

SANDER MAEDA GARBIN

ESTUDO DA EVOLUÇÃO DAS INTERFACES HOMEM-COMPUTADOR.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Escola de Engenharia de São Carlos, da
Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica
com ênfase em Eletrônica

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ivan Nunes da Silva

São Carlos
2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

G213e Garbin, Sander Maeda
 Estudo da evolução das interfaces homem-computador /
Sander Maeda Garbin ; orientador Ivan Nunes da Silva. --
São Carlos, 2010.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em
Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica) -- Escola
de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2010.

1. Interação homem-máquina. 2. *Natural user
interface*. 3. Realidade misturada. 4. *Organic user
interface*. 5. Computação ubíqua. 6. *Brain-computer
interface*. I. Título.

Sumário

Lista de siglas.....	3
Resumo.....	5
Abstract.....	7
1 Introdução.....	9
2 Objetivos.....	11
3 Contexto teórico.....	13
3.1 Conceitos.....	13
3.1.1 Usabilidade.....	13
3.1.2 Ergonomia.....	15
3.1.3 Aprendizagem.....	16
3.1.4 Acessibilidade.....	18
3.1.5 Interatividade.....	18
3.2 Motivação.....	20
3.3 Fatores de mercado.....	22
3.4 Interfaces como parte do entretenimento.....	29
4 Histórico e análise.....	37
4.1 <i>Command-Line Interface</i>	37
4.2 <i>Graphical User Interface</i>	39
4.2.1 <i>Displays</i> com imagens em 3D.....	41
4.2.2 <i>Displays</i> estereoscópicos.....	41
4.2.3 Multiplexação por separação física dos <i>displays</i>	43

4.2.4	Multiplexação temporal.....	44
4.2.5	Multiplexação por polarização passiva	45
4.2.6	Multiplexação por comprimento de onda	46
4.2.7	<i>Displays</i> autoestereoscópicos	47
4.3	<i>Natural User Interface</i>	52
4.3.1	<i>Displays</i> multitoque	57
4.3.2	Realidade Misturada	61
4.4	<i>Tangible User Interface</i>	65
4.5	<i>Organic User Interface</i>	67
4.6	Computação Ubíqua	70
4.7	<i>Brain-Computer Interface</i>	72
4.8	Aumentação Humana	74
5	Considerações finais	77
	Referências Bibliográficas	79

LISTA DE SIGLAS

- 3D – Tridimensional;
- ACHE – *Adaptive Control of Home Environments*;
- AVC – Acidente Vascular Cerebral;
- BCI – *Brain-Computer Interface*;
- CG – Computação Gráfica;
- CGH – *Computer Generated Holography*;
- CLI – *Command-Line Interface*;
- CRT – *Cathode Ray Tube*;
- DI – *Diffused Illumination*;
- DNA – *Deoxyribonucleic Acid*;
- ECoG – Eletrocorticografia;
- EEG – Eletroencefalografia;
- ELA – Esclerose Lateral Amiotrófica;
- EM – Esclerose Múltipla;
- ENIAC – *Electronic Numerical Integrator And Computer*;
- EUP – *End-User Programming*;
- FOLED – *Flexible Organic Light-Emitting Diode*;
- FOV – *Field of View*;
- FTIR – *Frustrated Total Internal Reflection*;
- GPS – *Global Positioning System*;
- GUI – *Graphical User Interface*;
- HAL – *Hybrid Assistive Limb*;
- HMD – Head-Mounted Display;
- HUD – *Heads-Up Display*;
- IHC – Interação Humano-Computador;
- ISO – *International Organization for Standardization*;
- KOI – *Kinetic Organic Interface*;
- KUI – *Kinetic User Interface*;
- LCD – *Liquid Crystal Display*;
- LED – *Light-Emitting Diode*;
- MIT – *Massachusetts Institute of Technology*;
- NASA – *National Aeronautics and Space Administration*;
- NUI – *Natural User Interface*;

- OLED – *Organic Light-Emitting Diode*;
- OUI – *Organic User Interface*;
- PDA – *Personal Digital Assistant*;
- POV – *Point of View*;
- RA – *Realidade Aumentada*;
- RF – *Radiofrequência*;
- RV – *Realidade Virtual*;
- SVR – *Subvocal Recognition*;
- TUI – *Tangible User Interface*;
- WIMP – *Window, Icon, Menu, Pointing device*;
- WYSIWYG – *What You See Is What You Get*.

RESUMO

O presente trabalho procura mostrar uma análise teórica da IHC (Interação Humano-Computador). Compreende o estudo dos conceitos científicos e históricos nos quais a Interação Humano-Computador está inserida e suas diferentes vertentes. Considerando que a interface homem-máquina vem sendo explorada de modo mais intuitivo, natural e rápido, procura-se dar foco na contextualização e no estudo teórico das interfaces, com a avaliação do impacto gerado na sociedade, as aplicações, vantagens e desvantagens. São apresentadas, também, as tendências atuais aplicadas a IHC, fazendo uma prospecção para o futuro.

Palavras-chave: Interação Humano-Computador, *Natural User Interface*, Realidade Misturada, *Organic User Interface*, Computação Ubíqua, *Brain-Computer Interface*.

ABSTRACT

This paper shows a theoretical analysis on HCI (Human-Computer Interaction). It includes the study of scientific and historical concepts on which the Human-Computer Interaction is inserted and its different aspects. Considering man-machine interface has been explored in a more intuitive, natural and fast way, focus is being given on contextualization and theoretical study of interfaces, assessing its impact on society, applications, advantages and disadvantages. Also presented are current trends applied to HCI, making future projections.

Keywords: Human-Computer Interaction, Natural User Interface, Mixed Reality, Organic User Interface, Ubiquitous Computing, Brain-Computer Interface.

1 INTRODUÇÃO

A proposta deste Trabalho de Conclusão de Curso é, diferentemente do convencionado pelos padrões do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos, de uma análise estritamente teórica da IHC (Interação Humano-Computador), a partir do estudo dos contextos científico e histórico nos quais está inserida, suas diferentes vertentes, além do estudo do estado da arte e das tendências nos diferentes campos de pesquisa e no mercado.

Entretanto, antes mesmo de tentar compreender as interações entre homens e máquinas, é preciso entender o processo da comunicação humana. Fischler e Firschein [1] explicam que as pessoas se comunicam para comandar, interrogar, responder e persuadir as outras pessoas. A comunicação se faz necessária sempre que uma pessoa pretende compartilhar um pensamento ou um modelo, para torná-lo comum.

