÃO .....	23
3.2.1	TÉCNICAS DE INTERAÇÃO .....	24
3.2.2	JOGOS .....	24
3.2.3	TREINAMENTO MÉDICO .....	24
3.2.4	EXPOSIÇÕES DE MUSEUS .....	25
3.2.5	PINTURA, ESCULTURA E CAD .....	25
3.2.6	APLICAÇÕES MILITARES.....	26
3.2.7	TECNOLOGIAS ASSISTIVAS PARA DEFICIENTES VISUAIS .....	26
3.3	PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO DOS DISPOSITIVOS HÁPTICOS .....	27
3.3.1	SENSAÇÕES TÁCTEIS E CINESTÉSICAS .....	27
3.3.2	A PERCEPÇÃO HUMANA E AS INTERFACES HÁPTICAS .....	28
3.3.3	COMPONENTES DAS INTERFACES HÁPTICAS .....	29
<b><u>CAPÍTULO 4</u></b>	<b><u>SISTEMAS DE AUXÍLIO À NAVEGAÇÃO</u></b> .....	<b>31</b>
4.1	NAVEGAÇÃO DO PONTO DE VISTA HUMANO .....	32
4.2	COMPONENTES DOS SISTEMAS DE AUXÍLIO À NAVEGAÇÃO .....	36
4.2.1	UNIDADE DE POSICIONAMENTO E ORIENTAÇÃO .....	37

---

4.2.2	BASE DE DADOS ESPACIAL .....	39
4.2.3	INTERFACE COM O USUÁRIO.....	40
<b>4.3</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE AUXÍLIO À NAVEGAÇÃO .....</b>	<b>41</b>
4.3.1	SISTEMAS EXTERNOS .....	41
4.3.1.1	Personal Guidance System.....	41
4.3.1.2	Projeto MoBIC/MoTA.....	42
4.3.1.3	Personal Area Locator.....	43
4.3.1.4	Sistemas baseados em Baliza .....	43
4.3.2	SISTEMAS INTERNOS .....	44
4.3.2.1	Orientation by Electronic Navigation System.....	44
4.3.2.2	Personal Electronically-Recorded Speech-Output Navigation Aid .....	44
4.3.2.3	Mapas tácteis.....	45
4.3.3	SISTEMAS MISTOS.....	45
 <b><u>CAPÍTULO 5 VEYE: PROPOSTA DE UM DISPOSITIVO HÁPTICO .....</u></b>		<b><u>47</u></b>
5.1	DESCRIÇÃO DO VEYE .....	48
5.2	ARQUITETURA DO DISPOSITIVO.....	49
5.2.1	COMPONENTES DE HARDWARE .....	50
5.2.2	COMPONENTES DE SOFTWARE .....	52
5.3	DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO .....	52
 <b><u>CAPÍTULO 6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS .....</u></b>		<b><u>55</u></b>
 <b><u>REFERÊNCIAS .....</u></b>		<b><u>56</u></b>

## LISTA DE FIGURAS

---

FIGURA 1: UMA DEFICIENTE VISUAL E SEU CÃO-GUIA .....	16
FIGURA 2: UM <i>LARGE PRINT</i> TÍPICO.....	17
FIGURA 3: UM <i>EMBOSSER</i> (ESQUERDA) E UMA TELA BRAILE (DIREITA) .....	18
FIGURA 4: GRÁFICO TÁCTIL DE UM MAPA .....	18
FIGURA 5: FLUXO DE INFORMAÇÕES NA INTERAÇÃO COM UM <i>MOUSE</i> CONVENCIONAL E UM <i>MOUSE</i> HÁPTICO.....	21
FIGURA 6: EXEMPLOS DE DISPOSITIVOS HÁPTICOS TÍPICOS .....	23
FIGURA 7: O MOOSE.....	27
FIGURA 8: O JOGADOR NÃO DEIXA DE ASSOCIAR O VOLANTE EM SUAS MÃOS AO VOLANTE VIRTUAL, MESMO QUE ELE NÃO SEJA MOSTRADO NA CENA .....	29
FIGURA 9: COMPARAÇÃO ENTRE UMA VISÃO NORMAL (A) E DEFICIENTE (B, C E D).....	33
FIGURA 10: FLUXO DE EVENTOS DURANTE UMA VIAGEM.....	34
FIGURA 11: PROCESSO DE TRIANGULAÇÃO PARA RASTREAMENTO DE USUÁRIO.....	38
FIGURA 12: USO DE REALIDADE AUMENTADA PARA IDENTIFICAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE UM USUÁRIO .....	39
FIGURA 13: SISTEMA MOTTA .....	43
FIGURA 14: DEFICIENTE UTILIZANDO O DRISHTI .....	46
FIGURA 15: VISÃO SIMPLIFICADA DO VÉYE.....	50
FIGURA 16: MOTOR DC DE VIBRAÇÃO.....	50
FIGURA 17: <i>DRIVER</i> UNL2003.....	52
FIGURA 18: INTERFACE DO SIMULADOR DE INSTRUÇÕES.....	53
FIGURA 19: PULSEIRAS DO VÉYE .....	53
FIGURA 20: DSP DEVELOPMENT KIT, DA ALTERA .....	54

## **LISTA DE TABELAS**

---

TABELA 1: CLASSES DE INFORMAÇÃO CONTEXTUAL UTILIZADA POR PESSOAS COM E SEM DEFICIÊNCIA VISUAL.....	36
TABELA 2: CODIFICAÇÃO DAS INSTRUÇÕES DE NAVEGAÇÃO EM VIBRAÇÕES .....	49

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

De acordo com a Organização Mundial de Saúde, existem cerca de 40 milhões de pessoas cegas no mundo [WHO, 2002]. Muitas delas dependem de rotas repetitivas, com o menor número possível de obstáculos, para atingir destinos conhecidos. Porém, mesmo estes caminhos familiares não estão livres de perigos inesperados como calçadas molhadas, árvores caídas ou buracos abertos para a realização de algum tipo de serviço subterrâneo. Até certo ponto, o uso de bengalas ou de cães-guia é suficiente para contornar estes problemas.

A situação torna-se mais crítica no caso de destinos novos, através de caminhos desconhecidos e que podem mudar dinamicamente, como uma rua com tráfego de veículos. Nestes cenários, a limitação desses instrumentos de auxílio tradicionais torna-se evidente. Uma bengala, por exemplo, não é capaz de identificar obstáculos que estão a mais de um metro de distância ou acima da linha da cintura. Além disso, [PETRIE, 1995] demonstrou que esses mecanismos são úteis apenas em ajudar o deficiente visual dentro do ambiente imediato que o circunda (que ele classificou como micro-navegação), mas não tem serventia em contextos mais amplos, em que o usuário deseja se locomover através de grandes distâncias (macro-navegação).

Além dos deficientes visuais permanentes, existem situações em que um indivíduo com visão normal também enfrenta dificuldades para se locomover. Isso acontece quando, por exemplo, um turista que se encontra em país estrangeiro e não domina o idioma local precisa chegar a uma determinada localidade, ou quando bombeiros precisam se deslocar dentro de um prédio em chamas pouco conhecido. Em ambos os casos, o uso de um sistema de orientação portátil poderia ajudar o usuário a identificar o caminho correto a ser seguido.

A proliferação de pesquisas em *wearable computing* (computação “vestível”) tornou possível o desenvolvimento de diversas soluções de auxílio à navegação. Exemplos incluem guias turísticos eletrônicos que apresentam informações extras sobre atrações que o usuário esteja observando, sistemas de apoio à execução de operações militares e sistemas que indicam ao usuário o caminho a ser seguido entre dois locais dentro de um prédio. A maioria desses sistemas são, na verdade, aplicações de realidade aumentada, pois a percepção do mundo real é suplementada por informações provenientes do mundo virtual [SUTHERLAND, 1968].

A integração de *wearable computing* com tecnologias sensíveis ao contexto, ou seja,

---

capazes de identificar aspectos do estado interno ou externo do usuário, tem sido amplamente utilizada no desenvolvimento de sistemas de auxílio à navegação (SAN) destinados a deficientes visuais. [GOLLEDGE ET AL., 1998] descrevem como o uso deste tipo de tecnologias assistivas (TAs) tem o potencial de enriquecer o conhecimento do indivíduo a respeito do ambiente que o circunda, dando ao deficiente visual uma autonomia similar à de uma pessoa com plena capacidade visual que utiliza um mapa ou segue indicações visuais disponíveis.

No caso da micro-navegação, destacam-se as “bengalas virtuais”, como a LaserCane [KAY, 1980] ou dispositivos ultra-sônicos que acusam a presença de obstáculos no caminho [BRADYN, 1985]. Já em relação à macro-navegação, várias soluções foram propostas, que utilizam o GPS (*Global Positioning System*, ou Sistema de Posicionamento Global) em conjunto com Sistemas de Informações Geográficas (SIG ou GIS, do inglês *Geographical Information Systems*), como [GOLLEDGE ET AL., 1998]. SAN em ambientes internos, como o interior de um edifício ou de uma residência, também foram desenvolvidos. Uma vez que tecnologias como GPS não podem ser utilizadas nestes cenários, a maior parte destes sistemas depende de informações de posicionamento provenientes de sensores previamente instalados.

A maior parte dos sistemas citados acima fornecem *feedback* exclusivamente sonoro aos usuários. Esta característica impõe uma limitação contundente aos mesmos: eles não podem ser usados em ambientes com barulho intenso (comum aos bairros movimentados nas cidades grandes) ou em situações em que o usuário precisa concentrar sua atenção em algum evento que use a audição (enquanto fala ao telefone celular durante uma caminhada, por exemplo). Outro agravante para o uso deste tipo de interação com o usuário é o fato de que o som gerado pelo sistema pode mascarar ou distorcer sons do ambiente que são essenciais para evitar perigos iminentes, conforme concluíram [STROTHOTTE ET AL., 1996]. Além disso, [PITT & EDWARDS, 1996] demonstraram que as interfaces baseadas na audição são mais lentas e demandam um maior esforço mental do usuário do que as que utilizam a visão ou o toque. Por fim, [ROSS & BLASCH, 2000] comprovaram que a melhor interface é aquela que combina *feedback* tátil com uma interface sonora.

Desta forma, os dispositivos hápticos surgem como mais um meio pelo qual o usuário pode perceber o mundo à sua volta, uma vez que interagem com o usuário através do tato. Eles podem servir como alternativa à utilização de interfaces gráficas ou sonoras, ou mesmo integrar soluções híbridas, preenchendo as lacunas deixadas por outras formas de *feedback*. Como são discretos, podem ser integrados de forma transparente em quase todas as funções desempenhadas diariamente por um ser humano, além de facilitarem a adaptação de indivíduos que apresentam uma maior afinidade com experiências cinestésicas (relacionadas

às sensações corporais como tato e movimentação muscular). Além disso, o custo da utilização desta tecnologia caiu consideravelmente nos últimos anos, e hoje está incorporada em diversos objetos presentes no cotidiano, como telefones celulares, que vibram para alertar o usuário de algum evento, ou *joysticks* com *force feedback*.

A eficácia da utilização de tecnologias hápticas neste contexto foi demonstrada em diversos trabalhos. [BOSMAN ET AL., 2003] desenvolveram um dispositivo chamado GentleGuide, para auxiliar pedestres sem necessidades especiais a se locomoverem dentro de ambientes internos, como um hospital. [ERTAN ET AL., 1998] também desenvolveram uma solução semelhante. [BRADLEY & DUNLOP, 2002 A] constataram que deficientes visuais se adaptaram melhor à recepção de informações contextuais quando o *feedback* incluía estímulos tácteis.

## **1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO**

O objetivo deste trabalho é estudar a utilização de TAs na melhoria da qualidade de vida de deficientes visuais. Mais especificamente, serão analisados os benefícios da utilização de *feedback* háptico na criação de SAN, visando à concepção de uma solução integrada que possa ser usada em ambientes internos e externos. Além disso, será desenvolvido um dispositivo háptico na forma de uma pulseira, chamado vEye (de *virtual eye*, ou olho virtual), para ser integrado com a solução proposta.

## **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

No capítulo 2, serão tecidas algumas considerações sobre o problema da deficiência visual. Além disso, será apresentado o estado-da-arte em TAs para deficientes visuais. No capítulo 3 e no capítulo 4, serão feitos estudos semelhantes no tocante a dispositivos hápticos e a SAN, respectivamente.

Já o capítulo 5 apresenta a proposta de um dispositivo háptico que poderia ser usado com SAN, bem como detalhes da sua implementação. Por fim, o capítulo 6 expõe as conclusões obtidas com a realização deste trabalho, bem como enumera trabalhos futuros decorrentes deste aqui apresentado.

## **CAPÍTULO 2**

# **DEFICIÊNCIA VISUAL E TECNOLOGIAS ASSISTIVAS**

---

### **2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE DEFICIÊNCIA VISUAL E ACESSIBILIDADE**

A visão pode ser considerada, com justiça, como o sentido dominante da espécie humana. Praticamente metade da área física do cérebro é dedicada a ela, e cerca de 70% da sua capacidade de processar informações sensoriais é usada para lidar com estímulos visuais. Estudos recentes em percepção visual revelaram que os seres humanos tendem a dar uma atenção maior a estes estímulos [SHAMS, 2000]. Em seu trabalho, [SHORE ET AL., 2000] provaram que quando ocorre um conflito entre as informações oriundas da visão e dos outros sentidos, a percepção geral é determinada pela primeira.

Além destas características do sistema sensorial humano, também existem influências visuais nos termos com os quais os homens descrevem o mundo. Muitas vertentes da cultura moderna privilegiam o visual, diminuindo o papel dos outros sentidos. [MCLUHAN, 1962] sugeriu que a invenção da imprensa desempenhou um papel fundamental neste processo. Segundo ele, a transmissão de informação textual deixou de ser uma experiência compartilhada, multi-sensorial, para se tornar uma experiência privada e fundamentalmente visual.

O evidente domínio da visão sobre os sentidos e sobre as manifestações culturais humanas torna bastante complicada a execução de tarefas simples do cotidiano pelo deficiente visual. Locomover-se, procurar objetos, vestir-se, tudo tem um grau de dificuldade acentuado. Entretanto, o desenvolvimento dos outros sentidos, como o tato e audição, aliados ao uso de alguns objetos adaptados ou especialmente projetados para eles, como bengalas e livros, pode contribuir para que eles levem uma vida praticamente normal.

Infelizmente, condição física do portador de deficiência dificulta, quando não impede, a sua participação em diversas atividades que são comuns aos indivíduos inafetados, como o acesso à tecnologia, por exemplo. Isso acontece principalmente porque a indústria, tradicionalmente, não tem interesse econômico no projeto de bens que também possam ser utilizados por pessoas com deficiência, seja ela visual, motora ou auditiva. O principal argumento é que os custos envolvidos neste tipo de projeto são muito elevados, e que os benefícios são destinados a um mercado muito pequeno [GLINERT & YORK, 1992].

Justificativas como essas fazem parte do dia-a-dia dos desenvolvedores de interfaces homem-computador (IHC), que têm historicamente enfrentado uma resistência inicial ou mesmo uma oposição à introdução de processos de IHC no desenvolvimento de produtos.

Entretanto, da mesma forma que a filosofia de projeto das empresas deve ser modificada para aceitar as técnicas de IHC, o conceito de usuário deve ser modificado para reconhecer as necessidades de pessoas com deficiência.

Essa visão tradicional das ‘deficiências’ dos usuários, porém, é bastante simplista. Primeiramente, o mercado de usuários com algum tipo de limitação física não é tão restrito quanto se imagina. Citando apenas dados referentes à visão, provenientes de um estudo realizado pela Organização Mundial de Saúde em 2002, existem mais de 160 milhões de deficientes visuais no mundo, sendo 40 milhões cegos [WHO, 2002]. De acordo com [VANDERHEIDEN, 1990], 30% dos deficientes que querem trabalhar estão desempregados, muitas vezes porque a sua deficiência os impede de executar determinados tipos de trabalho em equipamentos não adaptados.

Além disso, as capacidades de todos os usuários variam dependendo da sua idade, das suas atividades e do ambiente. Conforme a população se aproxima da terceira idade, aumenta o número de usuários que precisam de óculos e lentes de contato. Muitos deles também experimentam uma perda na capacidade auditiva, e podem não ouvir sons de alerta de algum *software*. À medida que envelhecem, é natural, portanto, que os seres humanos passem a ter algum tipo de deficiência relacionada com a idade [ZASLAVSKY & GUS, 2002].

Além de enfrentar as conseqüências naturais do envelhecimento, algumas pessoas podem enfrentar mudanças súbitas nas suas capacidades. Se um usuário de computador cai e quebra o pulso, por exemplo, passará várias semanas com as mesmas condições de uso que um usuário com o braço atrofiado. Uma pessoa com visão normal que trabalhou por muitas horas seguidas ou um deficiente visual que perdeu suas lentes de contato podem ter dificuldade para ler textos com fontes pequenas. Por fim, qualquer usuário que dispõe de todas as suas habilidades motoras pode sofrer um acidente que resulte em deficiência física, temporária ou permanente.