São necessários diversos componentes para que seja estabelecida comunicação: o emissor, o receptor, a mensagem, o canal de propagação, o meio de comunicação, a resposta (*feedback*) e o ambiente no qual se estabelece a comunicação e está sujeito a ruídos. É preciso também que todos os envolvidos possuam uma área comunicativa comum para que a mensagem consiga atravessar o canal de comunicação e haja entendimento. Segundo o modelo transacional de Barnlund [2], a comunicação é ativa, de modo que a interação de envio e recepção de mensagens entre as partes envolvidas é mútua e simultânea.

Os canais de propagação das mensagens são os mais variados, podendo ser verbais, não verbais ou mediados. A linguagem verbal é a realizada com sinais verbais, como a fala, a escrita, a música e o tom de voz. Canais não verbais incluem sinais como linguagem corporal, gestos, linguagem de sinais, simbologia, expressões faciais e toque. A comunicação mediada ocorre quando um tipo de aparato técnico, como um aparelho digital, intermedia os locutores.

A definição de interface, segundo o dicionário Aurélio [3] é: “Limite comum a dois corpos, sistemas, fases ou espaços, que permite sua ação mútua ou intercomunicação ou trocas entre eles”. E especificamente no campo da informática, a definição de interface de usuário trazida pelo mesmo é: “Meio físico ou lógico através do qual um ou mais dispositivos ou sistemas incompatíveis conseguem comunicar-se entre si”. Em um âmbito mais geral, englobando, por exemplo, interfaces entre

usuários e veículos ou máquinas industriais, o termo utilizado é interfaces homem-máquina.

Quando humanos interagem com máquinas, a interface é geralmente passiva e a resposta da máquina contém pouca informação pertinente às ações que realizam e ao ambiente em que se encontram. Ou seja, a informação costuma seguir, em sua grande maioria, o sentido do homem para a máquina, tendo pouco retorno, geralmente em forma de recurso visual ou sonoro, no sentido inverso. Tufte [4] diz que o problema da IHC é o fato de que tanto o homem quanto o computador são poderosos processadores de informação, tentando se comunicar por uma interface restrita, de banda estreita.

Diversos esforços são realizados há décadas na tentativa de simplificar essa comunicação, com novas opções de tecnologias para a melhoria do *feedback* do computador com o usuário, mediante uma interface que explora mais profundamente seus órgãos sensoriais e motores; traduzindo os formalismos das linguagens do sistema e do usuário para, deste modo, alcançar uma maior intuitividade que o humano tem ao se relacionar com o computador, tornando-a mais natural e mais rápida.

Partindo do estudo do contexto teórico ao se definir conceitos fundamentais acerca do assunto, serão analisadas as razões e motivações desses esforços para o desenvolvimento de diferentes formas de interfaces, estabelecendo uma base para compará-las.

Tendo claros os conceitos e perspectivas consideram-se as tecnologias envolvidas em suas diferentes fases e vertentes de desenvolvimento, suas aplicações e os benefícios que trazem.

Enfim, será mostrado um estudo sobre as tendências atuais de pesquisas de tecnologias aplicadas a IHC, fazendo uma prospecção para o futuro.

2 OBJETIVOS

O interesse em pesquisas realizadas na área de IHC se mostra massivo há muitas décadas e não há sinal de diminuição do ritmo, já que a quantidade de campos de pesquisa que permeia o assunto também está em constante expansão, alcançando grande amplitude. Isto faz com que a produção acadêmica e de patentes ocorra em ritmo alucinante, de difícil acompanhamento para atualização com tão variados tópicos.

O trabalho pretende centrar-se na contextualização e no estudo teórico das interfaces, permitindo que se encontrem os conceitos relacionados ao assunto; sejam feitas análises de questões como o impacto gerado na sociedade, aplicações, vantagens, desvantagens, tecnologias envolvidas, além de um prospecto para o futuro das tecnologias para IHC.

Esta abordagem visa unir os tópicos citados acerca das interfaces em um mesmo material, apresentando visões desenvolvidas após estudos dispersos, propiciando maior compreensão sobre o assunto.

3 CONTEXTO TEÓRICO

3.1 CONCEITOS

Este item trata sucintamente de alguns dos conceitos e definições fundamentais para o esclarecimento dos temas abordados neste texto, a fim de estabelecer um entendimento comum dos itens posteriores.

3.1.1 Usabilidade

A ISO (*International Organization for Standardization*), por meio da norma ISO 9241-11 [5], define usabilidade como a medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com efetividade, eficiência e satisfação em um determinado contexto de uso.

Ao se referir a “usuários específicos” e “objetivos específicos”, a norma mostra que o projeto de um sistema interativo deve levar em conta a eficácia de utilização de seu usuário-alvo, como o fato de ele ter ou não familiaridade com sistemas de natureza similar, e na sua funcionalidade. Uma funcionalidade que se mostra muito complexa para um usuário, apresentada de forma confusa de nada serve. Deve-se buscar uma forma das suas funcionalidades, por mais complexas que possam ser, interagirem com o usuário de maneira simples e intuitiva, levando em conta os seus fatores humanos (ergonomia) e minimalizando a interface.

A norma ISO/IEC 9126-1 [6] define as características que um sistema dotado de usabilidade deve possuir:

- Inteligibilidade, que representa a facilidade com que o usuário pode compreender as suas funcionalidades e avaliar se o mesmo pode ser usado para satisfazer as suas necessidades específicas;
- Apreensibilidade, identificando a facilidade de aprendizado do sistema para os seus potenciais usuários;
- Operacionalidade é como o produto facilita a sua operação por parte do usuário, incluindo a maneira como ele tolera erros de operação;

- A atratividade envolve características que possam atrair um potencial usuário para o sistema, o que pode incluir desde a adequação das informações prestadas para o usuário até os requintes visuais utilizados na sua interface gráfica.

Esse conceito pode ser ilustrado através do exemplo do console de jogos eletrônicos *Nintendo Wii*, que obteve sucesso de vendas em todos os segmentos do mercado, desde as pessoas acostumadas a interagir com jogos eletrônicos até pessoas que nunca o fizeram. Isso se deve à facilidade que oferece na operacionalidade, no entendimento e no aprendizado dos comandos simplificados, comparativamente ao modelo tradicional de *joysticks* muitas vezes intimidadores, traduzindo-se em atratividade ao usuário advinda da novidade e quebra de barreiras que aproximam o usuário da função que deseja realizar.