Na verdade, um número significativo de requisitos para pessoas com deficiência se aplica a qualquer usuário, dependendo do contexto. Como já foi discutido, usuários amputados, com paralisia permanente ou com lesão decorrente de esforços repetitivos têm necessidades semelhantes. Se um motorista não pode olhar alguma tela enquanto dirige, e outra pessoa não pode olhar para a mesma tela porque é portadora de deficiência visual, os requisitos mais uma vez não mudam. Ainda, o fato de uma pessoa não poder escutar algum som específico porque fala ao telefone, presta atenção ao seu trabalho, ou porque é surda, não modifica o fato de que ela precisa de uma fonte alternativa de informação. Conforme observou [MCMILLAN, 1992], “do ponto de vista de um computador, todos os usuários são amputados”.

Felizmente, o cenário discutido acima tem mudado nos últimos anos. A sociedade como um

---

todo tem se conscientizado da importância da inclusão digital, com ênfase nos indivíduos que apresentam algum tipo de deficiência. Cada vez mais, os governos têm criado leis para amparar estes cidadãos, com o objetivo de simplificar o acesso à informação, facilitar a sua locomoção e garantir empregos, entre outros. A lista de países que adotaram alguma política semelhante cresce a cada dia, incluindo países como Austrália, Brasil, Canadá e Estados Unidos, além da União Européia. No caso específico do Brasil, está em fase final de elaboração o decreto que regulamentará as Leis Federais números 10.048 e 10.098, ambas de 2000, que tratam da acessibilidade da pessoa portadora de deficiência e da pessoa com mobilidade reduzida [LEI 10048, 2000], [LEI 10098, 2000]. Também vale destacar a chamada “Seção 508”, uma emenda à constituição americana criada em 1998 que obriga os órgãos do governo a tornarem seus recursos eletrônicos e informações acessíveis a pessoas com deficiência

[SECTION 508, 1998].

A acessibilidade, no tocante a usuários com deficiência, também tem recebido atenção especial dos estudiosos de IHC, o que provocou uma modificação na noção de acessibilidade. O GNOME Accessibility Project estabelece que prover acessibilidade é “remover barreiras que impedem as pessoas com deficiências de participar de várias atividades sociais, incluindo o uso de serviços, produtos e informações” [GAP, 2002]. Este processo levou ao surgimento do *Universal Design* (em português, projeto universal) [UDESIGN, 1999].

Os projetos tradicionais de IHC têm procurado atender as necessidades do usuário “médio”. O problema com esta abordagem é que o usuário médio simplesmente não existe, uma vez que cada pessoa tem requisitos diferentes ao utilizar um dispositivo ou sistema computacional qualquer. O *Universal Design* procura atender às mais diversas capacidades dos usuários. Como exemplos, podem ser citados fechos com velcro e portas automáticas. Mesmo sem o uso de nenhuma TA (ver seção 2.2), pessoas que antes eram incapazes de amarrar os sapatos ou abrir uma porta podem realizar estas tarefas, enquanto “o resto” dos usuários também pode completá-las sem problemas. A idéia não é que todos os usuários poderão usar todos os dispositivos, e sim redefinir o conceito de usuário, pois um número maior de usuários pode ser acomodado sem esforço considerável.

## **2.2 TECNOLOGIAS ASSISTIVAS**

A “Seção 508” define TA como “qualquer item, equipamento ou sistema, adquirido comercialmente, modificado ou customizado, que é usado para aumentar, manter ou melhorar capacidades funcionais de indivíduos com deficiência”

[SECTION 508, 1998]. A definição, apesar de bastante abrangente, é usada no contexto da mesma para referenciar ferramentas usadas para melhorar ou aumentar a funcionalidade

da tecnologia da informação.

TAs podem ser baseadas em *software* ou *hardware*. Soluções em *software* incluem opções de acessibilidade em um sistema operacional ou programas como leitores de tela. Já soluções de *hardware* incluem desde simples pesos de papel a produtos de última geração como telas de computador em braile. O tipo de artefato a ser usado por cada usuário depende da natureza da sua deficiência.

Um grande número de produtos foi desenvolvido para pessoas com deficiência visual. Nas seções 2.2.1 e 2.2.2, será dada uma visão geral das TAs de maior relevância para deficientes visuais. A lista inclui os dispositivos tradicionais (como bengalas e lentes de aumento), bem como tecnologias mais recentes associadas com o computador (como sintetizadores de voz e telas em braile) ou autônomas (bengalas virtuais e SAN).

Existem várias maneiras de classificar TAs. Uma distinção entre auxílios computacionais e não-computacionais foi feita acima. Uma abordagem alternativa, baseada em como a tecnologia se relaciona com a deficiência do usuário, poderia classificá-las da seguinte maneira:

- **Implante sensorial:** incluem o que há de mais novo nas pesquisas da medicina moderna, onde a visão perdida é substituída por um meio artificial de visão. Um exemplo é o implante de retina desenvolvido recentemente, em que duas pequenas câmeras foram dispostas em um par de óculos, permitindo que o usuário enxergasse alguns pontos de luz [BROOKMAN, 2000]. Este tipo de TA está fora do escopo deste trabalho.
- **Aumento sensorial:** inclui tecnologias bem estabelecidas que melhoram a capacidade visual existente através da utilização de algum equipamento especial, que normalmente é portátil. Exemplos óbvios incluem lentes de aumento ou óculos, mas aplicações de computador como a lente de aumento virtual do Microsoft Windows também estão incluídas nesta categoria.
- **Substituição sensorial:** envolve tecnologias que substituem a visão perdida por outras modalidades sensoriais. Na maior parte dos casos, os sentidos substitutos são a audição e o tato. As TAs desta categoria serão apresentadas na seção 2.2.2.

### **2.2.1 TECNOLOGIAS ASSISTIVAS TRADICIONAIS**

Cegos e outros deficientes visuais têm feito uso, por vários anos, de vários tipos de dispositivos para ajudá-los no cotidiano:

- **Bengalas:** amplamente utilizadas por pessoas cegas para navegar em

ambientes externos. As maiores desvantagens do seu uso advêm do fato de os usuários não conseguirem andar em linha reta sem algum tipo de *feedback* externo e o fato de não ser possível detectar perigos acima da linha da cintura. Pesquisas recentes têm focado no desenvolvimento de variações eletrônicas da bengala tradicional, como a LaserCane [KAY, 1980].

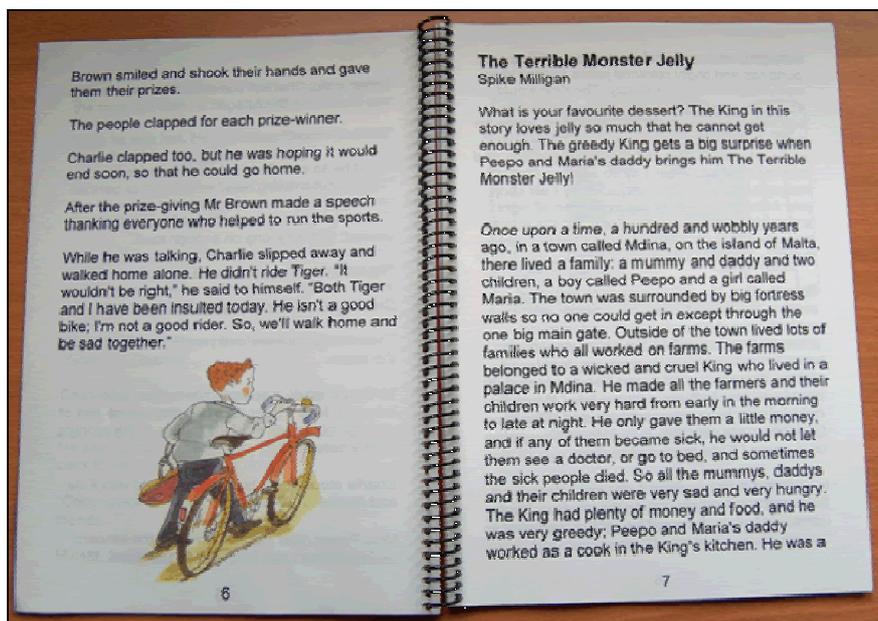
- **Cães-guia:** estes cães treinados são excelentes para ajudar pessoas cegas a se locomover em ambientes complexos ao mesmo tempo em que evitam obstáculos. Além disso, a companhia do animal pode servir como terapia para o deficiente, que tradicionalmente possui um círculo de amizades restrito. Apesar da atual legislação brasileira dar ao portador de deficiência visual e ao seu cão o direito de trafegar em qualquer área de circulação pública, muitas vezes este direito é negado, devido a regulamentos de alguns estabelecimentos como *shopping centers* e restaurantes. Um cão guia típico pode ser visto na Figura 1.



Figura 1: Uma deficiente visual e seu cão-guia

- **Large prints, ou livros com fontes aumentadas:** úteis para quaisquer pessoas com visão reduzida. Algumas bibliotecas possuem versões “ampliadas” de livros populares. Contudo, material técnico mais específico deve ser produzido sob encomenda. Com a redução do custo dos computadores pessoais e impressoras, é relativamente fácil produzir versões ampliadas de documentos digitais. Um exemplo destes livros pode ser visto na Figura 2.
- **Livros em áudio ou em braille:** é cada vez mais comum a disponibilização de livros em formato de áudio ou braille. Assim como no caso dos livros com fontes aumentadas, qualquer material específico precisa ser encomendado. Documentos digitais podem ser lidos com o uso de algum sintetizador de voz,

ou mesmo impressos com uma impressora especial, como mostrado na seção 2.2.2.



**Figura 2: Um large print típico**

### **2.2.2 TECNOLOGIAS ASSISTIVAS DE SUBSTITUIÇÃO SENSORIAL**

Praticamente todas as tecnologias de substituição sensorial atuais são relacionadas com computadores, embora várias delas (como gráficos tácteis, *displays* em braile e gravadores de voz) tenham suas origens em tecnologias “pré-digitais”. A maior parte dessas tecnologias envolve a substituição da visão pelo som, mas as duas primeiras descritas a seguir usam o tato:

- **Dispositivos de saída em braile:** o braile é, sem dúvida, a TA mais conhecida. Existem vários dispositivos de saída que produzem braile, como impressoras e telas. As impressoras braile, também chamadas de *embossers*, funcionam de maneira similar às impressoras convencionais. Antes de serem usadas, porém, é preciso utilizar um *software* leitor de tela para converter o texto convencional num formato aceito pelo *embosser*. Já as telas braile são dispositivos conectados à porta serial ou ao barramento USB (*Universal Serial Bus*) de um computador que mostram o texto do que seria exibido numa tela convencional em uma fileira de 40 a 80 “caracteres”, formados por grupos de pinos. A configuração desses pinos muda conforme o usuário navega pelo texto. Ambos os dispositivos podem ser vistos na Figura 3.



**Figura 3: Um embosser (esquerda) e uma tela braille (direita)**

- **Gráficos tácteis:** apresentam informações tipicamente gráficas, como mapas, diagramas e fotografias através de “desenhos” em alto relevo, para serem lidas através do tato, de forma similar ao braille. Outras formas de *feedback* foram desenvolvidas, como vibração ou estímulos elétricos fornecidos por dispositivos nas pontas dos dedos. Apesar da intensa pesquisa, entretanto, tais tecnologias são raramente usadas por deficientes visuais no cotidiano, como mostrou [KACZMAREK, 1991]. Um exemplo de gráfico táctil pode ser visto na Figura 4.



**Figura 4: Gráfico táctil de um mapa**

**Leitores de tela:** este tipo de *software* extrai texto de *softwares* convencionais (programas de escritório, por exemplo) ou de páginas *web* em um navegador de tal forma que ele possa ser passado a um *embosser* ou a um sintetizador de voz. No caso de navegação pela internet, alguns usuários preferem a utilização de um navegador com síntese de voz embutida, como o PWWebspeak [PWWEBSPEAK, 2006]. Para que este tipo de *software* funcione corretamente, o texto disponível na tela deve ser adequado. Os desenvolvedores de páginas *web* e de *softwares* de propósito geral devem procurar maximizar a quantidade de informações que podem ser acessadas por usuários deficientes visuais. A Microsoft

disponibilizou uma tecnologia chamada de *Active Accessibility*, para facilitar este processo em aplicações Windows [MSACCESSIBILITY, 2006]. Um dos leitores de tela mais conhecidos é o JAWS (*Job Access with Speech for Windows*)

- [JAWS, 2006].
- **Sintetizadores de voz:** síntese de voz pode ser oferecida por *hardware* dedicado ou por *software text-to-speech*, que apresentam o conteúdo textual de arquivos e os elementos na tela (como menus e janelas) através de uma saída sonora equivalente à voz humana. Muitos sistemas operacionais modernos já incluem programas de síntese de voz em suas instalações padrão. Um sintetizador de voz chamado DosVox foi desenvolvido por pesquisadores na Universidade Federal do Rio de Janeiro [DOSVOX, 2006]. Um dos diferenciais do DosVox em relação a *software* similar é que ele conta com programas exclusivos, otimizados para utilização com o sistema.
- **Imagens sonoras:** a “sonificação” da imagem envolve a conversão de informação em sons. Uma abordagem inovadora para este problema é o sistema vOICE, desenvolvido por Peter Meijer [MEIJER, 2000]. Basicamente, ele “lê” imagens impressas ou na tela, como fotos ou gráficos. Uma combinação de *hardware* e *software* permite que o vOICE converta informações gráficas em som utilizando duas variáveis: profundidade e volume para representar informações verticais e brilho, respectivamente, enquanto sons de “cliques” são usados para representar informações horizontais. Um outro sistema em desenvolvimento é o Smartsight [SMARTSIGHT, 2006], que converte as formas físicas capturadas por uma câmera em melodias que o deficiente visual escuta através de fones de ouvido. Uma observação importante sobre as TAs de “sonificação” da imagem é que os deficientes visuais demoram um tempo considerável até aprender a interpretar os sons de forma eficiente.
- **SAN:** ao contrário dos outros sistemas apresentados, estes são destinados, em geral, ao uso em ambientes externos, embora alguns deles sejam destinados a ambientes internos. Funcionam de maneira semelhante aos sistemas de “sonificação” discutidos acima, traduzindo as informações do ambiente em informações que são interpretadas pelo usuário. Os SAN têm sido objetos de pesquisa e desenvolvimento por muitos anos [FOULKE, 1986], e constituem o foco deste trabalho. O capítulo 4 é dedicado ao estudo desses sistemas.

## **CAPÍTULO 3**

# **DISPOSITIVOS HÁPTICOS**

---

A palavra “háptico” se refere à capacidade de sentir um ambiente mecânico natural ou sintético através do tato. No ser humano, este sentido possui dois componentes independentes, o cutâneo e o cinestésico. O primeiro está ligado aos sensores localizados na superfície da pele, que são responsáveis por sensações tais como pressão, temperatura, vibração e dor. O segundo está ligado aos sensores localizados nos músculos, tendões e juntas. São responsáveis por sensações tais como movimento e força [OAKLEY ET AL., 2000]. Ao tocar e mover um objeto qualquer, o indivíduo terá diversas sensações que serão convertidas pelo cérebro em informação cutânea e cinestésica [KLATZKY & LEDERMAN, 2000]. Isto permite ao indivíduo inferir propriedades deste objeto, tais como textura (de acordo com a análise da informação cutânea) e características gerais, tais como peso e forma (de acordo com a análise da informação cinestésica).

Antes da disseminação do uso de computadores nos locais de trabalho, praticamente todas as atividades humanas envolviam o uso de habilidades motoras, como escrever e desenhar gráficos. As interfaces de computador, entretanto, não fizeram uso adequado destas capacidades fundamentais dos seres humanos. Com exceção de alguns dispositivos de entrada como o *mouse* ou *joysticks*, a interação entre o usuário e o computador depende de habilidades similares às necessárias para se usar uma máquina de escrever. Os dispositivos hápticos podem ser vistos como uma alternativa para sanar estas limitações.

Neste capítulo, serão apresentados alguns conceitos básicos relacionados com dispositivos hápticos, bem como demonstradas algumas possíveis áreas de aplicação desta tecnologia. Além disso, serão discutidos alguns princípios de operação destes dispositivos.

### **3.1 CONCEITOS BÁSICOS**

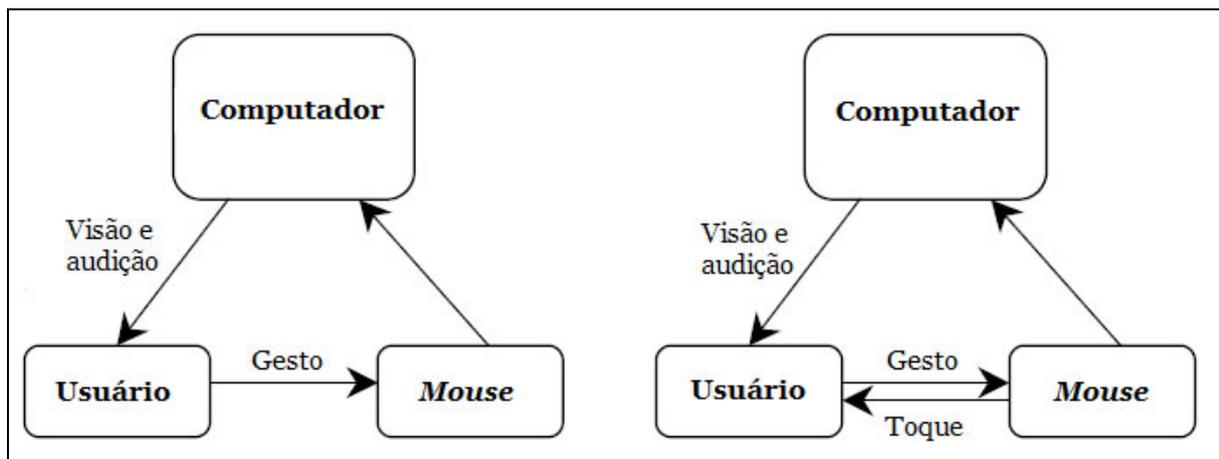
Ao contrário das interfaces tradicionais, as interfaces hápticas geram sinais mecânicos que estimulam os componentes cutâneos e cinestésicos discutidos anteriormente. Além disso, elas dão aos usuários a capacidade de agir sobre o ambiente. Dessa forma, é possível definir os dispositivos hápticos como sendo interfaces homem-computador que associam gestos ao toque e à cinestesia, com o intuito de prover um meio de comunicação mais natural entre homens e máquinas.