Para que um sistema interativo seja dotado de usabilidade, segundo Cybis, Betiol e Faust [7], levam-se em consideração os seus contextos de uso e da participação ativa do usuário nas decisões de projeto da interface, estabelecendo uma relação entre usuário, tarefa, interface, equipamento e demais aspectos do ambiente no qual o usuário utiliza o sistema.

Ao longo dos anos, diversos autores e instituições descreveram critérios e princípios para o estabelecimento da usabilidade em um sistema, inclusive a própria ISO, que propõe sete princípios ergonômicos para projeto e avaliação de IHC através da sua norma ISO 9241-10 [8]:

- Adaptação à tarefa;
- Autodescrição (*feedback*);
- Controle ao usuário;
- Conformidade às expectativas do usuário;
- Tolerância aos erros;
- Facilidade de individualização;
- Facilidade de aprendizagem.

3.1.2 Ergonomia

A definição dada por Wisner [9] explica que ergonomia é o conjunto de conhecimentos científicos relativos ao homem e necessários à concepção de instrumentos, máquinas e dispositivos que possam ser utilizados com o máximo de conforto, segurança e eficiência.

Durante a concepção de uma IHC devem ser levados em conta tanto o componente físico, como o mental das atividades humanas. Deste modo, deve ser dado enfoque no comportamento humano e valer-se dos resultados do estudo de estruturas cognitivas humanas, que são preponderantes no caso de tarefas informatizadas.

As estruturas cognitivas humanas estão ligadas à percepção que temos da realidade através das informações sensoriais ao se detectar, identificar e interpretar sinais, e que nos leva ao raciocínio, produzindo ideias novas a partir das adquiridas, e ao aprendizado.

Uma IHC deve ser flexível o suficiente para adequar-se aos diferentes tipos de usuários, que interpretam sinais de maneiras muitas vezes divergentes, ao mesmo tempo em que possa se adaptar à evolução das características dos usuários durante seu processo de aprendizagem com o sistema, sendo amigável e confortável, tanto para usuários novatos, quanto para os experientes.

A urna eletrônica utilizada nas eleições no Brasil permite ilustrar um exemplo da ergonomia e da usabilidade de uma interface. A interface da urna é simples e acessível: o *input* é efetuado através de grandes botões com cores que facilitam a identificação da função que representam e possuem caracteres nítidos e *braille*; enquanto o *feedback* é feito pela exposição da foto do candidato e sinais sonoros atrelados às funções dos botões, indicando sucesso da operação realizada. Ao se utilizar da visão, tato e audição em uma interface intuitiva e amigável, visa-se possibilitar boa usabilidade e conforto até mesmo para pessoas que votam pela primeira vez através do sistema eletrônico.

3.1.3 Aprendizagem

A aprendizagem é o processo através do qual se adquire novas habilidades, destrezas, conhecimentos, condutas ou valores como resultados do estudo, experiência, instrução e observação.

Um modo comum e simplificado de se analisar o quanto uma tarefa é complexa ou quanto pode ser amigável, estando ligada diretamente ao conceito de usabilidade, é a utilização de uma curva de aprendizagem, como a mostrada na Figura 3.1.1.

A curva de aprendizagem descreve graficamente a variação da taxa de aprendizagem, adotando uma média das respostas dos usuários, para uma ferramenta ou atividade ao se plotar uma medida de habilidade, como quantidade de sucessos nas tarefas de complexidade crescente, no eixo das ordenadas e o número de tentativas (podendo também ser medido pelo tempo) no eixo das abscissas. Ela pode representar uma noção inicial da dificuldade de aprendizagem de algo, quanto há para se aprender após um momento inicial de familiaridade e o quão amigável ao usuário e usável é a interface, o que se mostra um fator essencial.

De modo geral, a aprendizagem de tarefas complexas, o progresso nas tentativas iniciais é lento, quando o usuário se familiariza com os componentes básicos, ocorrendo muitos erros até que haja um bom entendimento do funcionamento. Em seguida, entretanto, com maior experiência na base rudimentar, o aumento da retenção de informação é mais acentuado, com diminuição dos erros e mostrando grande progresso ao unir os componentes aprendidos em novas experiências, provocando uma subida abrupta no gráfico. Finalmente, a curva estabiliza em uma planície em decorrência da menor quantidade de informação retida após cada repetição, pois se torna mais difícil adquirir conhecimentos novos após um tempo decorrido e um nível atingido, adquirindo comumente um formato de S.

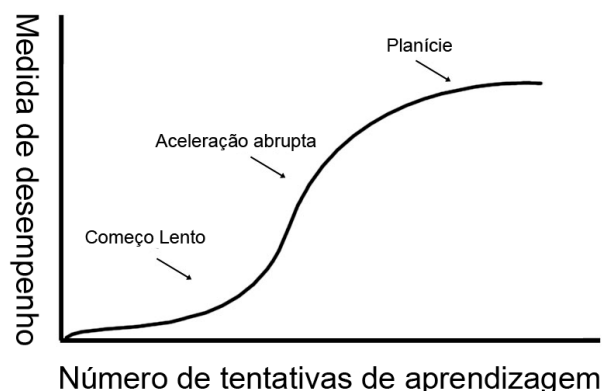


Figura 3.1.1: Curva de aprendizagem em formato de S.

O formato da curva varia, podendo ser mais plano, mais inclinado, ou ter regiões mais planas ou inclinadas do que outras. Isto depende de vários fatores, como:

- Conhecimento prévio do tema, habilidade e aptidão do usuário;
- Método de ensino, de didática e de aprendizagem;
- Contexto da aprendizagem (harmonia entre o método, o lugar de ensino e a personalidade do usuário etc.);
- Contexto temático e sucessão didática.

Quanto maior a inclinação da curva, maior é a eficiência da aprendizagem, representando que, comparativamente à quantidade de prática, treinamento e tempo que o usuário dedicou à tarefa de aprendizagem, resultou em um grande progresso.

Uma curva mais plana indica um progresso lento e maior dificuldade de aprendizagem, o que pode desmotivar o usuário. Esta análise pode ocorrer tecnicamente ou inconscientemente, porém, de um modo ou de outro, são indicativo da usabilidade e ergonomia.

As elevadas taxas de erros na utilização de um equipamento ou *software* de difícil aprendizado e operação levam a uma modificação ou duplicação da tarefa, o que requer maior esforço para adaptação do usuário, levando-o à frustração e estresse, e também a prejuízos devidos à utilização inadequada e subutilização, causando desestímulo e desinteresse do usuário e impressão negativa do produto no mercado.

3.1.4 Acessibilidade

Prover acessibilidade, segundo o *site* Acessibilidade Brasil [10], é fornecer direito de acesso a redes de informação, eliminar barreiras, sejam elas de comunicação, arquitetônicas, físicas, de equipamento, de conteúdo e da sua apresentação, que previnem pessoas com deficiências de participar de atividades substanciais da vida, incluindo ter acesso ao uso de serviços, produtos e informação.

Pessoas com necessidades especiais sofrem com discriminação em diversos setores por interagirem de maneiras diferentes com as pessoas e o ambiente ao seu redor, seja para ter acesso a fontes de informação, como para serem tratadas de maneira mais igual pela sociedade. Isso também se aplica às interações dessas pessoas com computadores, já que os dispositivos de entrada e saída da interface podem impor barreiras às necessidades mais variadas que elas apresentem e que não foram consideradas pelos desenvolvedores.

Nielsen [11] afirma que desenvolver sistemas que levem em consideração as necessidades especiais de deficientes torna o sistema mais usável para todos os usuários, sejam eles deficientes que utilizem tecnologia assistiva, deficientes que utilizem os sistemas já existentes sem modificação ou usuários sem deficiências significativas. Além do fato de que a inclusão de deficientes no acesso à tecnologia e informação baseia-se em argumentos legais, econômicos, sociais e morais.

Assim, a tecnologia pode ser um meio para a inclusão de pessoas com deficiências na sociedade de modo a suprir, de certo modo, suas deficiências para interação a partir de tecnologias assistivas. Auxílios na área da comunicação, como aplicativos de sintetização de fala para pessoas com dificuldade para tal e *web* adaptada segundo as normas de acessibilidade através de navegação por atalhos de teclado; e na área de problemas motores, como próteses controladas por sinais mioelétricos, e controle de um meio de locomoção, por exemplo, utilizando o sopro do usuário, representam um campo com significativo avanço recente.

3.1.5 Interatividade

Para que ocorra comunicação entre humano e computador, é preciso que haja um meio para troca de informações entre as partes. Nessa interação são necessários

então dispositivos de entrada – entrada de dados do usuário para a máquina - e de saída – *feedback* da máquina para o usuário.

Uma técnica de interação, a comunicação citada anteriormente, é a fusão de entradas e saídas, consistindo de todos os elementos de *software* e *hardware*, fornecendo uma maneira para o usuário completar uma tarefa, como definido por Tucker [12].

A escolha da tecnologia utilizada para os seus dispositivos de entrada e saída se torna um passo vital no desenvolvimento de uma interface. Com a grande variedade de dispositivos disponíveis, um dos problemas que o desenvolvedor da interface deve levar em conta é achar uma combinação entre aplicação, tecnologia do dispositivo de entrada e o usuário. A escolha do dispositivo de entrada tem grande impacto sobre a complexidade do sistema e do seu modelo mental criado pelo usuário, já que afeta a sua usabilidade diretamente.

Buxton [13] afirma que cada dispositivo de entrada tem as suas vantagens e desvantagens, como também cada aplicação tem suas demandas únicas. A solução do problema engloba, inicialmente, o reconhecimento das variáveis que devem ser caracterizadas de acordo com as demandas da aplicação em estudo. Posteriormente, deve-se analisar como cada tecnologia disponível desempenha em torno dessas variáveis, sempre levando em consideração como esses fatores afetam o usuário.

Analisando o exemplo de um computador de uso pessoal, é notável a variedade de funções que ele deve desempenhar ao mesmo tempo em que é utilizado por diferentes tipos de usuários. Esse fato poderia acarretar na acumulação de diversos dispositivos especializados para tarefas específicas em um computador, o que não representa uma solução prática e aumenta a complexidade do sistema desnecessariamente.

Segundo Buxton [13], uma solução mais realista é tentar extrair o máximo de generalidade possível do menor número de dispositivos. Desta forma, os dispositivos são escolhidos pelo alcance de suas aplicações e não pela sua forte especialização.

Esse, por exemplo, é o maior fator de atratividade oferecido por *tablets*, já que eles podem emular as funções de um *mouse*, mas vão além, oferecendo mais opções como dispositivo de entrada ao possibilitar que se desenhe diretamente sobre ele de modo que os traços sejam digitalizados para o computador.

Os dispositivos de saída acompanham a evolução dos dispositivos de entrada e seguem sua busca por melhorias como *displays* finos e de alta resolução, *feedback* por som (ex.: voz), tátil (ex.: força e textura), controle do ambiente (ex.: iluminação, temperatura, posição, cheiro), etc.

Existe também a preocupação quanto às considerações ergonômicas, já que usuários tendem a passar uma parcela cada vez maior das suas vidas recebendo informações de computador e, por isso, a mídia de saída não deve ser cansativa, e sim representar uma experiência agradável, imersiva e possivelmente enriquecedora.

3.2 MOTIVAÇÃO

Sistemas informatizados estão em toda parte. As atividades do homem estão cada vez mais sendo mediadas por computadores e o seu uso não se restringe às atividades de pesquisa científica como ocorria anteriormente, quando apenas realizavam cálculos complexos. Já são vistos como ferramentas comuns aos locais de trabalho e também estão atrelados a atividades cotidianas de maneira progressiva e irreversível, estabelecendo e sedimentando a visão de que computadores são ferramentas de melhoria de produtividade e de capacidade de inclusão.

Na era da informação na qual nos encontramos, devem ser encontradas maneiras eficientes de se integrar e conectar tudo e todos, não importando onde estejam. Visando isso, há a necessidade de desenvolver interfaces eficientes que facilitem a acessibilidade e usabilidade para pessoas com diferentes habilidades, preferências e necessidades. É possível traduzir e expandir esta ideia para mostrar a grande gama de usuários que devem ser levados em consideração: diferentes culturas, idades, escolaridades, habilidades, histórico profissional, experiência com computadores e também pessoas com necessidades especiais.

Segundo Friedman [14], o estudo, o desenvolvimento e a implementação de tecnologias para computadores não devem focar apenas no funcionamento de uma máquina – com o fato dela ser confiável, eficiente e realizar sua função corretamente. Mackay e Fayard [15] frisam que o estudo de IHC é um campo de pesquisas interdisciplinares e, desta forma, deve combinar técnicas das diferentes disciplinas que o compõe e determinar como estas se relacionam. Cada campo de pesquisa contribui

individualmente para a busca da melhor forma de como contornar ou encarar um problema de desenvolvimento conjuntamente.