Uma característica fundamental desses dispositivos é a programabilidade. Este conceito refere-se à capacidade que os dispositivos hápticos têm de modificar suas propriedades mecânicas e físicas através de comandos provenientes do computador. Com

isso, cria-se a possibilidade de uma troca bidirecional de energia (e conseqüentemente de informação) entre o usuário e o sistema.

Uma maneira simples de entender melhor essa característica é comparar um *mouse* convencional com um *mouse* equipado com tecnologia háptica, como o WingMan da Logitech [WINGMAN, 2006]. Com um *mouse* típico, o fluxo de informações tem apenas uma direção, do usuário para o computador. Dessa forma, o usuário praticamente não recebe informações sobre os seus movimentos, embora a inércia e a fricção do dispositivo com a superfície o auxiliem a executar os movimentos necessários. Os seus botões, ao contrário, são consideravelmente mais ricos do ponto de vista da interação, pois apresentam certa resistência e produzem um som característico para indicar que ocorreu uma mudança de estado. De qualquer forma, os botões não são programáveis.

O *mouse* háptico, por outro lado, pode dar ao usuário um *feedback* programável baseado no tato, permitindo uma interação mais rápida e mais intuitiva com a máquina. A Figura 5 ilustra ambos os cenários: do lado esquerdo, tem-se o fluxo de informações no caso do uso de um *mouse* convencional. Do lado direito, o uso do *mouse* háptico.



**Figura 5: Fluxo de informações na interação com um *mouse* convencional e um *mouse* háptico**

Todos os objetos, naturais ou artificiais, podem ser inanimados ou animados. Os inanimados (ou inertes) podem apenas dissipar energia mecânica, enquanto os animados podem fornecer algum tipo de energia. Da mesma forma, podem existir dois tipos de dispositivos hápticos, convencionalmente denominados passivos ou ativos, apesar de ambos compartilharem o fato de serem programáveis.

Dispositivos passivos são geralmente projetados para terem uma dissipação programável, como função da posição ou do tempo. Pertencem a esta categoria dispositivos que possuem velocidade programável. Outra categoria de dispositivos passivos inclui aqueles capazes de modificar seu comportamento elástico, ou seja, modificar sua consistência.

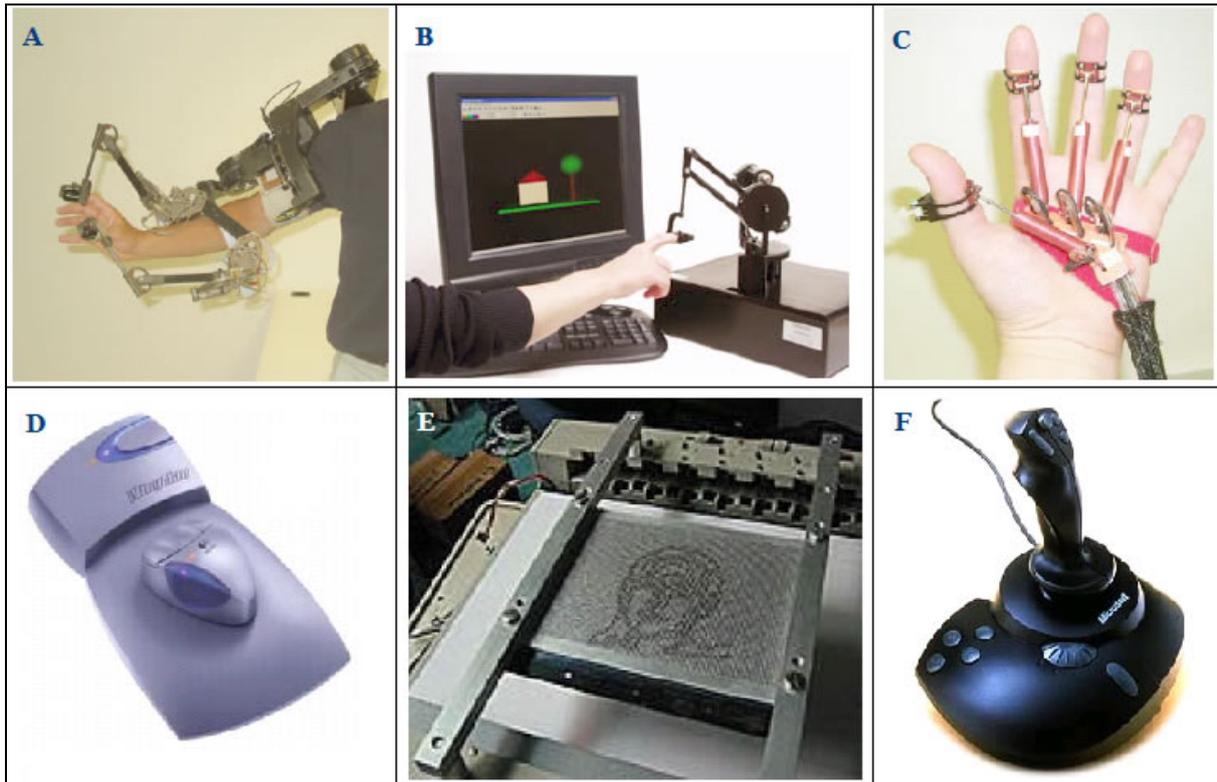
---

Dispositivos ativos são aqueles em que a troca de energia entre o usuário e a máquina é um fruto exclusivo da forma em que o *feedback* é fornecido. Assim, pode-se dividi-los em duas categorias. Nos dispositivos ativos isotônicos, os atuadores no dispositivo funcionam como uma fonte de força, e a posição é então medida. Nos isométricos, a posição é fornecida e a seguir a força é medida. Assim, percebe-se que, nos primeiros, a força que o dispositivo aplica não muda com a posição, enquanto que nos últimos a sua posição não muda com a força aplicada pelo usuário.

Normalmente, deseja-se que os dispositivos hápticos ativos sejam usados em ambientes artificiais, de tal forma que estes ambientes sejam passivos, como na simulação de uma cirurgia. O sucesso deste tipo de aplicação representa, porém, um desafio considerável [MAHVASH & HAYWARD, 2003]. Entretanto, a habilidade para criar uma situação ativa temporária pode ser bastante útil para aumentar o fluxo de informação entre a máquina e o usuário. Por exemplo, simular o comportamento de um volante em um jogo requer que a interação seja ativa, uma vez que dispositivos passivos não podem criar simulações. Finalmente, deve-se ter em mente que existe a possibilidade de interações instáveis entre ambientes passivos (rolar um tronco de madeira num ambiente virtual, por exemplo), caso o usuário não possua a energia necessária para executar a tarefa até o fim.

Em suma, independentemente da abordagem usada em um projeto, a bidirecionalidade é a característica que mais facilmente distingue os dispositivos hápticos, quando comparados com outras interfaces. Esta observação explica em parte a razão pela qual eles criam uma sensação de imediatismo no usuário, que foi bastante explorada nas primeiras aplicações desta tecnologia, como mostra a seção 3.2. Um dispositivo háptico precisa ser projetado para receber estímulos da mão humana (ou do pé, ou de qualquer outra parte do corpo) ao mesmo tempo em que gera estímulos para ela. A recepção de estímulos tem sido extensivamente explorada e vários tipos de dispositivos existem atualmente, como dispositivos apontadores, botões e *joysticks*. A geração de estímulos, no entanto, é consideravelmente mais difícil de ser alcançada de forma satisfatória.

Alguns exemplos de dispositivos hápticos são mostrados na Figura 6. O dispositivo mostrado na Figura 6A, é um exoesqueleto, que é capaz de limitar os movimentos dos usuários, em resposta a acontecimentos no mundo virtual. A Figura 6B mostra um Phantom, produto bastante comum em laboratórios de pesquisa em tecnologias hápticas [MASSIE & SALISBURY, 1994]. Na Figura 6C, é mostrada uma luva com *force feedback*. A Figura 6D apresenta o *mouse* WingMan. Uma tela táctil para imagens pode ser vista na Figura 6E. Por fim, a Figura 6F ilustra um *joystick* com *force feedback*, dos tipos mais comuns de dispositivos hápticos disponíveis comercialmente.



**Figura 6: Exemplos de dispositivos hápticos típicos**

### 3.2 ÁREAS DE APLICAÇÃO

Interfaces gráficas de programas de computador demonstram que a apresentação interativa de dados não precisa necessariamente imitar a realidade, nem mesmo remotamente. O que importa, acima de tudo, é que elas sejam intuitivas. Menus e barras de rolagem não podem ser encontrados em lugar algum a não ser em telas de computador. Arquivos de documentos reais não possuem pastas infinitas em seu interior. O mesmo princípio se aplica às interfaces hápticas. Por exemplo, as forças sentidas ao movimentar objetos reais, com exceção de forças magnéticas ou de inércia, ocorrem quando estes objetos tocam uns aos outros. Com dispositivos hápticos pode-se perfeitamente sugerir uma relação entre os objetos, mesmo que eles visualmente pareçam não estar relacionados, como acontece nos jogos.

Alternativamente, algumas aplicações demandam uma significativa fidelidade às tarefas que estão sendo recriadas ou simuladas. Em outras palavras, os dispositivos hápticos podem ser projetados para oferecer uma reprodução literal do fenômeno que ocorre durante a manipulação real. Esta busca pelo realismo é essencial em aplicações voltadas ao desenvolvimento de habilidades motoras como a execução de cirurgias. Dessa forma, é importante ter estas diferenças em mente quando se analisam as aplicações de dispositivos hápticos. Nas subseções seguintes, várias soluções foram reunidas em termos de áreas de

---

aplicação.

### **3.2.1 TÉCNICAS DE INTERAÇÃO**

Uma aplicação óbvia desses dispositivos é a interface com o usuário, em especial no que se refere às técnicas de interação, que basicamente são os procedimentos pelos quais são realizadas operações simples como abrir e fechar janelas, arrastar um objeto virtual ou selecionar um item de um menu [KIRKPATRICK & DOUGLAS, 1999]. De fato, técnicas de interação têm sido uma aplicação popular de dispositivos hápticos, como o *mouse* WingMan, que fornece *force feedback* a janelas, barras de rolagem e similares.

A inclusão de objetos palpáveis em ambientes virtuais ou de realidade aumentada, através da utilização de luvas hápticas, pode aumentar o sucesso da interação do usuário com o ambiente [ADELSTEIN & ELLIS, 2000]. Além disso, essa tecnologia também pode ser usada para restringir a interação do usuário com os elementos da tela, por exemplo, afastando-o de áreas improdutivas com o objetivo de melhorar o desempenho em uma tarefa específica, ou ainda dificultando a sua capacidade de executar operações possivelmente danosas, através do aumento da resistência do dispositivo àquela ação.

### **3.2.2 JOGOS**

Modos de interação e a sensação de imersão são consideravelmente melhorados com a aplicação de *force feedback* ao usuário. Jogos que testam a destreza do usuário, antes disponíveis em formas estáticas podem agora ser infinitamente programáveis: posicionamento, equilíbrio, precisão, entre outros. Além disso, várias possibilidades existem para jogos educacionais. É possível ilustrar conceitos em dinâmica, cinemática, magnetismo, ondulatória, e em muitos outros fenômenos físicos, ou ainda em matemática ou anatomia. Outros tipos de jogos incluem aqueles que reproduzem restrições visuais e mecânicas, como em simuladores de vôo ou de direção, amplamente disponíveis comercialmente.

### **3.2.3 TREINAMENTO MÉDICO**

O uso de interfaces hápticas na criação de simuladores voltados para o treinamento de profissionais da área de saúde tem recebido atenção especial por parte dos pesquisadores da área. A principal motivação é o fato de que simulações não colocam a vida de pacientes em risco, além de serem executadas em um ambiente controlado, sendo possível criar situações específicas de acordo com o objetivo do treinamento. Além disso, a tecnologia pode melhorar consideravelmente a experiência dos cirurgiões que operam ou diagnosticam pacientes à distância.

[LANGRANA ET AL., 1997] usaram com sucesso um dispositivo háptico em uma

---

simulação de apalpação de tumores de fígado. Eles modelaram os tumores como esferas rígidas dentro de esferas maiores e mais largas, que representariam o órgão humano. Forças realistas eram aplicadas pelo dispositivo à medida que a mão virtual encontrava os “tumores” e que a tela exibia a deformação correspondente no tecido. Outro exemplo significativo é o sistema de simulação física para exames de ultra-sonografia desenvolvido [D'AULIGNAC & BALANIUK, 1999], que combina interfaces gráficas detalhadas com interfaces hápticas. [IWATA & HASHIMOTO, 1997] reportaram a criação de um simulador de cirurgias que possuía um tecido sintético com atuadores que poderia ser “cortado” como um tecido real.

Entretanto, apesar das promissoras potencialidades que este tipo de aplicação parece oferecer, existem poucos testes sistemáticos para simuladores como os descritos acima. [GRUENER, 1998], em um dos poucos relatórios com dados reais, expressa reservas sobre a aplicação mais ativa de dispositivos hápticos na medicina. Por exemplo, ele descobriu que os participantes de uma sessão de ultra-som remoto não usufruíram a adição de *feedback* tátil ao procedimento.

### **3.2.4 EXPOSIÇÕES DE MUSEUS**

Embora ainda não seja comum, alguns museus estão explorando métodos para digitalização em três dimensões de artefatos valiosos do seu acervo, bem como objetos das suas coleções de esculturas, e disponibilizando tais imagens para o público em geral, como fez o Museu Canadense da Civilização [SHULMAN, 1998].

No entanto, poucos museus estão usando o grande potencial das tecnologias hápticas para permitir que visitantes acessem tais acervos digitais de uma forma mais natural. A política de impedir a manipulação dos objetos, embora seja necessária para aumentar a durabilidade dos objetos, limita a apreciação desses artefatos, pois uma compreensão aprofundada dos mesmos depende do tato assim como depende da visão. Interfaces hápticas podem permitir uma apreciação completa de objetos tridimensionais, sem prejudicar o acervo real, permitindo que museus, institutos de pesquisa e colecionadores possam dar ao público um veículo de exploração que não seria permitido de outra forma [MCLAUGHLIN ET AL., 2000]. Além disso, permitem que estudantes e pesquisadores interajam remotamente e em tempo real com funcionários do museu, com o objetivo de opinar sobre um determinado artefato com o qual tem maior experiência [HESPANHA ET AL., 2000].

### **3.2.5 PINTURA, ESCULTURA E CAD**

Alguns projetos foram desenvolvidos nos quais interfaces hápticas foram utilizadas como dispositivos de entrada alternativos para pintura, escultura e projetos de CAD (*Computer-Aided Design*, ou projeto assistido por computador). Pesquisadores no Centro de

---

Engenharia de Reabilitação (CERTEC), na Suécia, criaram uma aplicação de pintura que pode ser utilizada por deficientes visuais. A espessura dos traços varia com a força que o usuário aplica no sensor posicionado na extremidade do seus dedos [SJÖSTROM, 1997]. Uma aplicação em que as animações são tratadas como esculturas virtuais que podem ser editadas pelos usuários foi desenvolvida por [HENLE & DONALD, 1999].

### **3.2.6 APLICAÇÕES MILITARES**

Dispositivos hápticos também têm sido utilizados em simulações de treinamento de militares e de astronautas. Existem várias circunstâncias no contexto militar nas quais eles podem agir como fontes de informação alternativas. Ou seja, há situações em que o toque poderia fornecer informação que por alguma razão não esteja disponível ou não seja precisa quando proveniente da visão ou da audição. Em alguns casos, combatentes têm sua visão bloqueada ou podem não poder desviar a visão de algum ponto específico para consultar outra fonte de informação. Além disso, as condições no campo de batalha podem exigir que as comunicações sejam inaudíveis. Em cenários como os descritos acima, a tecnologia háptica poderia ser usada como modalidade de comunicação alternativa ao som ou imagens, em situações em que informações simples como perigo iminente ou ordens para deslocamento precisem ser transmitidas.

### **3.2.7 TECNOLOGIAS ASSISTIVAS PARA DEFICIENTES VISUAIS**

Até o presente, é pequena a quantidade de trabalhos que usam dispositivos hápticos para desenvolver sistemas próprios para deficientes visuais. Entre os dispositivos potencialmente úteis neste contexto, estão os *mice* hápticos, *joysticks* com *force feedback* e o Moose [O'MODHRAIN & GILLESPIE, 1999]. Este último é uma interface háptica em duas dimensões desenvolvida na Universidade de Stanford, que reinterpreta a tela do Microsoft Windows com *force feedback*, de tal forma que ícones, barras de rolagem e outros elementos gráficos como a borda das janelas são renderizados hapticamente, provendo uma alternativa à interfaces gráficas. O Moose é mostrado na Figura 7.