Os esforços de pesquisa variam de áreas distintas, porém complementares, abrangendo desde as altamente teóricas até as aplicadas. É possível notar a influência das ciências naturais e sociais: linguística, ciência da comunicação, psicologia, sociologia e antropologia, ditando quais tópicos são considerados interessantes pelo e para o usuário, assim como a maneira de abordar esses tópicos. Complementando esta abordagem, temos as artes, o *design* e a engenharia, que diferem bastante entre si quanto aos seus métodos, mas têm como objetivo a criação de novos produtos. São disciplinas como *design* gráfico, *design* industrial, tipografia, ciência da computação, engenharia eletrônica, engenharia de materiais, entre muitas outras. Sendo assim, o estudo de IHC não é somente uma disciplina de recursos gráficos ou meramente científica, mas incorpora aspectos de ambos ativamente.

Carroll [16] afirma que este campo de estudo de IHC trouxe à tona diversas dificuldades e também soluções elegantes, já que é a parte da ciência dos computadores que melhor fornece a visão da máquina ao público não-especialista e que mais impacta suas vidas.

Entretanto, novas tecnologias podem ser caras quando introduzidas e existem também tipos de IHC que podem exigir habilidades específicas do usuário, podendo causar certo nível de exclusão e desmotivação para potenciais usuários. Porém, a criação de interfaces exige habilidades em motivação e persuasão do público, de acordo com Fogg [17]. Por muitas vezes, o trabalho de criação de interfaces pode alterar a maneira como as pessoas percebem o que está ao seu redor, interagem com o ambiente e com outras pessoas, mudando comportamento. Basta fazer um exercício ao tentar lembrar ou imaginar como era viver sem computadores, aparelhos celulares ou aparelhos de GPS, por exemplo.

Deste modo, o estudo de interfaces obtém êxito quando este é voltado ao desenvolvimento visando o próprio usuário e a humanização da relação entre homem e máquina, tornando-a mais fluida, ergonômica, natural, intuitiva e servindo de ferramenta no auxílio à inclusão, seja social ou tecnológica. Deve visar a potencialização das ações do usuário e a viabilidade para aplicação de novas tecnologias. É uma questão de equilibrar riscos e benefícios, ao mesmo tempo em que se deve utilizar ao máximo os recursos tecnológicos e considerar as necessidades do usuário, buscando “esconder” o sistema operacional, a manipulação dos dispositivos

de entrada e saída e os sistemas de comunicação, construindo meios de comunicação padronizados e colaboração mais eficientes e acessíveis para as necessidades existentes.

3.3 FATORES DE MERCADO

Analisando sob a ótica do mercado, as mais recentes razões para o sucesso das IHC são comerciais: conforme as tecnologias fundamentais dos computadores passam a ter natureza de *commodity*, com os tipos e qualidades de componentes majoritariamente comuns entre si, o valor que aplicativos e interfaces agregam ao produto tornam-se o diferencial, motivando e persuadindo o público a consumir os produtos e podendo levá-los a se fidelizarem a uma marca.

Existem maneiras diferentes através das quais o mercado e suas necessidades são afetados quando se trata de novas tecnologias. Uma maneira inicial para análise deste tópico é tentar responder à seguinte pergunta: uma necessidade de mercado é algo latente que pode ser despertado ou é algo que pode ser criado?

Uma empresa pode criar uma necessidade quando agrega valor à vida das pessoas, e elas percebem uma utilidade para o produto colocado à disposição. Para esta necessidade satisfeita pagam, em princípio, um preço. Consideremos em princípio, porque atualmente novos modelos de negócio se baseiam na gratuidade ao consumidor.

Levando em conta essa gratuidade, Jacko [18] explica que os requisitos do mercado crescentemente globalizado para um produto mudam no sentido de que não são voltados a pequenos mercados homogêneos, pois o produto visa projeção mundial. Sendo assim, a interface deve satisfazer usuários com as mais diversas diferenças culturais. Essas diferenças entre cada mercado acarretam em diferenças nas necessidades do consumidor, que podem ser supridas com pequenas alterações do produto de um modelo do produto construído em torno de um denominador comum global, facilitando o desenvolvimento e obtendo melhor posicionamento de concorrência quanto ao preço.

Habitualmente, em um primeiro momento, a empresa que inova e cria uma necessidade ou solução isoladamente, posiciona-se com um preço que lhe dê margem

significativa para a recuperação do investimento aplicado e a geração de receitas que a possibilite continuar investindo, para se manter na dianteira em relação a outras empresas concorrentes, sejam elas já existentes ou novos entrantes que se instalarão, no sentido de tentar obter uma fatia desse novo mercado criado.

Churchill Jr. e Peter [19] enfatizam que para se posicionar no mercado com um novo produto que atenda uma necessidade, a empresa elabora uma curva de demanda (representação gráfica da quantidade de um produto demandado em vários níveis de preço). Por exemplo, um produto com preços mais baixos tem a quantidade demandada aumentada. Ressaltam também que uma curva de demanda de uma empresa, individualmente, é influenciada por uma estrutura de mercado em que ela esteja operando.

Alguns exemplos de estrutura de mercado:

- monopólio puro, em que uma única empresa vende um produto para o qual não há substitutos. Como a curva de demanda do setor é igual à da empresa, a empresa monopolista é capaz de controlar o preço do produto e a quantidade demandada;
- oligopólio, em que o número de vendedores é pequeno o suficiente para que as atividades de um único vendedor afetem outras empresas e para que as atividades das outras empresas o afetem. Os produtos que as empresas vendem podem ser bons substitutos uns dos outros e há disponibilidade de substitutos atraentes. Portanto, a curva de demanda dos oligopolistas é relativamente plana;
- concorrência monopolista, em que há muitos vendedores de um produto, porém “o produto de cada vendedor é, de alguma maneira, diferenciado na mente dos clientes do produto de cada um dos outros vendedores.” A diferenciação dá a empresa alguma autonomia na definição do nível de produção e dos preços. Contudo, essa disponibilidade de produtos similares limita a autonomia dos preços e torna a curva de demanda relativamente plana ao longo de sua faixa relevante;
- concorrência pura, em que “há muitas empresas que vendem produtos idênticos e nenhuma delas é suficientemente grande para influenciar o preço de mercado.” A empresa pode vender toda a sua produção pelo preço praticado pelo mercado, sem conseguir vender nada acima desse preço e nas condições impostas pelo mercado. O preço é mais baixo quando a oferta é

grande e mais alto quando há apenas uma quantidade disponível, insuficiente para atender à demanda existente no mercado.

Numa outra perspectiva, vale também ressaltar que os custos são compostos de custos variáveis e custos fixos, e uma maior quantidade vendida possibilita um ganho de escala, com a redução do custo fixo unitário, desde que a empresa consiga manter o preço de venda no mesmo patamar. Uma empresa que cria uma nova necessidade consegue manter o preço nesse patamar até certo ponto, o ponto em que as concorrentes lançarão novos produtos, agregando mais utilidades, pelo mesmo ou por menor preço.

Um exemplo recente que pode ser citado é o *iPod*, da *Apple Computers*, que, com o seu *design* minimalista, interfaces por toque muito amigáveis, grande facilidade de navegação e de interatividade, adicionado progressivamente de funcionalidades e serviços geraram diferenciação para posicioná-lo no topo do mercado *premium*. Com isso, criou-se uma nova referência, na qual há constante expectativa pelos novos produtos da empresa e fidelização de parte de seus usuários, satisfeitos com o ritmo de inovação dos produtos oferecidos pela empresa. Isso fez também com que os concorrentes tivessem que adotar e desenvolver a referência então criada, com a oferta de novos produtos e preços inclusive mais convidativos.

Dessa forma, depreende-se que o mercado é dinâmico, com um sistema de preços que combina o equilíbrio competitivo entre a oferta e a procura, em que novos entrantes surgem e há a atuação do governo, que age para inibir estruturas de mercado, a exemplo da formação de monopólio, que possam sustentar artificialmente os preços.

Quanto à indagação inicial deste tópico se a necessidade é algo latente e pode ser despertada, é importante ressaltar que a necessidade pode ser provocada por estímulos internos ou externos. Kotler [20] explica que os estímulos internos, decorrente de necessidades normais de uma pessoa, como fome, sede e sexo, podem gerar impulso para compra. Já a necessidade provocada por estímulos externos, pode ser desencadeada por profissionais de *marketing*, a partir da identificação das circunstâncias que levam a essas necessidades.

Além disso, muitas vezes o consumidor entende que aquilo que consome existe daquela forma, sem a possibilidade de alteração. São os chamados inconvenientes ocultos, citados por Whiteley [21] e uma das formas de inovar é justamente buscar soluções para os inconvenientes ocultos. Um exemplo, o leite em

saquinho causava uma série de inconvenientes, até que o colocaram numa caixinha. Essa caixinha também era inconveniente quando aberta com uma tesoura ou rasgada. Com isso, foi desenvolvida uma caixinha com tampa.

Outro exemplo, desta vez aplicado ao assunto em estudo, é a implementação de *touchpads* para suprir a função de *mouse* em computadores *laptops*. Visando a portabilidade e considerada a dificuldade de se utilizar um *mouse* em determinadas situações em que há falta de espaço ou de uma superfície adequada para o seu funcionamento, como no caso do usuário utilizar o computador sobre o seu colo, os *laptops* frequentemente eram munidos de *pointingsticks*, porém a curva de aprendizagem achatada e a resposta lenta do dispositivo causavam inconvenientes. Em *netbooks*, ainda é comum a presença de *pointingstick*, devido ao melhor aproveitamento de espaço para a interface, mas em *laptops* maiores, a migração para o uso de *touchpads* na função do *mouse* ocorreu de modo bastante enfático, devido à sua melhor resposta aos comandos e maior semelhança de funções com um *mouse* periférico.

Há também que se considerar as novas necessidades atendidas, que facilitam a vida das pessoas e podem ser visualizadas no contexto cultural existente ou em um novo contexto cultural, na classe social a que se destina o novo produto a ser ofertado, pois as pessoas tendem a ter padrões semelhantes de compra dentro de uma classe social e podem revelar o estilo de vida do comprador, família etc. Um exemplo são os *smartphones*, que criaram um novo mercado a partir de profundas alterações no cotidiano, no trabalho e nas relações entre as pessoas, que buscam estar conectadas a tudo e a todos, em qualquer lugar e horário.

Uma limitação para o atendimento às necessidades dos usuários é o seu poder aquisitivo. Atualmente há uma busca para que o poder aquisitivo seja elevado, de modo que sacie novas necessidades, em um processo de consumismo, em que muitas pessoas até colocam o consumo como um objetivo de vida.

Modelo esse que vem sendo questionado por outro, baseado em consumo consciente, haja vista toda a conscientização em curso sobre a sustentabilidade. Com isso, há o despertar para uma revisão nos padrões econômicos então vigentes, para se consumir só o necessário a partir de tecnologias que sejam menos agressivas ao ambiente e mais econômicas.

Diante do exposto, temos que as duas afirmativas propostas pela questão são parcialmente verdadeiras: uma necessidade de mercado tanto pode ser um fator latente a ser despertado, quanto um fator que pode ser criado.

Outros dois fatores muito importantes que costumam ter significativa relevância na decisão sobre quais as tecnologias para IHC em que se deve investir e quando se deve fazê-lo, conforme a estratégia, o planejamento de riscos e o retorno desejado da pesquisa, é o da análise das tendências e o estudo dos ciclos das tecnologias, muitas vezes via consultoria de grandes empresas de pesquisa em tecnologia da informação.

Existem diversos estudos e modelos para a análise de tendências e, para ilustrar como isso ocorre, será exposto a seguir um dos mais difundidos e utilizados, o chamado *Hype Cycle*, algo como ciclo da expectativa exagerada, da empresa *Gartner*, empresa líder de pesquisa em tecnologia da informação e consultoria para *insight* tecnológico.

O *Hype Cycle* foi descrito por Jackie Fenn [22], um analista na *Gartner*, para demonstrar o que acontece quando uma nova tecnologia de ponta é introduzida. O ciclo é constituído de 5 partes e faz um comparativo da visibilidade pela maturidade alcançadas pela tecnologia. As etapas do ciclo, cujas nomenclaturas foram traduzidas para o português por Cavallini [23] e são apresentadas na Figura 3.3.1, são as seguintes:

1. Alavanca tecnológica (*Technology Trigger*): consiste em um avanço notável, uma demonstração pública, o lançamento de um produto ou em outro tipo de evento que gere interesse significativo da imprensa e da indústria.
2. Expectativas exageradas (*Peak of Inflated Expectations*): representada por um pico no gráfico, é a fase que demonstra o entusiasmo e as projeções fantasiosas de benefícios inimagináveis, total revolução e solução infalível de problemas. Esta etapa é inchada de atividade publicitária pelos líderes tecnológicos, testando, explorando e levando a tecnologia ao seu limite, construindo expectativa. Neste momento, as únicas empresas que obtêm lucros são as organizadoras de conferências e editores de periódicos, que vendem justamente a expectativa.
3. Calha da desilusão (*Trough of Disillusionment*): ao explorar e testar a tecnologia, como dito no item anterior, são obtidos poucos resultados práticos. Isso faz com que o fracasso e conseqüentemente a decepção, venham à tona já que a tecnologia não apresenta os resultados esperados devido à inflação da

expectativa, fazendo com que a tecnologia caia de moda e perca visibilidade, sendo abandonada pela imprensa. Esse momento é representado por um vale no gráfico.