Multivis (*Multimodal Visualization for Blind People*, ou visão multimodal para pessoas cegas) é um projeto em desenvolvimento na Universidade de Glasgow que irá utilizar *force feedback*, renderização de som tridimensional, braile, comandos e síntese de voz para oferecer interfaces complexas a usuários cegos [MULTIVIS, 2006]. Outros pesquisadores trabalham no sentido de unificar técnicas hápticas e de sonificação para visualização de informações por pessoas cegas. [LAMOTTE & SRINIVASAN, 1991] criaram um sistema em que *feedback* sonoro é integrado com um dispositivo Phantom (mostrado na Figura 6B). Som e tato são integrados de tal forma que um objeto virtual produz um som quando colide com algum outro elemento do mundo virtual. O som varia de acordo com a energia do impacto,

sua localização e a distância do usuário em relação ao objeto.



**Figura 7: O Moose**

### **3.3 PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO DOS DISPOSITIVOS HÁPTICOS**

Nesta seção, serão apresentados conceitos básicos associados com o funcionamento dos dispositivos hápticos e a sua relação com o sentido do tato.

#### **3.3.1 SENSações TÁCTEIS E CINESTÉSICAS**

Em geral, as sensações tácteis incluem pressão, textura, temperatura, maciez, umidade, além de sensações induzidas pela fricção como detecção de imperfeições nas superfícies dos objetos. Elas também incluem características dos objetos como forma e extremidades, além de sensações de vibração quando algum objeto oscila próximo à pele. Atos simples, como segurar uma folha de papel, acarretam em várias dessas sensações. A qualidade e a textura do papel são percebidas ao passar os dedos sobre a folha, e a sua borda é encontrada através da exploração das extremidades (ou seja, identificação da forma). Segurar um telefone celular que vibra ao receber uma chamada causa sensações vibro-tácteis. A capacidade do ser humano de distinguir todas estas sensações provavelmente se deve a códigos neurais e a pequenos sensores (denominados mecano-receptores) presentes na pele conforme demonstraram [LAMOTTE & SRINIVASAN, 1991].

Vários tipos de receptores foram encontrados para mediar as sensações descritas acima, na pele e nos tecidos subcutâneos; conseqüentemente, é costume designá-la como o órgão responsável pelo tato. De fato, existem centenas de receptores em cada centímetro dos mais de dois metros quadrados de área da pele de um adulto, que juntos formam o

---

componente cutâneo do tato. As características biofísicas da pele, entretanto, mudam radicalmente de acordo com a parte do corpo que elas cobrem [CRAIG & ROLLMAN, 1999]. Devido à grande quantidade de sensores, o tato ocupa uma parte considerável do sistema nervoso central e periférico, como apontou [DARIAN-SMITH, 1984].

Já o componente cinestésico do tato refere-se à consciência do estado corporal, incluindo posição, velocidade e força, fornecidos pelos músculos através de uma grande variedade de receptores localizados na pele, juntas, ossos e tendões. Juntos, ambos os componentes do sentido do tato são essenciais para a manipulação e a locomoção.

### **3.3.2 A PERCEPÇÃO HUMANA E AS INTERFACES HÁPTICAS**

Quando se assiste a um filme em alta resolução, não se percebe uma série de imagens estáticas que são apresentadas em seqüência, muito menos se detecta uma série de *pixels* coloridos juntos na tela. Em vez disso, é percebida uma cena visual que é bastante parecida com as experiências visuais experimentadas no cotidiano. Isto é possível porque a sensibilidade temporal da visão humana não é suficiente para detectar a mudança rápida de quadros no cinema, nem tem resolução suficiente para enxergar *pixels* individuais, caso esteja a uma distância normal da tela. Estes são exemplos de como a arquitetura e os limites do sistema sensorial humano podem ser explorados para construir sistemas engenhosos que possam oferecer experiências realistas e complexas. Exemplos destes sistemas incluem monitores de computador, televisões, gravadores de áudio, simuladores de voo e, obviamente, dispositivos hápticos.

O sentido do tato, entretanto, difere bastante da visão no sentido de que ele necessita de taxas de atualização muito maiores do que aquelas necessárias para assistir a um vídeo. Assim, em geral é muito difícil produzir uma interação háptica realista. Felizmente, mesmo quando um dispositivo háptico imperfeito é usado, o usuário se adapta rapidamente à sua atuação, ignora as suas imperfeições, e naturalmente associa os estímulos mecânicos criados pelo dispositivo às suas experiências do dia-a-dia, como perceber a textura de uma superfície e a forma dos objetos.

Além disso, quando as interfaces hápticas são combinadas com representações gráficas, o usuário prontamente associa o estímulo tátil ao objeto mostrado na tela. Isto acontece mesmo quando o que é visto e o dispositivo que gera *feedback* háptico estão localizados em locais bastante diferentes do espaço. Por exemplo, um jogador de jogos de corrida, que opta por diversas opções de câmera dentro do jogo, não deixa de associar o volante que vibra em suas mãos com o volante do veículo virtual que está sendo conduzido, muito embora ele possivelmente não o esteja vendo. Este cenário é ilustrado na Figura 8.



**Figura 8: O jogador não deixa de associar o volante em suas mãos ao volante virtual, mesmo que ele não seja mostrado na cena**

Entretanto, se as imperfeições do dispositivo háptico são muito intrusivas, a sensação de realismo háptico é perdida. Um efeito parecido é o que ocorre quando um projetor de cinema diminui a taxa de atualização de quadros e passa a mostrar apenas um por segundo: o filme se transforma em uma série de fotografias. Assim, a qualidade da experiência háptica ilusória é uma função da combinação do sistema perceptivo do usuário e das qualidades técnicas próprias de cada interface, como resolução e adequação dos sinais sendo gerados.

### **3.3.3 COMPONENTES DAS INTERFACES HÁPTICAS**

Uma interface háptica completa normalmente inclui um ou mais transdutores eletromecânicos (sensores ou atuadores) em contato com o usuário, de modo a aplicar sinais mecânicos a determinadas áreas do seu corpo e para medir outros sinais igualmente mecânicos nestas mesmas áreas.

Outra parte importante das interfaces hápticas completas é o sistema computacional que manipula os transdutores. A função deste sistema computacional é fornecer capacidades de “renderização” háptica, que são similares aos processos de renderização de imagens em sistemas gráficos. A primeira, entretanto, impacta na troca de informação bidirecional entre

o dispositivo e o usuário [SALISBURY ET AL., 1995]. A tarefa computacional neste tipo de renderização é gerar sinais que são relevantes a uma determinada aplicação.

Várias abordagens existem para criar tal *feedback*. Por exemplo, um modelo pode ser usado para representar um ambiente, e suas equações solucionadas pelo computador, para encontrar as forças a serem aplicadas como uma função da disposição dos objetos. O modelo pode ser desenvolvido a partir de princípios básicos do cotidiano, ou parametrizado para representar apenas alguns aspectos desejados [MACLEAN, 1996]. As características do tato humano permitem, em alguns casos, o uso de modelos físicos simplificados para gerar objetos virtuais que ofereçam estímulos tácteis que competem em realismo com objetos verdadeiros, como foi demonstrado em [MORGENBESSER & SRINIVASAN, 1996].

## CAPÍTULO 4

# SISTEMAS DE AUXÍLIO À NAVEGAÇÃO

---

A mobilidade é essencial para várias espécies de animais, uma vez que a maior parte deles depende dela para sobreviver. Na espécie humana isto não é diferente, pois a maior parte das atividades do cotidiano é realizada devido à capacidade de viajar entre um ponto e outro. Esta habilidade é essencial para fazer compras, ir ao dentista ou buscar comida na geladeira, por exemplo. A mobilidade, porém, nem sempre está associada com a autonomia, principalmente para as pessoas com algum tipo de deficiência. Dependendo da limitação imposta pela sua deficiência, algumas delas são impossibilitadas de levar uma vida normal sem algum tipo de auxílio externo.

Viajar, ou locomover-se, pode ser pensado como o ato de se mover de um lugar para outro, independentemente do destino ser conhecido no início da viagem ou se o deslocamento não tem objetivos específicos. Segundo [BRAMBRING, 1984], os conceitos de viagem ou mobilidade podem ser considerados sob dois aspectos distintos, orientação e navegação:

- **Orientação:** refere-se ao conhecimento das relações espaciais básicas entre objetos de um ambiente [BENTZEN, 1979]. É usado como um termo que sugere a compreensão do ambiente da viagem ou dos objetos relacionados a ele, ou seja, a maneira como uma pessoa se orienta é essencial para o sucesso do deslocamento. Informações sobre posição, direção, destino e rotas estão intimamente ligadas à orientação.
- **Navegação:** relacionado com a habilidade de se mover no ambiente que circunda o viajante [FARMER, 1979]. Esta navegação pode ser realizada através do uso de rotas pré-planejadas com a utilização de mapas ou de conhecimento anterior, ou mesmo durante a locomoção. Além disso, navegação depende do conhecimento a respeito de objetos ou obstáculos próximos, de construções como escadas ou portas e de perigos fixos ou móveis.

A maior parte da informação disponível para o viajante autônomo está na forma de sinais visuais. Estas pistas tipicamente incluem placas, luzes coloridas, marcações na pista ou na calçada, informações em paradas de ônibus, etc. Entretanto, é rara a disponibilização de informações em formatos alternativos, que possam estimular outros sentidos humanos como o tato e a audição. Dessa forma, percebe-se que deficientes visuais estão em desvantagem em relação a pessoas com visão normal, no que se refere à mobilidade. Claramente, o uso de TAs

---

poderia ajudá-los a superar esta desvantagem, conforme demonstrado no capítulo 2.

Neste capítulo, uma categoria especial de TAs, os SAN, serão estudados. Inicialmente, será discutido como o processo de navegar é desempenhado pelos seres humanos. Em seguida, serão apresentados os componentes que constituem um SAN, bem como uma classificação informal dos tipos de SAN existentes, juntamente com exemplos. Por fim, serão analisados alguns aspectos relacionados à usabilidade nestes sistemas.

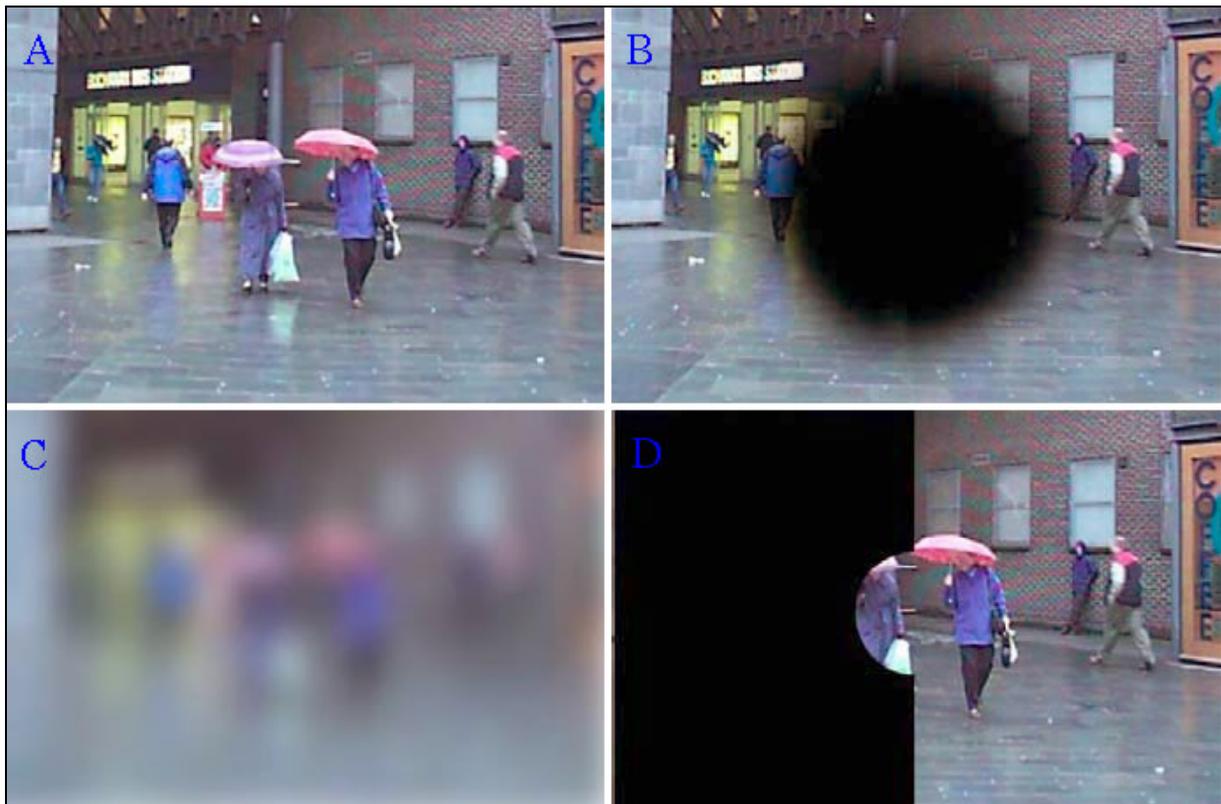
#### **4.1 NAVEGAÇÃO DO PONTO DE VISTA HUMANO**

Como a navegação emprega alguma forma de mapeamento e armazenamento de conhecimento, saber como a informação é processada e armazenada na mente humana pode ser útil em pesquisas sobre mobilidade. O termo mapa cognitivo (ou mapa mental) é normalmente usado para denominar a maneira como o cérebro cria uma abstração do mundo real. Isto inclui as habilidades que permitem ao ser humano coletar, organizar, armazenar, recuperar e manipular informações espaciais e sobre os arredores [DODDS ET AL., 1982]. Assim, a informação é armazenada para tornar a navegação possível (ou seja, ‘como chegar lá’). Além disso, outros conhecimentos cognitivos são usados para descobrir ‘aonde ir’ [COLLINS, 1984].

Apesar de um grande número de teorias (como aprendizado baseado em pontos de referência e estratégias baseadas em rotas) terem sido desenvolvidas para explicar a criação de mapas mentais pelos seres humanos, pouco se investigou sobre os mecanismos utilizados pelos deficientes visuais para realizar a mesma tarefa [KITCHIN ET AL., 1997]. Pesquisas em mapeamento cognitivo poderiam revelar “como informações espaciais deveriam ser fornecidas a deficientes visuais”, de acordo com [KITCHEN & JACOBSON, 1997]. Além disso, diferentes formas de deficiência visual poderiam impactar no desenvolvimento dos mapas cognitivos, conforme ilustrado na Figura 9. Alguém que sofra de perda da visão central (Figura 9B), provavelmente teria bastante dificuldade na leitura de textos, enquanto uma pessoa que só tem metade do seu campo de visão poderia depender mais de informações provenientes do lado que foi perdido (Figura 9D). Já a Figura 9C mostra um possível efeito da catarata em estágio avançado.

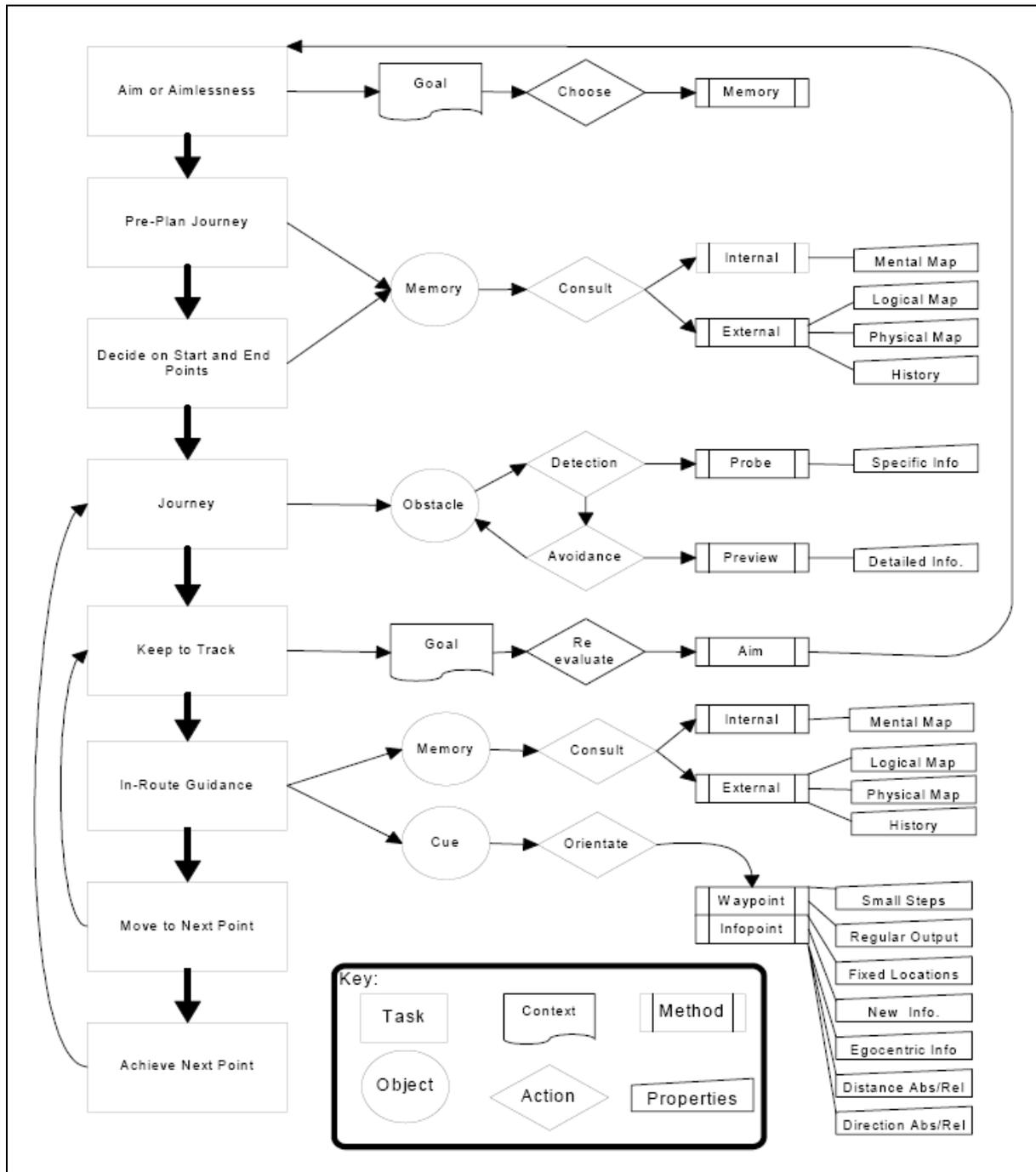
Muitos deficientes visuais têm a tendência de pensar no mundo real de uma maneira “egocêntrica”, de tal forma que as descrições de distância e direções acabam sendo associadas com o viajante e não com o ambiente [DODDS ET AL., 1982]. Por exemplo, uma pessoa com visão normal poderia dizer ‘cruze a faixa de pedestres e continue até o banco’, enquanto que uma pessoa com deficiência visual poderia dizer ‘ande 20 metros para frente, e quando chegar ao poste atravesse a rua, andando 10 metros numa direção de 45 graus para a direita, e você estará no banco’. Com isso, pode-se perceber que as especificações do caminho a ser

seguido são muito mais completas, e que este tipo de viajante depende de informação externa limitada para alcançar o destino. Além disso, deficientes visuais dividem a sua jornada em estágios mais curtos e se orientam dentro dela um número maior de vezes do que os outros. Desta forma, os seus mapas mentais tendem a ser egocêntricos, exatos, e divididos em passos menores e mais facilmente gerenciáveis. Assim, ajustar o *feedback* dado por SAN para se adequar a estas peculiaridades iria melhorar o processo de mapeamento para deficientes visuais [DODDS ET AL., 1982].