4. Esclarecimento (*Slope of Enlightenment*): por meio de mais pessoas e organizações realizando muita pesquisa e trabalho sérios, desta vez encarando expectativas mais realistas, chega-se a um verdadeiro entendimento das suas aplicações, riscos e benefícios. Assim, ferramentas começam a ser criadas de modo a tornar a tecnologia cada vez mais estável, facilitando o processo de desenvolvimento e criando mais possibilidades para que o mercado passe a aderir à sua adoção. No gráfico, é representada por um lento crescimento de visibilidade conforme a tecnologia amadurece.
5. Platô da Produtividade (*Plateau of productivity*): os benefícios reais fornecidos pela tecnologia são demonstrados e aceitos pela imprensa e o público consumidor. As ferramentas e metodologias tornam-se cada vez mais estáveis com o estabelecimento das suas gerações seguintes. A amplitude final de visibilidade que o platô atinge varia de acordo com a gama de segmentos do mercado em que a tecnologia é aplicável e o impacto que ela traz a esses setores.

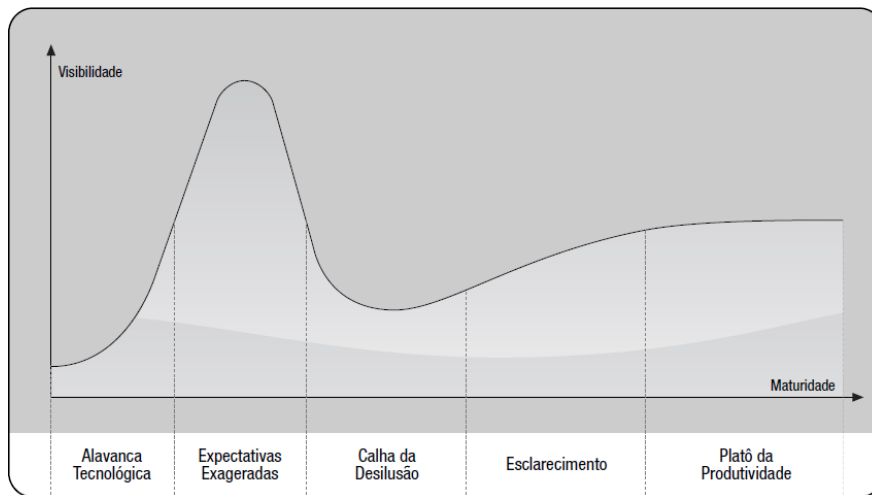


Figura 3.3.1: “Gartner Hype Cycle” de Cavallini [23].

Com a integração e parcerias de grandes instituições e organizações, aliadas a um modelo baseado em colaboração e a velocidade cada vez maior com que informação viaja, seja pelo meio acadêmico, corporativo ou pela imprensa, a tendência é que o ciclo encurte, porém mantendo o seu formato. São os próprios avanços em tecnologia e comunicação que propiciam esse aumento de velocidade e do nível de integração global, um mundo mais conectado, além do fato de termos cada vez mais

indivíduos aptos a consumir tecnologia. Haeckel [24] diz que: “Já que os componentes de informação dos produtos *podem* mudar mais depressa, eles *irão* mudar mais depressa. Já que a informação *pode* ser mais rapidamente disseminada, ela *será* rapidamente adquirida por outros. Como resultado, o ciclo de vida dos produtos continuará a encolher e o ritmo das mudanças irá acelerar.”

Isso pode ser evidenciado ao fazer um comparativo entre os diferentes tempos que levaram diferentes tecnologias que hoje são de uso cotidiano a alcançar determinada maturidade. Segundo estudos de *McCann-Erickson*, *Paul Kagan Associates* e *Morgan Stanley Technology Research*, o telefone levou 74 anos para alcançar 50 milhões de usuários, enquanto o rádio levou 38 anos para atingir a mesma marca. O computador pessoal precisou de 16 anos e a televisão 13. Já o telefone celular alcançou a marca de 50 milhões de usuários em apenas 5 anos e a Internet foi ainda mais rápida: 4 anos.

Fenn [22] analisa que as empresas devem avaliar tecnologias de grande potencial de impacto ainda no início do seu ciclo de expectativa e desilusão, já que estas podem alterar a configuração e situação do mercado. Entretanto, devem aguardar um momento de maior amadurecimento para se aventurar com tecnologias que proverão apenas melhorias incrementais, como otimização de processos.

O modelo da Gartner possui algumas críticas, como, por exemplo, o fato de o *Hype Cycle* não ser cíclico, o resultado final não depender da natureza da tecnologia e de não refletir as variações da velocidade de desenvolvimento da tecnologia com o tempo. Veryard [25] analisa que a curva não se mostra sujeita a investigação científica ou calibração e apenas reflete um padrão verificado na engenharia. Ele também aborda o fato de que o formato da curva não se altera há mais de uma década, enquanto provavelmente deveria se encurtar, como veremos a seguir, e talvez se tornar mais íngreme, já que existem cada vez mais tecnologias e elas competem por atenção, reduzindo a quantidade e a duração da expectativa de cada uma delas.

Bayless [26] construiu um modelo simplificado do chamado Efeito da Rainha Vermelha (*Red Queen Effect*), segundo o qual é necessário desenvolvimento contínuo para um sistema se manter competitivo no mercado com sistemas evoluindo simultaneamente a ele, para demonstrar o que ocorre quando o tempo de vida médio de um produto cai segundo uma modesta taxa de 10% ao ano. É interessante notar que essa taxa de declínio é, em média, uma boa aproximação do ocorrido em um cenário recente de vários ramos da indústria e, mesmo que pareça um declínio apenas

suave, o efeito que ela carrega se traduz em uma queda do tempo de vida médio de um produto pela metade a cada 7 anos. Isso pode acarretar certo nível de desconfiança e incerteza no mercado, ainda mais considerando o mundo competitivo e cada vez mais globalizado em que nos encontramos.