**Figura 9: Comparação entre uma visão normal (A) e deficiente (B, C e D)**

Com isso, percebe-se que é essencial conhecer a maneira como os deficientes visuais viajam, para a criação de um SAN eficiente. Em seu trabalho, [SIMON & GREEN, 2000] abordaram este problema, propondo um *framework* para viagens de deficientes visuais, destinado a servir como base para a criação de sistemas móveis de auxílio à navegação. Eles criaram um modelo para o fluxo de eventos que acontecem durante a locomoção desses usuários, mostrado na Figura 10.



**Figura 10: Fluxo de eventos durante uma viagem**

Além disso, identificaram as preocupações básicas que os desenvolvedores desses sistemas devem ter durante a sua concepção:

- **Deteção e fuga de obstáculos:** deficientes visuais não conseguem perceber a aproximação de objetos e obstáculos, portanto algum tipo de dispositivo que possa realizar esta tarefa é importante. As maiores preocupações para estes usuários, quando viajam sozinhos, são batentes, degraus, escadas, e meios-fios. Além disso, cercas, paredes e outras

---

obstruções, que não são normalmente consideradas quando são fornecidas as direções a uma pessoa com visão normal, devem ser levadas em conta.

- **Mapas mentais:** embora deficientes visuais não possuam sentidos não-visuais extraordinariamente bem desenvolvidos, estudos mostraram que o uso de mapas mentais é intenso, e não pode ser desprezado Além disso, informações provenientes de outros sentidos, como o cheiro de um restaurante, ou o som de uma loja de discos, normalmente enriquecem os seus mapas mentais.
- **Egocentrismo:** conforme foi discutido anteriormente, deficientes visuais compreendem melhor terminologias temporais e egocêntricas e menos espaciais e ambientais quando da definição de pontos de referência, do que as pessoas com visão inafetada.
- **Regularidade do ambiente:** a falta de visão, mesmo com um dispositivo de auxílio à navegação primário, realmente limita a experiência de viajar. [SIMON & GREEN, 2000] comentam sobre relatos de deficientes visuais que afirmam só conseguir se locomover com autonomia em ambientes construídos pelo homem (ou seja, com características regulares), e não em zonas rurais ou menos urbanizadas.
- **Fornecimento de informações espaciais:** Muitas pessoas com deficiências visuais congênitas sentem dificuldade em rastrear a si próprios dentro das coordenadas espaciais, embora isso não acarrete em perda de mobilidade.

Outros trabalhos investigaram a maneira como pessoas com visão normal [BRADLEY & DUNLOP, 2002 B] e deficientes físicos [BRADLEY & DUNLOP, 2002 C] usam pontos de referência para navegar. A descrição das rotas de ambos os estudos foi categorizada, resultando nas onze classes de informação contextual mostradas na Tabela 1. A proporção de palavras ou frases utilizadas por ambos os indivíduos que participaram desses estudos é mostrada para cada categoria. Os resultados revelaram uma diferença considerável nas informações utilizadas por pessoas com visão normal e deficiente durante a navegação. Estes últimos utilizaram dados (não aproveitados pelos primeiros) provenientes do tato, de movimento e de interação social, e também utilizaram um número consideravelmente menor de informações textuais/estruturais e textuais/locais, além de um maior número de informações contextuais mais gerais, principalmente estruturais e descritivas.

<b>Classe de informação contextual</b>	<b>Exemplo</b>	<b>Percentual de uso (visão normal)</b>	<b>Percentual de uso (def. visuais)</b>
Direcionais	Esquerda/direita, norte/sul	37,4	30,1
Estruturais	Estrada, monumento, igreja	11,5	20,1
Ambientais	Montanha, rio, árvore	1,6	2,9
Textuais/estruturais	Livraria X, Sapataria Y	9,9	1,2
Textuais/locais	Rua W, Praça Z	15,6	2,7
Numéricas	Primeiro, segundo, 100 m	5,0	7,5
Descritivas	Íngreme, alto, vermelho	10,8	23,8
Temporais	'Ande até chegar no...', 'Antes do...'	8,2	5,1
Sensoriais	Som de trem, cheiro de padaria	0,0	4,4
Movimento	Carros passando, portas abrindo	0,0	0,8
Interação Social	Pedindo ajuda, usando um cão-guia	0,0	1,4

**Tabela 1: Classes de informação contextual utilizada por pessoas com e sem deficiência visual**

## 4.2 COMPONENTES DOS SISTEMAS DE AUXÍLIO À NAVEGAÇÃO

Definir precisamente os componentes de um SAN é uma tarefa difícil, uma vez que qualquer objeto que facilite o deslocamento de um indivíduo entre dois pontos quaisquer de um determinado ambiente poderia ser classificado como tal. Além disso, é necessário fazer uma distinção entre auxílios primários, como bengalas e cães-guia, e auxílios secundários, como *wearable computers* dotados de GPS e que atendem a comandos de voz. O termo 'sistema de auxílio à navegação' utilizado ao longo deste texto refere-se aos auxílios secundários, responsáveis pela macro-navegação, ou seja, viagens através de grandes distâncias [PETRIE, 1995]. Estes sistemas trabalham em conjunto com os indispensáveis auxílios primários, responsáveis por evitar a colisão com obstáculos (micro-navegação) [PETRIE, 1995].

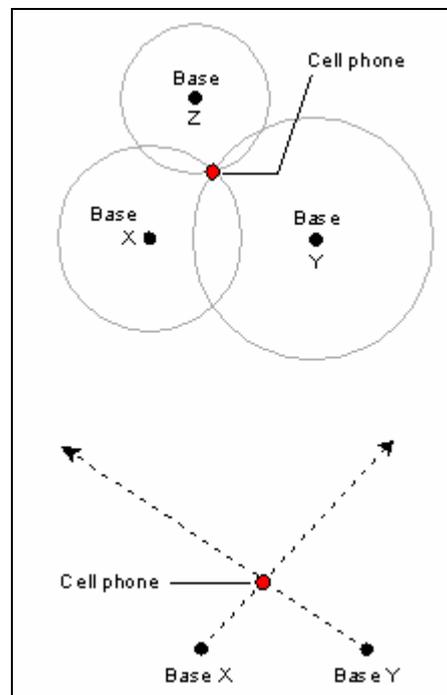
Neste trabalho, a estrutura de três componentes proposta por [LOOMIS ET AL., 1994] será apresentada. Segundo eles, um SAN é composto dos seguintes componentes básicos: 1) uma unidade de posicionamento e orientação, 2) uma base de dados espacial, e 3) a interface com o usuário. As seções 4.2.1 a 4.2.3 descrevem cada um destes componentes, apresentando exemplos das tecnologias que podem ser usadas para criá-los.

#### **4.2.1 UNIDADE DE POSICIONAMENTO E ORIENTAÇÃO**

Este componente é responsável por localizar o usuário no ambiente em que ele se encontra, fornecendo coordenadas espaciais para o SAN. Devido à forte dependência do ambiente em que é utilizado, este é o elemento que mais contundentemente caracteriza os SAN internos e externos (seção 4.3). Além disso, é o componente que possui o maior número de possibilidades de implementação, quando comparado com os sistemas existentes. Algumas delas são mostradas a seguir:

- **GPS:** o Sistema de Posicionamento Global, popularmente conhecido por GPS, é um sistema de posicionamento por satélite criado pelo governo dos Estados Unidos, utilizado para determinação da posição na superfície da Terra ou em órbita. É constituído por uma constelação de 24 satélites geo-estacionários, que formam uma rede que pode ser acessada de qualquer parte do globo, com o uso de receptores específicos. Dependendo do local onde o usuário se encontra e das condições de recepção, o GPS pode fornecer informações de latitude e longitude com precisão de poucos metros. No contexto de SAN, esta tecnologia é a base para a criação de sistemas voltados para uso em ambientes externos, descritos na seção 4.3.1.
- **Pisos “inteligentes”:** estes sistemas são capazes de identificar um usuário que caminha sobre eles em ambientes internos. Normalmente, são compostos de sensores localizados no chão, associados com uma estrutura computacional responsável pelo processamento de dados para identificar usuários. Exemplos destes pisos incluem o Smart Floor, desenvolvido por [ORR & ABOWD, 2000], e o ORL Active Floor, desenvolvido por [ADDLESEE ET AL., 1997]. Ambos são capazes de identificar e localizar usuários através da identificação do padrão da pisada de cada um deles. Além disso, também são capazes de identificar objetos específicos, dado que o seu peso e posição iniciais sejam conhecidos.
- **Ondas de rádio:** nos últimos anos, o interesse pelo uso deste tipo de tecnologia de rastreamento de usuários tem aumentado, uma vez que muitas empresas já possuem estruturas de rádio complexas montadas (por exemplo, redes locais sem fio ou redes de celular). O princípio de funcionamento desta tecnologia é o fato de que é possível estimar a distância entre dois rádios quando se conhece a potência do transmissor e a potência do sinal que chega ao receptor. Com o uso de uma triangulação simples, como visto na Figura 11 para o caso de telefones celulares, é possível detectar a posição do usuário com uma precisão bastante razoável, que pode chegar a poucos metros. Uma

variação do uso deste tipo de tecnologia é o emprego de *tags* RFID (*Radio Frequency Identification*). Estas *tags* transmitem informações gravadas armazenadas dentro delas para receptores específicos, quando estes se aproximam. Funcionam como uma alternativa barata a códigos de barra, sendo utilizados primariamente para identificação de objetos. Vantagens da tecnologia incluem o tamanho, a capacidade de armazenamento (cada *tag* pode conter até 8 KB de dados) e o fato de não exigir “contato visual” com o receptor, podendo ser detectadas a certa distância. No contexto de rastreamento de usuários, *tags* RFID podem ser espalhadas por todo o ambiente, fornecendo informações sobre a sua localização para o SAN.



**Figura 11: Processo de triangulação para rastreamento de usuário**

- **Detecção de marcadores em vídeo:** baseia-se no uso de bibliotecas de detecção de marcadores, como o [ARTOOLKIT, 2006], para identificar padrões de marcadores em imagens capturadas por câmeras de vídeo. Embora possa ser usada para auxiliar viajantes que não possuam deficiência visual, o uso deste tipo de tecnologia para localização de usuários tem aplicabilidade limitada no caso de deficientes visuais. O motivo é que o correto funcionamento depende da manipulação da câmera, que precisa capturar o marcador, e não se pode garantir que os deficientes visuais, que não os

enxergam, possam realizar esta tarefa. A principal consequência seria a não detecção de marcadores críticos, como um que indicasse uma escada ou batente, por exemplo. [WAGNER & SCHMALSTIEG, 2003] desenvolveram uma aplicação de realidade aumentada que usa um PDA com câmera para este propósito, ilustrada na Figura 12.



**Figura 12: Uso de realidade aumentada para identificação da localização de um usuário**

- **Balizas “luminosas”**: com seu trabalho, [RANDALL ET AL., 2004] abriram um novo leque de possibilidades para o rastreamento de usuários em ambientes internos. Em sua experiência, sensores fotoelétricos foram colocados no corpo do usuário, e padrões de irradiação provenientes de lâmpadas fluorescentes foram gerados, permitindo a identificação da fonte de luz, e conseqüentemente a sua localização.

#### **4.2.2 BASE DE DADOS ESPACIAL**

Este é um componente essencial dos SAN, uma vez que é responsável por armazenar as informações extras sobre a localização do usuário, incluindo mapas, localização de objetos ou cômodos, e possíveis perigos. Além disso, pode incluir pontos de interesse do usuário, como livrarias, museus e restaurantes, para que o SAN possa alertá-lo sobre a sua existência.

Normalmente, este componente é representado por um GIS, um Sistema de Informações Geográficas. Estes sistemas são usados para criar e gerenciar dados espaciais e atributos associados, como os listados acima. Formalmente, um GIS é um sistema computacional capaz de integrar, armazenar, editar, analisar e apresentar informações geográficas. Informalmente, porém, pode-se considerar os GIS como um mapa “inteligente”, que fornece informações relevantes a uma determinada localização. Tais sistemas podem ser usados para investigações científicas, gerenciamento de recursos, cartografia e para planejamento e acompanhamento de rotas, sendo esta última aplicada ao desenvolvimento

---

de SAN.

Devido à complexidade dos GIS, geralmente não é possível embuti-los em SAN. Isso acontece porque a capacidade de processamento e de armazenamento dos *wearable computers* mais modernos ainda não é suficiente para comportar um sistema de grande porte. Dessa forma, este é o componente dos SAN que normalmente é localizado em servidores remotos, acessados através de comunicação sem fio, utilizando tecnologias como GPRS (*General Packet Radio Service*) ou Wi-Fi. Esse acesso remoto, porém, trás diversos benefícios a estas aplicações, uma vez que permite:

- **Compartilhamento de dados:** uma base centralizada pode ser compartilhada com um grande número de usuários remotos. Com isso, todos os esforços podem ser canalizados na criação de uma base de dados bastante completa.
- **Atualização de dados centralizada:** atualizações nas informações da base centralizada ficam disponíveis para todos os clientes, ao mesmo tempo.
- **Aumento da autonomia:** a economia de recursos computacionais pode levar a uma diminuição da potência consumida pelo sistema, aumentando assim a autonomia do SAN.
- **Aumento da capacidade de processamento:** dependendo da velocidade da rede, o acesso remoto permite que processamentos computacionalmente mais caros do SAN sejam realizados pelo servidor, permitindo o aumento da complexidade das aplicações.

#### **4.2.3 INTERFACE COM O USUÁRIO**

A interface com o usuário é o componente mais crítico dos SAN, principalmente naqueles voltados para deficientes visuais, que os utilizam como substitutos da visão perdida total ou parcialmente. Eles devem ser intuitivos e simples de usar, de tal forma que o usuário não encontre dificuldades que o impeçam de utilizá-lo no dia-a-dia.

Basicamente, existem quatro maneiras de interação com o usuário, que utilizam três dos cinco sentidos humanos:

- **Visão:** tipo mais comum de interface com o usuário. Apresentam a informação em algum tipo de tela portátil, como a de um PDA ou celular. Por razões óbvias, não podem ser utilizadas por deficientes visuais, ficando assim fora do escopo deste trabalho.
- **Audição:** alguns SAN utilizam este sentido para interagir com os usuários.

Em geral, tais sistemas são equipados com sintetizadores de voz ou geram padrões de som que são interpretados pelo usuário. Porém, conforme discutido no capítulo 1, o *feedback* sonoro não é adequado para deficientes visuais em determinadas situações.

- **Tato:** inclui os SAN que utilizam dispositivos hápticos para interagir com o usuário. Normalmente, o *feedback* háptico é associado com informações que estimulam outros sentidos, como a visão e a audição.

### 4.3 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE AUXÍLIO À NAVEGAÇÃO

Conforme anteriormente mencionado, os SAN podem ser utilizados em ambientes externos e internos. Os primeiros são responsáveis por guiar os usuários na rua, enquanto os últimos são capazes de guiar o usuário dentro de construções. Existem ainda alguns sistemas mistos, voltados para uso em ambos os cenários. Nesta seção, serão apresentados alguns exemplos significantes de SAN para deficientes visuais em cada uma das categorias citadas acima.

#### 4.3.1 SISTEMAS EXTERNOS

##### 4.3.1.1 PERSONAL GUIDANCE SYSTEM

[LOOMIS ET AL., 1994] desenvolveram um dos primeiros SAN externos. O *Personal Guidance System* (PGS) desenvolvido por eles era composto de três partes: um GPS, usado para determinar a posição e a orientação do usuário, um GIS que armazenava dados espaciais e uma interface sonora com os usuários. O GPS determinava a posição absoluta, em termos de longitudes e latitudes, e as passava para o GIS, que determinava a posição do usuário relativa à base de dados espacial. O planejamento de rota era feito pelo computador carregado por ele, e as instruções de como se locomover de um lugar a outro era fornecida ao usuário de duas maneiras diferentes: instruções ou descrições verbais, geradas por um sintetizador de voz, e do chamado *Virtual Acoustic Display* (Tela Acústica Virtual, em português). Este último apresentava a informação usando sons para alertar o usuário da existência de pontos de referência do ambiente que permitiam que o deficiente visual “sentisse” a sua presença dentro do “mundo acústico virtual”.

Uma deficiência técnica do PGS é a sua dependência total do sinal GPS, que pode ser facilmente bloqueado por prédios ou outras construções naturais, principalmente em uma cidade grande. Além disso, o GPS não funciona em ambientes internos. Em termos de interface com o usuário, o módulo de entrada de dados não havia sido finalizado na época da publicação do trabalho. Além disso, embora o *Virtual Acoustic Display* pudesse oferecer um senso de imersão no ambiente virtual, ele não era um método tão natural quanto as

---

instruções verbais também geradas pelo PGS. Por outro lado, os usuários poderiam ter dificuldade de seguir instruções verbais muito complicadas.

Apesar das deficiências apresentadas, o PGS introduziu um protocolo eficiente para SAN internos e externos, que foi incorporado a soluções desenvolvidas posteriormente.

#### 4.3.1.2 PROJETO MOBIC/MOTA

O projeto *Mobility of Blind and Elderly People Interacting with Computers* (MOBIC) foi desenvolvido por vários pesquisadores da Europa entre o início de 1994 e o fim de 1996. Uma de suas vertentes originou o MoBIC *Travel Aid* (MoTA), descrito por [STROTHOTTE ET AL., 1998] como um sistema composto de duas partes: o MoBIC *Pre-Journey System* (MoPS) e o MoBIC *Outdoor System* (MoODS). O primeiro permitia aos usuários explorar o ambiente em um mundo virtual simulado. A jornada simulada ajudava o usuário a se preparar para a viagem no mundo real. Já o MoODS usou a arquitetura proposta por [LOOMIS ET AL., 1994] com três melhorias. Primeiramente, um sistema de posicionamento auxiliar foi empregado, que usava a técnica de triangulação apresentada na Figura 11 para localizar o telefone celular integrado ao sistema. Além disso, o MoODS tinha um tamanho e peso reduzidos, pesando cerca de 5 quilos, enquanto o PGS pesava mais de 10 quilos. Por fim, este sistema possuía uma comunicação em duas vias entre o usuário e o sistema, durante a viagem. O deficiente entrava com dados no sistema através de um teclado portátil, e o sistema apresentava retorno através de sons escutados em um fone de ouvido. A Figura 13 apresenta uma ilustração do sistema MoTA.

Entretanto, a informação gerada pelo MoTA pode ser difícil de ser compreendida. Por exemplo, uma pergunta simples como ‘Onde eu estou?’ gera uma resposta parecida com ‘Você está na Rua X viajando para o norte, e esta é uma rua de nível dois e o próximo cruzamento está 45 metros adiante’. Outra limitação do MoTA é a sua dependência do MoPS para planejamento de rotas. Elas eram criadas e testadas no MoPS e só então transferidas para o MoODS para navegação no ambiente real. A dependência do planejamento deste tipo reduz a flexibilidade do seu uso em ambientes novos.



**Figura 13: Sistema MoTA**

#### 4.3.1.3 PERSONAL AREA LOCATOR

O *Personal Area Locator* (PAL) é outro SAN que usa GPS para a obtenção de coordenadas e um *wearable computer* para o processamento de dados e geração de *feedback*. Porém, ele destaca-se dos demais por possuir dois modos de operação, *Direct Explore* (Exploração Imediata, em português) e *Path Guidance* (Guia de Caminho, em português). O primeiro permite que o deficiente explore a vizinhança, confortavelmente sentado dentro de um carro ou caminhando. À medida que o usuário se movimenta, o sistema lhe fornece informações relevantes sobre o local, através de um fone de ouvido não exclusivo, ou seja, que permite escutar sons externos. Esta funcionalidade é particularmente interessante para deficientes visuais que desejam conhecer uma nova localidade. No modo *Path Guidance*, o sistema passa a acompanhar 'calado' a viagem, apenas alertando o usuário quando ele sair da sua rota.

#### 4.3.1.4 SISTEMAS BASEADOS EM BALIZA

Enquanto os sistemas citados acima fazem uso do GPS, outros SAN para uso em ambientes externos que não usam GPS foram desenvolvidos, como [HINE & NOORALAHIVAN, 1998] e [KEMMERLING & SCHLIEPKORTE, 1998]. Ambos procuram compensar a ausência de informações visuais sobre pontos de referência e placas para pessoas com deficiência visual, através da utilização do som proveniente de balizas instaladas

---

em prédios e monumentos. Estas balizas, depois de instaladas no ambiente desejado, transmitem continuamente sinais de rádio contendo informações sonoras sobre a sua localização. O sistema, através da utilização de um receptor específico, processa estes sinais e os converte nos nomes dos locais.

A maior limitação dos sistemas baseados em baliza é a ausência de uma função de planejamento de rota. Estes sistemas apenas apresentam informações espaciais para o deficiente, deixando para ele o processo de planejamento.

### **4.3.2 SISTEMAS INTERNOS**

#### **4.3.2.1 ORIENTATION BY ELECTRONIC NAVIGATION SYSTEM**

[WHITNEY, 1998] introduziu o sistema *Orientation by Electronic Navigation* (OPEN), que tornou placas disponíveis para pessoas cegas. Sistemas de sinalização baseados em placas existem em quase todos os ambientes internos, como escritórios e *shopping centers*. Enquanto estes sistemas oferecem informação útil para pessoas com visão normal, eles normalmente não têm utilidade para deficientes visuais, a menos que estejam em braile e sejam alcançáveis. Para tornar estas informações disponíveis para estes usuários, o sistema OPEN usou as “*talking signs*”, ou “placas falantes”.

Estas placas eram balizas emissoras de infravermelho instaladas em diversas localizações das construções. Estas balizas enviavam informações da sua localização continuamente, de forma semelhante àquelas usadas em ambientes externos. Assim como esses sistemas, o OPEN tem a limitação de não permitir o planejamento de rota.

#### **4.3.2.2 PERSONAL ELECTRONICALLY-RECORDED SPEECH-OUTPUT NAVIGATION AID**

O *Personal Electronically-Recorded Speech-Output Navigation Aid* (PERSONA) é outro sistema baseado em balizas para navegação em ambientes internos, desenvolvido por [SONNENBLICK, 1998]. Ao contrário dos sistemas baseados em balizas descritos acima, as balizas do PERSONA são posicionadas nos tetos dos corredores, em vez de ficarem em pontos de referência espalhados pelo caminho. A diferença na localização deve-se ao fato de que cada baliza armazenava um código de localização, ao invés de informações sonoras, como acontece com os outros sistemas.

Um receptor é usado para receber os sinais infravermelho e mapear os códigos de localização no mapa do prédio armazenado no *wearable computer*. Este processo permitia ao sistema identificar a localização do usuário relativa ao prédio. Assim como os outros sistemas baseados em balizas, o PERSONA não oferecia a funcionalidade de planejamento de rotas e requeria conhecimento prévio por parte do usuário a respeito do trajeto dentro do prédio.

#### 4.3.2.3 MAPAS TÁCTEIS

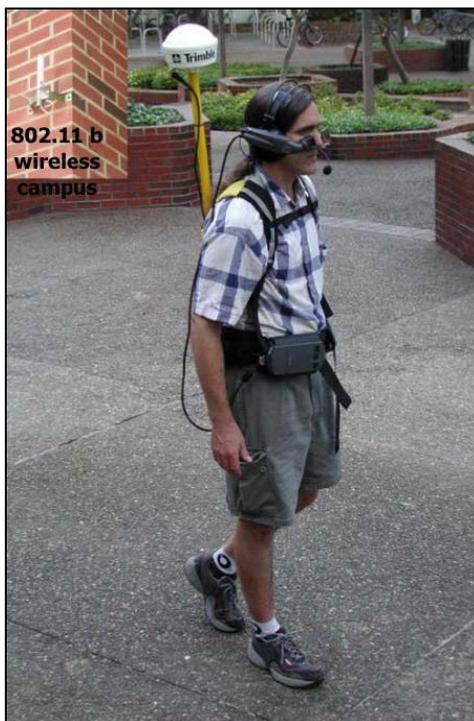
Ao mesmo tempo em que sistemas baseados em GPS e em balizas foram desenvolvidos, alguns pesquisadores investigaram a possibilidade de usar gráficos tácteis de mapas como um SAN alternativo, como [UNGAR ET AL., 1996]. Esse trabalho mostrou que mapas tácteis poderiam ajudar pessoas cegas a formar uma representação mental do *layout* espacial do prédio. Eles compararam o desempenho de uma navegação exploratória “livre” e de uma navegação com o uso de mapas tácteis. A última mostrou-se muito mais eficiente em termos de tempo e esforço empregado.

#### 4.3.3 SISTEMAS MISTOS

Embora não sejam muito comuns, devido à difícil integração das tecnologias mencionadas acima, existem alguns SAN que podem ser usados em ambientes internos e externos. O exemplo mais significativo é o Drishti, desenvolvido por [RAN ET AL., 2004]. O sistema possui um sistema de posicionamento bastante preciso, que utiliza DGPS (*Differential GPS*), como sistema de localização. O DGPS é um melhoramento do GPS, que utiliza estações de rádio na superfície da Terra para corrigir possíveis imprecisões do sinal proveniente dos satélites.

No ambiente externo, o Drishti funciona de maneira similar aos apresentados nas seções anteriores, com a diferença de que pode modificar as rotas dinamicamente de acordo com mudanças nas informações do GIS. Quando necessário, o usuário pode modificar o modo de operação do sistema através de um comando de voz. Uma vez no ambiente interno, o sistema usa um sistema de rastreamento baseado em ultra-som disponível comercialmente para obter informações de posicionamento com precisão de 22 cm.

Uma das principais desvantagens deste sistema é a dependência no DGPS, que está disponível apenas em poucos países. Além disso, o sistema é bastante volumoso, dificultando, senão impedindo, o uso no dia-a-dia. Por fim, o fone de ouvido utilizado atrapalha a captação de sons externos. A Figura 14 mostra um deficiente visual utilizando o Drishti.



**Figura 14: Deficiente utilizando o Drishti**

## CAPÍTULO 5

### vEye: PROPOSTA DE UM DISPOSITIVO HÁPTICO

---

Em determinadas circunstâncias, fornecer informações de forma visual pode ser indesejável. Por exemplo, motoristas de veículos em movimento e soldados em batalha devem dar mais atenção aos arredores do que a uma tela com informações de orientação, como as dos receptores GPS portáteis. Em outros cenários mais críticos, entretanto, informações apresentadas nesta forma podem se tornar completamente inacessíveis. Uma tela seria inútil para um bombeiro se movimentando dentro de um prédio em chamas com fumaça densa, para um mergulhador em águas escuras ou para um deficiente visual.

A disponibilização dessas informações utilizando outros canais sensoriais constitui uma alternativa nas situações descritas acima, principalmente no caso dos deficientes visuais. Esta tese é reforçada pelo modelo proposto por [WICKENS & LIU, 1988] para a percepção humana, que indica que não há degradação de desempenho quando canais sensoriais independentes são usados para apresentar informações, incluindo o tato. Neste contexto, os dispositivos hápticos tornam-se uma escolha viável para a apresentação dessas informações.

Alguns pesquisadores costumam denominar os dispositivos hápticos de *displays* hápticos. Esta nomenclatura alternativa advém do fato de que estes dispositivos podem mostrar informações relativamente complexas, dependendo da codificação utilizada pelo projetista. Um dos maiores desafios é encontrar uma forma eficiente de “traduzir” a informação que se deseja apresentar para que ela seja passada ao usuário, com o menor tempo de aprendizado possível.

A princípio, os *displays* hápticos podem variar de acordo com quatro parâmetros: localização, temporização, frequência e amplitude. Localização refere-se ao local no corpo do usuário em que a vibração é apresentada, como nas mãos ou nas costas. Temporização está associada com o período em que a vibração está “ligada” ou “desligada”. Frequência, como o nome diz, relaciona-se com a frequência do *feedback* háptico. Por fim, amplitude refere-se à intensidade da vibração.

Este capítulo apresenta o vEye, um dispositivo háptico concebido com o propósito de permitir uma interação homem-computador mais fluida, de tal forma que ele possa transmitir informações de navegação ao usuário sem requerer sua atenção e sem interromper o fluxo da sua atividade. Nas seções seguintes, o dispositivo proposto e a sua arquitetura de *hardware* e *software* serão descritos em detalhes. Além disso, serão apresentados alguns resultados da implementação de um protótipo deste dispositivo, criado para validar os conceitos apresentados.

## 5.1 DESCRIÇÃO DO VEYE

O vEye (de *virtual eye*, ou olho virtual) é um dispositivo háptico no formato de uma pulseira, que pode ser integrado a sistemas de auxílio à navegação, principalmente aqueles destinados a deficientes visuais. Assim como em outros dispositivos hápticos discutidos anteriormente, a interação com o usuário se dá através de vibrações.

Apesar do grande interesse da comunidade acadêmica e do grande esforço empregado na pesquisas e no desenvolvimento de dispositivos hápticos, ainda não foram realizados estudos conclusivos sobre a melhor forma de codificar informações para o usuário [GALLACE ET AL., 2005]. Entretanto, para que as decisões sobre a configuração dos parâmetros do vEye não fossem feitas de forma totalmente arbitrária, vários dispositivos foram analisados, em busca de características que pudessem fornecer a fluidez mencionada anteriormente.

No desenvolvimento do vEye, os parâmetros de *displays* hápticos discutidos anteriormente foram escolhidos baseando-se nos resultados obtidos por [BOSMAN ET AL., 2003]. Nesse trabalho, foi desenvolvido uma pulseira denominada GentleGuide, destinada a orientar pedestres sem deficiências visuais durante uma viagem em um ambiente interno através de vibrações. O dispositivo foi desenvolvido iterativamente, tendo passado por vários ciclos de prototipagem e teste, que permitiu aos projetistas chegar a algumas conclusões:

- O uso de apenas um dispositivo em apenas um dos braços pode deixar o usuário confuso. Usar dois dispositivos, um em cada pulso, é uma solução mais adequada.
- O uso de vibração é mais eficiente do que o uso de pressão, pois os usuários tendem a ignorar esta última depois de certo tempo.
- A direção é melhor codificada em trens de pulsos do que em intensidade.
- As vibrações deveriam indicar apenas 'esquerda', 'direita' e 'pare', em vez de direções mais refinadas, como por exemplo '45 graus'.
- Um sinal de vibração em ambos os pulsos é um sinal intuitivo de parada.

Apesar de alguns dos resultados acima terem sido usados na criação do vEye, é necessário ter em mente que estes parâmetros podem não ser adequados ao desenvolvimento de dispositivos hápticos para deficientes visuais. O processo de usabilidade empregado no desenvolvimento do GentleGuide não foi realizado com foco nestes usuários. Por exemplo, a terceira conclusão é válida para um usuário que enxerga, e conseqüentemente é capaz de andar em linha reta sem qualquer auxílio externo e consegue ver a aproximação de uma

parede ou porta. Entretanto, isto não se aplica a pessoas cegas, que dependem apenas do SAN para informações de direção.

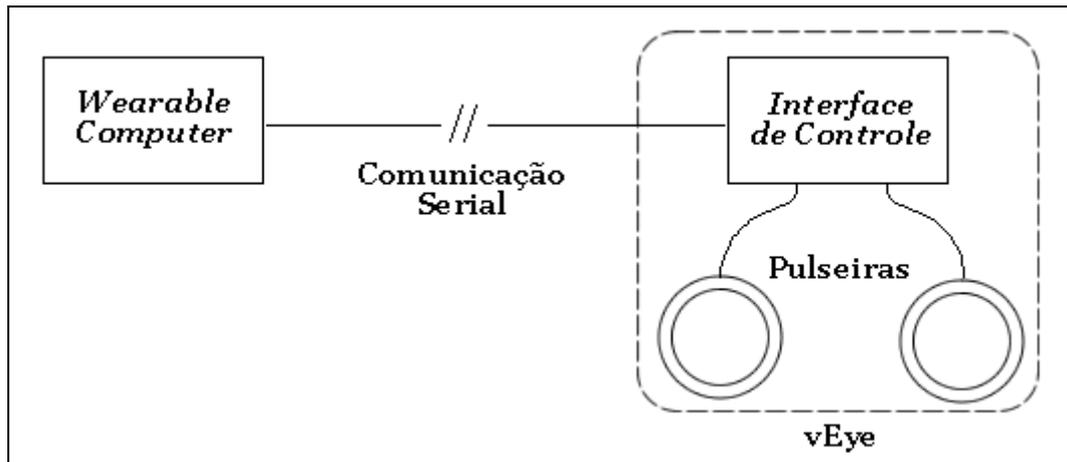
O pulso foi escolhido para o parâmetro *localização*, assim como no trabalho de [BOSMAN ET AL., 2003] por uma razão simples: os seres humanos costumam apontar direções usando as mãos e os braços. Dessa forma, dar *feedback* através de vibrações nesta região do corpo parece bastante intuitivo. Além disso, a *amplitude* foi escolhida arbitrariamente e foi mantida constante. Os parâmetros modificados em relação ao GentleGuide para codificar as direções foram a *freqüência* e a *temporização* das vibrações. A Tabela 2 mostra a codificação criada.

Instrução	Comportamento do vEye
Ir em frente	Vibração constante, de baixa freqüência, em ambas as pulseiras.
Mover-se lateralmente para a esquerda	Vibração constante, de baixa freqüência, na pulseira esquerda.
Mover-se lateralmente para a direita	Vibração constante, de baixa freqüência, na pulseira direita.
Rotacionar para a esquerda	Vibração intermitente, de alta freqüência, na pulseira esquerda.
Rotacionar para a direita	Vibração intermitente, de alta freqüência, na pulseira direita.
Parar	Vibração constante, de baixa freqüência, em ambas as pulseiras, mas de maneira alternada.

**Tabela 2: Codificação das instruções de navegação em vibrações**

## 5.2 ARQUITETURA DO DISPOSITIVO

Como foi mencionado anteriormente, o vEye foi criado para ser integrado a um SAN. Para dar suporte ao seu funcionamento, são necessários alguns recursos de *hardware* e *software*, que serão descritos nas seções 5.2.1 e 5.2.2, respectivamente. Vale ressaltar, entretanto, que é possível implementar da idéia usando componentes diferentes daqueles listados aqui. A Figura 15 mostra uma visão simplificada do vEye e da sua integração com o *wearable computer* do SAN.



**Figura 15: Visão simplificada do vEye**

### 5.2.1 COMPONENTES DE HARDWARE

O vEye é composto de apenas dois componentes de *hardware*: as pulseiras vibratórias e uma interface de controle. Esta última serve como ponte entre o *wearable computer* do SAN e as pulseiras, transmitindo a elas as instruções de direção provenientes do SAN. A comunicação entre a interface de controle e o SAN se dá através de uma conexão serial padrão.

A vibração nas pulseiras é obtida com a utilização de pequenos motores DC vibratórios disponíveis comercialmente, como os encontrados no interior de telefones celulares. A escolha pela utilização destes motores em detrimento de outras formas de vibração, como pequenos alto-falantes “mudos”<sup>1</sup>, deveu-se a dois fatores. Primeiramente, eles podem ser encontrados em vários tamanhos, o que é essencial para se produzir uma pulseira discreta e pouco intrusiva. Além disso, todos eles possuem uma capacidade de vibração que é mais do que suficiente para os propósitos deste trabalho. A Figura 16 mostra um exemplo destes motores.



**Figura 16: Motor DC de vibração**

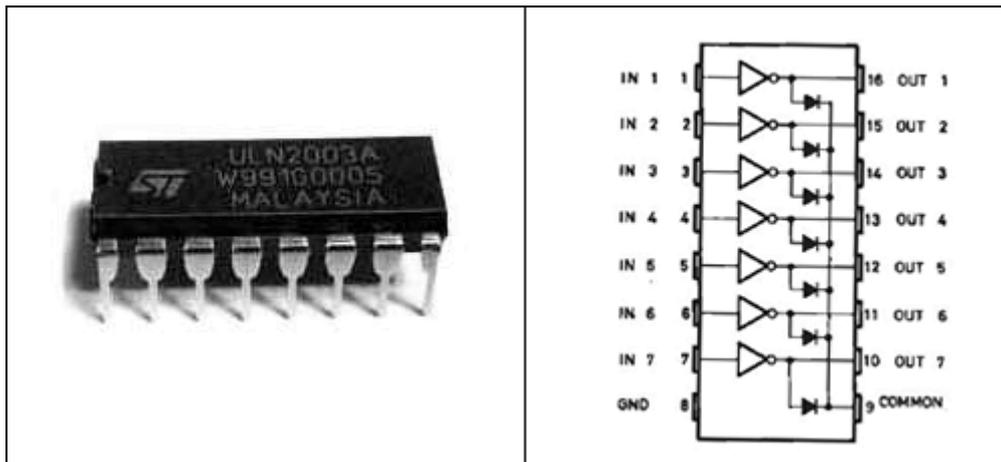
<sup>1</sup> Alto-falantes podem ser modificados para deixar de emitir sons, enquanto permanecem com a capacidade de vibrar quando alimentados por corrente elétrica.

---

O principal integrante da interface de controle é um microcontrolador, que também pode ser facilmente encontrado em lojas especializadas, a um baixo custo. Para a implementação, qualquer microcontrolador simples que possua suporte à comunicação serial, como o 8051, pode ser utilizado. Na implementação do protótipo, porém, foi utilizado um microcontrolador NIOS, da Altera, por motivos que serão explicitados na seção 5.3. Além de cuidar da comunicação serial, o microcontrolador também é responsável por controlar a velocidade dos motores, e conseqüentemente a vibração. Este controle é feito através de uma técnica chamada de *Pulse Width Modulation*, ou Modulação em Largura de Pulso (PWM). Basicamente, essa técnica permite codificar sinais analógicos, como a tensão de alimentação dos motores, de forma digital.

Os sinais digitais são representados por níveis de tensão que variam de acordo com a tecnologia utilizada, como CMOS ou TTL. Em todas elas, os *bits* '0' e '1' possuem alguma representação, exemplo, '0' sendo representado por 0V e '1' equivalendo a 5V. Em um motor DC, a velocidade é controlada por uma tensão, grandeza analógica, que varia de 0V até a tensão máxima suportada por ele. Quanto maior a tensão, maior a velocidade do motor. Assim, aparentemente é impossível controlar a sua velocidade utilizando sinais digitais. Entretanto, esta tarefa pode ser executada devido ao fato de que o motor continua girando por certo tempo, por causa da inércia, mesmo quando a alimentação é interrompida. PWM consiste em enviar pulsos digitais (ondas quadradas), com *duty-cycles* variados, para simular uma tensão. Por exemplo, o uso de um *duty-cycle* de 50% (ou seja, a informação digital ficaria metade do tempo em '1'/5V e metade do tempo em '0'/0V) resultaria numa tensão simulada de 2,5V. Alguns microcontroladores possuem um PWM implementado em *hardware*, enquanto outros precisam executar um programa para poder desempenhar esta função.

Para realizar a conexão dos motores com o microcontrolador, é necessário utilizar um pequeno circuito denominado *driver*. Isso acontece porque os motores DC normalmente demandam uma corrente elétrica alta, tipicamente centenas ou até milhares de miliamperes, que iriam rapidamente danificar o microcontrolador, que normalmente trabalha com valores de corrente inferiores a 20 mA. Além disso, estes circuitos têm a função de proteger o microcontrolador do "retorno" de corrente proveniente dos motores. No momento em que os motores estão desacelerando, eles podem, por um curto período de tempo, girar ao contrário, gerando uma corrente indutiva que poderia ser danosa ao microcontrolador. Um *driver* bastante comum usado para esta finalidade é o UNL2003, mostrado na Figura 17.



**Figura 17: Driver UNL2003**

### 5.2.2 COMPONENTES DE SOFTWARE

A estrutura de *software* necessária ao funcionamento do vEye é bastante reduzida. Um programa simples escrito em linguagem C é executado no microcontrolador, recebendo as instruções do SAN e traduzindo-as em controle para os motores. O protocolo de comunicação utiliza apenas um *byte* por mensagem, sendo quatro *bits* para a seleção do motor e quatro *bits* para o controle da velocidade. Dessa forma, podemos controlar até 16 motores, e configurá-los para trabalhar em 16 velocidades diferentes. Estes números são mais do que suficientes para o controle do dispositivo proposto, porém uma pequena modificação no programa poderia dar suporte à bem mais motores e velocidades, caso necessário.

Além desse programa, é necessário que um *software* seja executado no SAN para receber as instruções de direção mostradas na Tabela 2 e codificá-las de acordo com o protocolo apresentado acima.

### 5.3 DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO

Um protótipo do vEye foi implementado com o objetivo de validar os conceitos apresentados neste trabalho. Desempenho, tamanho e custo não foram relevantes durante o desenvolvimento do mesmo. Por exemplo, a placa usada na implementação da interface de controle custa cerca de quatro mil dólares, um custo impensável para uma tecnologia assistiva criada para uso pelo público em geral. Todos os componentes de *hardware* usados estavam disponíveis no laboratório do Grupo de Pesquisa em Redes e Telecomunicações do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco.

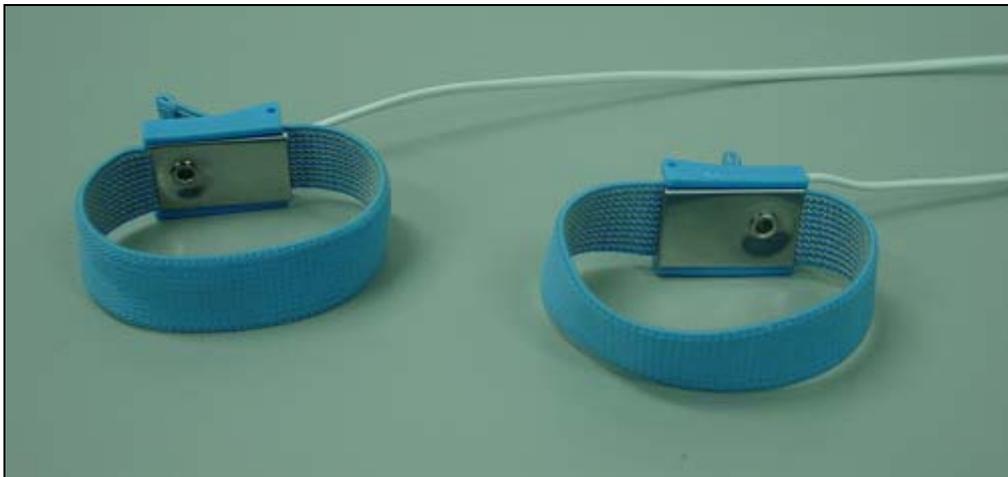
Como não havia nenhum SAN disponível para integração com o vEye, e a implementação de um sistema deste tipo fugiria do escopo deste trabalho, uma aplicação C# simples foi desenvolvida para simular o envio de instruções de navegação, a partir de um computador comum. Ela possui um botão para cada instrução mostrada na Tabela 2, e envia

o comando correspondente através da porta serial do computador. A interface da aplicação é mostrada na Figura 18.



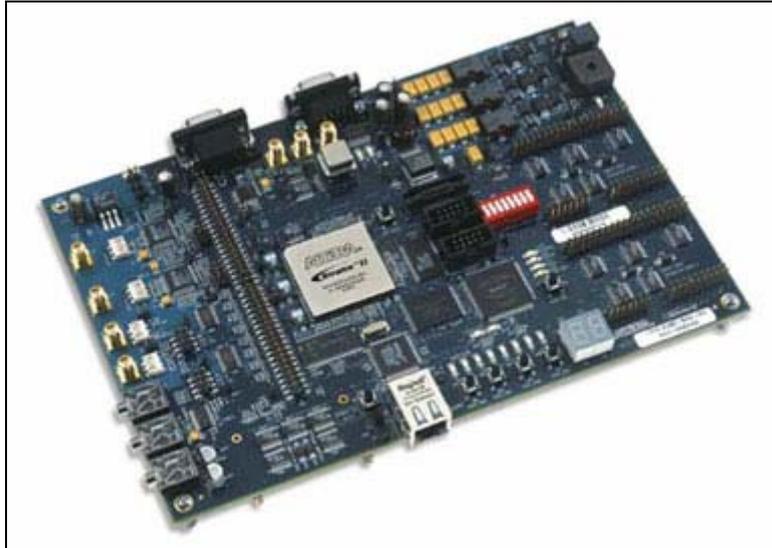
**Figura 18: Interface do simulador de instruções**

As pulseiras, principais componente do dispositivo, foram confeccionadas com a utilização de apenas dois motores, um para cada pulso, que foram anexados a duas pulseiras elásticas, conforme mostrado na Figura 19.



**Figura 19: Pulseiras do vEye**

A interface de controle foi implementada em uma placa de prototipação de FPGAs (*Field Programmable Gate Arrays*) da Altera, o DSP Development Kit Stratix II Edition. Por esta razão, o poderoso processador de propósito geral NIOS, que acompanha a placa, foi utilizado, ao invés de um microcontrolador simples como o 8051. Outra vantagem da utilização desta placa é o fato de o PWM poder ser implementado em *hardware*, mais especificamente na linguagem de descrição de *hardware* VHDL, simplificando bastante o código que executa no NIOS. A placa em questão é mostrada na Figura 20.



**Figura 20: DSP Development Kit, da Altera**

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

---

Este trabalho realizou um estudo sobre a utilização de TAs, com ênfase nos SAN, na melhoria da qualidade de vida de deficientes visuais. Uma amostra do estado-da-arte das TAs e de dispositivos hápticos foi apresentada. Além disso, os SAN foram estudados em detalhes, com a apresentação de uma taxonomia para os mesmos, juntamente com um estudo de como o processo de navegação é desempenhado pelos seres humanos. Ao final, um dispositivo háptico na forma de uma pulseira, integrável a um SAN, foi desenvolvido com sucesso.

Algumas dificuldades foram encontradas durante o desenvolvimento deste trabalho. Primeiro, a grande quantidade de pesquisas para o desenvolvimento de TAs torna difícil o levantamento do estado-da-arte das mesmas. Além disso, a relação íntima que a pesquisa em dispositivos hápticos possui com a pesquisa da fisiologia do tato dificulta o entendimento de alguns princípios básicos do funcionamento deste sentido humano por leigos. Por fim, a ausência de uma definição e de uma taxonomia formais para SAN dificulta a estruturação de um estudo sobre estes sistemas.

Trabalhos futuros incluem o teste do dispositivo desenvolvido em condições reais de utilização por deficientes visuais, além da avaliação e melhoria da qualidade da interface háptica desenvolvida através da utilização de um processo de usabilidade. A eficiência do protocolo empregado pelo dispositivo para fornecer o *feedback* háptico precisa ser cuidadosamente medida, uma vez que foi desenvolvida de forma *ad-hoc*, apenas com o objetivo de provar o conceito. Ao final, será possível avaliar a viabilidade técnica e comercial da solução desenvolvida, para produção em larga escala e utilização no dia-a-dia.

---

## REFERÊNCIAS

---

- [ADDLESEE ET AL., 1997] ADDLESEE M.D., JONES A.L., IVESEY F., ARIA F. ORL Active Floor. IEEE Personal Communications. New York, v. 4, n. 5, p. 35-41, out. 1997.
- [ADELSTEIN & ELLIS, 2000] ADELSTEIN B.D.; ELLIS S.R. Human and system performance in haptic virtual environments. Disponível: site NASA. URL: <http://vision.arc.nasa.gov:80/IHH/highlights/H%26S%20performance.html>, consultado em novembro de 2005.
- [ARTOOLKIT, 2006] ARTOOLKIT. Disponível: site ARToolkit. URL: <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit>, consultado em janeiro de 2006.
- [BENTZEN, 1979] BENTZEN B.L. *Orientation Aids*. Foundations of Orientation and Mobility, New York: AFB Press, 1979, p. 291.
- [BOSMAN ET AL., 2003] BOSSMAN S., GROENENDAAL B., FINDLATER J.W., VISSER, T., MARKOPOULOS P. Gentleguide: An exploration of haptic output for pedestrian guidance. In: MOBILE HCI, 2003, Udine, Proceedings. Grécia: Springer Publications, 2003. p. 358-362.
- [BRADLEY & DUNLOP, 2002 A] BRADLEY N.A., DUNLOP M.D. Realizing the potential of navigational context-aware technologies to facilitate visually impaired people. In: Workshop on Building Bridges: Interdisciplinary Context-Sensitive Computing, 2002, Glasgow, Proceedings.
- [BRADLEY & DUNLOP, 2002 B] BRADLEY N.A., DUNLOP M.D. Understanding contextual interactions to design navigational context-aware applications. In: MOBILE HCI, 2002, Pisa, Proceedings. Grécia: Springer Publications, 2002. p. 349-354.
- [BRADLEY & DUNLOP, 2002 C] BRADLEY N.A., DUNLOP M.D. Investigating context-aware clues to assist navigation for visually impaired people. In: Workshop on Building Bridges: Interdisciplinary Context-Sensitive Computing, 2002, Glasgow, Proceedings.
- [BRADYN, 1985] BRADYN J.A. *A review of mobility aids and means of assessment*. Electronic Spatial Sensing For the Blind- Contributions From Perception, Rehabilitation, and Computer Vision, Boston: Martinus Nijhoff Publishers, 1985, p. 13.
- [BRAMBRING, 1984] BRAMBRING M. *Mobility and Orientation Processes of the Blind*. Electronic Spatial Sensing For the Blind- Contributions From Perception, Rehabilitation, and Computer Vision, Boston: Martinus Nijhoff Publishers, 1984, p. 493.

- 
- [BROOKMAN, 2000] BROOKMAN J. *Teamwork brings gift of sight*. Times Higher Education Supplement, 2000.
- [COLLINS, 1984] COLLINS C.C. *On Mobility Aids for the Blind*. Electronic Spatial Sensing For the Blind- Contributions From Perception, Rehabilitation, and Computer Vision, Boston: Martinus Nijhoff Publishers, 1984, p. 328.
- [CRAIG & ROLLMAN, 1999] CRAIG J.C. , ROLLMAN G.B. Somesthesia. Annual Review of Psychology. 1999, v. 50, p. 305-331.
- [DARIAN-SMITH, 1984] DARIAN-SMITH I. *The sense of touch: performance and peripheral neural processes*. Handbook of Physiology: The Nervous System and Sensory Processes, Bethesda: American Physiology Society, 1984, p. 739.
- [D'AULIGNAC & BALANIUK, 1999] D'AULIGNAC D., BALANIUK, R. (1999). Providing reliable virtual, echographic exam of the human thigh. In: PHANToM User's Group Workshop, 1999, Cambridge, Proceedings.
- [DODDS ET AL., 1982] DODDS A.G., Howarth C.I., CARTER D.C. *The Mental Maps of the Blind*. Journal of Visual Impairment and Blindness. New York: AFB Press, 1982, p. 5.
- [DOSVOX, 2006] DOSVOX. Disponível: site Projetos de acessibilidade do NCE/UFRJ. URL: <http://intervox.nce.ufrj.br>, consultado em janeiro de 2006.
- [DYCK ET AL., 2003] DYCK J., PINELLE D., BROWN B., GUTWIN C. Learning from Games: HCI Design Innovations in Entertainment Software. In: Graphics Interface, 2003, Halifax, Proceedings, p. 237.
- [ERTAN ET AL., 1998] ERTAN S., LEE C., WILLETS A., TAN H., PENTLAND A. A Wearable Haptic Navigation Guidance System. In: International Symposium on Wearable Computer, 1998, Pittsburgh, Proceedings, p. 164.
- [FARMER, 1979] FARMER L. W. *Mobility Devices*. In: Foundations of Orientation and Mobility. New York: AFB Press, 1979, p. 357.
- [FOULKE, 1986] FOULKE, E. Report of the Working Group on Mobility Aids for the Visually Impaired and Blind. Available: site Universal Library. URL: [http://www.ulib.org/webRoot/Books/National\\_Academy\\_Press\\_Books/mobility\\_aids/mobility.htm](http://www.ulib.org/webRoot/Books/National_Academy_Press_Books/mobility_aids/mobility.htm), consultado em fevereiro de 2006.
- [GALLACE ET AL., 2005] GALLACE A., TAN H., SPENCE C. Tactile Change Detection Found. In: First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, 2005, Pisa, Proceedings, p. 12.
- [GAP, 2002] Gnome Accessibility Project. Available: site GNOME. URL:

---

<http://developer.gnome.org/projects/gap/guide/gad>, consultado em janeiro de 2006.

[GLINERT & YORK, 1992] GLINERT E.P., YORK B.W. Computers and People with Disabilities. Communications of the ACM. New York, v. 35, n. 5, p. 32-35, 1992.

[GOLLEDGE ET AL., 1998] GOLLEDGE R.G., KLATZKY R.L., LOOMIS J.M, SPEIGLE J. TIETZ J. A geographical information system for a GPS based personal guidance system. International Journal of Geographical Information Science. Stanford, v. 12, n. 7, p. 727-749, 1998.

[GRABOWSKI & BARNER, 1998] GRABOWSKI N. A., BARNER, K. E. Data visualisation methods for the blind using force feedback and sonification. SPIE Conference on Telemanipulator and Telepresence Technologies. 1998, Boston, Proceedings.

[GRUENER, 1998] GRUENER G. (1998). *Telementoring using haptic communication*. Colorado: University of Colorado. Dissertação de Doutorado.

[HENLE & DONALD, 1999] HENLE F., DONALD B. Haptics for animation motion control. In: PHANToM User's Group Workshop, 1999, Cambridge, Proceedings.

[HESPANHA ET AL., 2000] HESPANHA J., SUKHATME G., MCLAUGHLIN M., AKBARIAN M., GARG R., ZHU W. Heterogeneous haptic collaboration over the Internet. In: PHANToM User's Group Workshop, 2000, Aspen, Proceedings.

[HINE & NOORALAHIVAN, 1998] HINE J., NOORALAHIVAN A. Improving mobility and independence for elderly, blind and visually impaired people. In: Technology Initiatives for Disabled and Elderly Persons Conference. 1998, Helsinki, Proceedings.

[IWATA & HASHIMOTO, 1997] IWATA H., YANO H., HASHIMOTO W. LHX: An integrated software tool for haptic interface. Computers and Graphics. Orlando, v. 21, n. 4, p. 413-420., 1997.

[JAWS, 2006] JAWS. Disponível: site JAWS. URL: <http://www.nanopac.com/JAWS.htm>, consultado em janeiro de 2006.

[KACZMAREK, 1991] KACZMAREK K. A. Electrocutaneous and vibratactile displays for sensory substitution systems. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. New York, v. 38, n. 1, p. 1-16, 1991.

[KAY, 1980] KAY L. *Air sonar with acoustical display of spatial information*. In: Animal Sonar System. New York: Plenum Press, 1980, p. 769.

[KEMMERLING & SCHLIEPKORTE, 1998] KEMMERLING M., SCHLIEPKORTE H.J. An orientation and information system for blind people based on RF-speech-beacons. In: Technology Initiatives for Disabled and Elderly Persons Conference. 1998, Helsinki,

---

Proceedings.

[KIRKPATRICK & DOUGLAS, 1999] KIRKPATRICK A., Douglas S. Evaluating haptic interfaces in terms of interaction techniques. PHANTOM User's Group Workshop, 1999, Cambridge, Proceedings.

[KITCHEN & JACOBSON, 1997] KITCHEN R.M., JACOBSON D. Techniques to collect and analyze the cognitive map knowledge of people with visual impairments or blindness: Issues of validity. *Journal of Visual Impairment and Blindness*. New York: AFB Press, 1997, p. 360.

[KITCHIN ET AL., 1997] KITCHIN R.M., BLADES M., GOLLEDGE R.G. Understanding spatial concepts at the geographic scale without the use of vision. *Progress in Human Geography*. Manchester, v. 21, n. 2, p. 225-242, 1997.

[KLATZKY & LEDERMAN, 2000] KLATZKY R. L., LEDERMAN S. J. (2000). *Modality specificity in cognition: The case of touch*. The Nature of Remembering: Essays in Honor of Robert G. Crowder. Washington: American Psychological Association Press.

[LAMOTTE & SRINIVASAN, 1991] LAMOTTE R.H., SRINIVASAN M.A. Surface microgeometry: Neural encoding and perception. In: *Information Processing in the Somatosensory System*. 1991, London, Proceedings, p. 49-58.

[LANGRANA ET AL., 1997] LANGRANA N., BURDEA G., LADEJI J., DINSMORE, M. (1997). Human performance using virtual reality tumor palpation simulation. In: *Computers and Graphics*. Orlando, v. 21, n. 4, p. 451-458, 1997.

[LEI 10048, 2000] BRASIL, Lei 10048. Disponível: site Presidência da República. URL: [http://www.presidencia.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L10048.htm](http://www.presidencia.gov.br/ccivil_03/Leis/L10048.htm), consultado em janeiro de 2006.

[LEI 10098, 2000] BRASIL, Lei 10098. Disponível: site Presidência da República. URL: [http://www.presidencia.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L10098.htm](http://www.presidencia.gov.br/ccivil_03/Leis/L10098.htm), consultado em janeiro de 2006.

[LOOMIS ET AL., 1994] LOOMIS J.M., GOLLEDGE R.G., KLATZKY R.L., SPEIGLE J.M., TIETZ J. Personal guidance system for the visually impaired. In: *Communications of the ACM*. New York, v. 2, p. 85-91, 1994.

[MACLEAN, 1996] MACLEAN K.E. The "haptic" camera: a technique for characterizing and playing back haptic properties of real environments. In: *ASME Dynamic Systems and Control Division*. Dallas, v. 58, p. 459-467, 1996.

[MAHVASH & HAYWARD, 2003] MAHVASH M., HAYWARD V. Passivity-based high-fidelity based haptic rendering of contact. In: *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 2003, Taipei, Proceedings.

[MASSIE & SALISBURY, 1994] MASSIE T.H., SALISBURY J.K. The phantom interface: A

- device for probing virtual objects. In: Symposium on Haptic Interfaces for a Virtual Environment and Teleoperator Systems. 1994, Connecticut, Proceedings.
- [MCLAUGHLIN ET AL., 2000] MCLAUGHLIN M.L., SUKHATME G., HESPANHA J., SHAHABI C., ORTEGA A., MEDIONI G. The haptic museum. In: EVA 2000 Conference on Electronic Imaging and the Visual Arts. 2000, Florence, Proceedings.
- [MCLUHAN, 1962] MCLUHAN H.M. *The Gutenberg Galaxy: The Making of Typographic Man*. Toronto: University of Toronto Press. 1962.
- [MCMILLAN, 1992] MCMILLAN W.W. *Computing for Users with Special Needs and Models of Computer-Human Interaction*. In: Conference on Human Factors in Computing Systems. 1992, Monterey, Proceedings, p. 143-148.
- [MEIJER, 2000] MEIJER, P. Sensory Substitution. Disponível: site Visual Prothesis. URL: <http://www.visualprothesis.com/sensub.htm>, consultado em dezembro de 2005.
- [MORGENBESSER & SRINIVASAN, 1996] MORGENBESSER H.B., SRINIVASAN M.A. Force shading for haptic shape perception. In: Symposium on Haptic Interfaces for a Virtual Environment and Teleoperator Systems. 1996, Los Angeles, Proceedings, p. 407–412.
- [MSACCESSIBILITY, 2006] Active Accessibility. Disponível: site Microsoft. URL: <http://www.microsoft.com/enable>, consultado em janeiro de 2006.
- [MULTIVIS, 2006] MULTIVIS Project. Disponível: site Universidade de Glasgow. URL: <http://www.dcs.gla.ac.uk/~rayu/home.html>, consultado em fevereiro de 2006.
- [OAKLEY ET AL., 2000] OAKLEY I., MCGEE M., BREWSTER S.A., GRAY P.D. Putting the feel in look and feel. In: ACM Conference on Human Factors and Computing Systems. 2000, The Hague, Proceedings.
- [O'MODHRAIN & GILLESPIE, 1999] O'MODHRAIN M.S., GILLESPIE B. The Moose: A haptic user interface for blind persons. Disponível: site Universidade de Stanford. URL: <http://archimedes.stanford.edu/videotap/moose.html>, consultado em novembro de 2005.
- [ORR & ABOWD, 2000] ORR R., ABOWD G. The smart floor: A mechanism for natural user identification and tracking. In: ACM Conference on Human Factors and Computing Systems. 2000, The Hague, Proceedings.
- [PAL, 2006] Personal Área Locator. Disponível: site Blind Navigation Project. URL: <http://blind-guidance.open.ac.uk>, visitado em outubro de 2005.
- [PETRIE, 1995] PETRIE, H. User requirements for a GPS-based travel aid for blind people. In: Conference on Orientation and Navigation Systems for Blind Persons. 1995, Hatfield, Proceedings.

- 
- [PITT & EDWARDS, 1996] PITT, I.J., Edwards A.D.N., Improving the usability of speech-based interfaces for blind users. In: ACM conference on Assistive technologies. 1996, Vancouver, Proceedings, p. 124 –130.
- [PWWEBSPEAK, 2006] PWWSPEAK. Disponível: site Soundlinks. URL: <http://www.soundlinks.com/pwgen.htm>, visitado em Janeiro de 2006.
- [RAN ET AL., 2004] RAN L., HELAL S., MOORE S. Drishti: An Integrated Indoor/Outdoor Blind Navigation System and Service. In: IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication. 2004, Orlando, Proceedings, p. 23-31.
- [RANDALL ET AL., 2004] RANDALL J., BHARATULA N., PERERA N., VON BÜREN T., OSSEVOORT S., TRÖSTER G. Indoor Tracking using Solar Cell Powered System: Interpolation of Irradiance. In: International Conference on Ubiquitous Computing. 2004, Nottingham, Proceedings.
- [ROSS & BLASCH, 2000] ROSS D.A., BLASCH B.B. Evaluation of Orientation Interfaces for Wearable Computers. In: International Symposium on Wearable Computers. 2000, Hiroshima, Proceedings.
- [SALISBURY ET AL., 1995] SALISBURY K., BROCK D., MASSIE T., SWARUP N., ZILLES C. Haptic Rendering: Programming Touch Interaction with Virtual Objects. In: ACM Symposium on Interactive 3D Graphics. 1995, , Proceedings, p. 123-130.
- [SECTION 508, 1998] SECTION 508. Disponível: site Section 508. URL: <http://www.section508.gov>, consultado em janeiro de 2006.
- [SHAMS, 2000] SHAMS, L. A visual illusion induced by sound. In: Multisensory Research Conference. 2000, New York, Proceedings.
- [SHORE ET AL., 2000] SHORE D.I., SPENCE C., KLEIN R.M. Prior entry: previous confounds and novel findings using an orthogonal design. In: Multisensory Research Conference. 2000, New York, Proceedings.
- [SHULMAN, 1998] SHULMAN, S. Digital antiquities. In: Computer Graphics World, New York, v. 21, n. 11, p. 34–38, 1998.
- [SIMON & GREEN, 2000] HARPER S., GREEN P. A Travel Flow and Mobility Framework for Visually Impaired Travellers. In: International Conference on Computers Helping People with Special Needs. 2000, Germany, Proceedings, p. 289-296.
- [SJÖSTROM, 1997] SJÖSTROM, C. The Phantasticon: The PHANToM for disabled children. Disponível: site Lund University. URL: <http://www.certec.lth.se>, consultado em janeiro de 2006.

- 
- [SMARTSIGHT, 2006] *Musical key to 'sight' for blind*. The Guardian, 2006.
- [SONNENBLICK, 1998] SONNENBLICK Y. An indoor navigation system for blind individuals. In: California State University, Northridge Conference. 1998, Los Angeles, Proceedings.
- [STROTHOTTE ET AL., 1996] STROTHOTTE T., FRITZ, S., MICHEL R., RAAB, A., PETRIE, H., JOHNSON V., REICHERT L., SCHALT A. Development of Dialogue Systems for the Mobility Aid for Blind People: Initial Design and Usability Testing. In: ASSETS '96. 1996, Vancouver, Proceedings, p. 139-144.
- [STROTHOTTE ET AL., 1998] STROTHOTTE T., PETRIE H., JOHNSON V., REICHERT L. MoBIC: User needs and preliminary design for a mobility aid for blind and elderly travellers. In: Technology Initiatives for Disabled and Elderly Persons Congress. 1998, Paris, Proceedings.
- [SUTHERLAND, 1968] SUTHERLAND I. A head-mounted three dimensional display, In: First Joint Computer Conference. 1968, Washington, Proceedings, p. 757-764.
- [UDESIGN, 1999] Guidelines for Use of the Principles of Universal Design. Disponível: site Universidade Estadual da Carolina do Norte. URL: [http://design.ncsu.edu/cud/univ\\_design/principles/udprinciples.htm](http://design.ncsu.edu/cud/univ_design/principles/udprinciples.htm), consultado em fevereiro de 2006.
- [UNGAR ET AL., 1996] UNGAR S., BLADES M., SPENCER C., MORSLEY K. *The ability of visually impaired children to locate themselves on a tactile map*. Journal of Visual Impairment and Blindness. New York: AFB Press, 1996, p. 526.
- [VANDERHEIDEN, 1990] VANDERHEIDEN G.C. Thirty-Something Million: Should They be Exceptions? Human Factors. Santa Monica: Human Factors and Ergonomics Society, v. 32, n. 4, 1990, p. 383-396.
- [WAGNER & SCHMALSTIEG, 2003] WAGNER D., SCHMALSTIEG D. First Steps Towards Handheld Augmented Reality. In: International Conference on Wearable Computers. 2003, White Plains, Proceedings.
- [WHITNEY, 1998] WHITNEY G. The use of remotely triggered talking sign systems by blind and partially sighted people. In: Technology Initiatives for Disabled and Elderly Persons Conference. 1998, Helsinki, Proceedings.
- [WHO, 2002] ORGANIZAÇÃO Mundial de Saúde. Magnitude and causes of visual impairment. Disponível: site Organização Mundial de Saúde. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en>, consultado em setembro de 2005.
- [WICKENS & LIU, 1988] WICKENS C.D., LIU Y. Codes and modalities in multiple resources:

---

A success and A qualification. Human Factors. Human Factors. Santa Monica: Human Factors and Ergonomics Society, v. 30, n. 5, 1990, p. 599–616.

[WINGMAN, 2006] Logitech's WingMan Force Feedback Mouse. Disponível: site Immersion Corp. URL: <http://www.immersion.com/corporate/pressreleases/1999/991124.shtml>, consultado em novembro de 2005.

[ZASLAVSKY & GUS, 2002] ZASLAVSKY C. GUS I. Idoso: Doença Cardíaca e Comorbidades. Arquivos Brasileiros de Cardiologia. São Paulo, v. 79, n. 6, 2002.