3.4 INTERFACES COMO PARTE DO ENTRETENIMENTO

Um fator inusitado também contribui para direcionar o desenvolvimento de novas tecnologias e aumentar a expectativa de imprensa e público: a ficção científica. O mundo do entretenimento recorrentemente aborda temas de ficção científica e representa um meio para especulação acerca do futuro da tecnologia ao retratar futuros hipotéticos, fantasiando principalmente sobre tendências da sua parte mais visível, as interfaces.

Os ramos da indústria do entretenimento, como o de filmes, televisão ou o de jogos eletrônicos, possuem grande impacto sobre o público geral, de todas as classes sociais, influenciando fortemente as suas mentes com as ideias que retratam, popularizando conceitos. Esse princípio também é válido para pesquisadores, que muitas vezes são inspirados pela ficção em suas pesquisas ou mesmo trabalham em colaboração com os produtores da indústria do entretenimento ao criar a visão artificial da ficção científica o mais realístico possível.

As interfaces mostradas em obras de ficção refletem as tecnologias da época em que as obras foram produzidas, usando-as como ponto de partida ao tentar prever o futuro. A importância que a tecnologia representa para a obra é um fator que contribui para a interface resultante, assim como fatores que também são limitantes, como os recursos disponíveis de efeitos especiais e o orçamento do projeto, que vem aumentando, na média, no decorrer dos anos, tornando possível a representação mais realística de tecnologias futuras.

Em 1966, estreava a série original de *Star Trek* (Jornada nas Estrelas) [27], uma das marcas de ficção científica mais conhecidas até os dias de hoje. Dentre os equipamentos embarcados na nave estelar USS Enterprise e os apetrechos utilizados por sua tripulação, estavam presentes tecnologias que só seriam possíveis de ser produzidas e implementadas anos ou mesmo décadas depois. São os casos do *tablet*, dos fones de ouvido sem fio, de sistemas dotados de GPS, das telas de plasma, de

dispositivos de tradução simultânea, de dispositivos de reconhecimento de voz, da Realidade Aumentada, de telepresença, de técnicas de diagnóstico médico não invasivo, entre outros.

O inventor do primeiro telefone celular portátil e engenheiro da Motorola, Martin Cooper, explica em entrevistas, como no documentário *How William Shatner Changed the World* [28], que o comunicador utilizado pela tripulação da USS Enterprise serviu de inspiração para o desenvolvimento do telefone celular da forma com que foi concebido. O mesmo ocorreu com Robert Haitani na criação do PDA e com Ed Roberts, criador do primeiro computador pessoal: o Altair 8800, que ainda foi batizado em homenagem ao sistema solar fictício Altair 6 do universo de *Star Trek*.

A série seguinte da mesma franquia *Star Trek: The Next Generation* (Jornada nas Estrelas: A Próxima Geração) [29] estreou em 1987 e trazia um personagem cego, o engenheiro da tripulação Geordi La Forge, munido de um implante que permitia que recuperasse a visão, de modo semelhante a o que é realizado com implantes de olhos biônicos atualmente.

A cena climática de *2001: A Space Odyssey* (2001: Uma Odisseia no Espaço) [30] de Arthur C. Clarke e Stanley Kubrick, filme de 1968, é um exemplo claro da colaboração entre cineastas e pesquisadores e enfoca no desligamento do computador HAL 9000, um computador capaz de perfeita síntese de voz, enquanto cantava “*Daisy Bell*”, inspirado pela demonstração feita por Max Matthews de síntese de voz para a mesma música, realizada no *Bell Labs* em 1961. O HAL 9000 representou a primeira vez em que inteligência artificial foi mostrada em um filme, ao se utilizar de recursos de visão computacional e reconhecimento de fala, por meio de leitura labial e predição por redes neurais, para perseguir a tripulação da nave que comandava.

As tecnologias de interfaceamento abordadas nas habilidades do HAL 9000 ainda não apresentavam muita aplicação prática e não eram popularizados entre o grande público na época, mas possuem grande interesse de pesquisa e vem apresentando resultados concretos em tempos recentes, como o uso de leitura labial automatizada utilizado por Frank Hubner para reconhecimento de fala e posterior dublagem de filmes mudos de Adolph Hitler no documentário de David Howard lançado em 2006, *Revealed: Hitler's Private World* [31].

Poucos anos depois, em 1970, um filme retratou a primeira interface pela qual usuário e computador se comunicavam por fala. Era a interface do supercomputador

do filme *Colossus: The Forbin Project* (Colossus) [32], baseado no livro *Colossus* de Dennis Feltham Jones publicado em 1966. A trama do filme gira em torno de um supercomputador que, através da demonstração de uma “raiva” não programada, apresentou capacidades de visão computacional, reconhecimento de fala e síntese de voz.

Algumas mídias retratam interações conhecidas, porém se utilizam de tecnologias muito avançadas em relação às possibilidades da época. Em *Johnny Mnemonic* (Johnny Mnemonic – O Cyborg do futuro), de 1995, o protagonista utiliza aparatos de realidade virtual para navegar por um mundo abstrato 3D (tridimensional), que representa os *sites* da Internet, através de reconhecimento gestual. Outro exemplo são os leitores de impressão da palma da mão de *The Bourne Identity* (A Identidade Bourne) [33], de 2002, que se utilizam apenas de uma tela sensível a toque para fazer a leitura e dar resposta visual imediata (Figura 3.4.1), enquanto sistemas reais de leitura atuais exigem um dispositivo de escaneamento de alta resolução.



Figura 3.4.1: Interface de leitura da palma da mão em *The Bourne Identity* [33].

Outros filmes expõe conceitos de interface nunca implementados e que dificilmente o serão. É o caso, por exemplo, da interface neural de *The Matrix* (Matrix) [34] de 1999, na qual um computador controla as consciências das pessoas através de uma conexão física em suas nuças. É importante frisar a grande diferença entre esse tipo de interface neural invasiva da ficção das interfaces que se utilizam de sinais sinápticos pela leitura de EEG como dispositivo de entrada em técnicas de BCI (*Brain-Computer Interface*), que serão estudadas posteriormente neste trabalho.

Em *Gattaca* (Gattaca – Experiência Genética) [35], de 1997, é utilizado um sistema de reconhecimento pela análise do DNA (*deoxyribonucleic acid*) presente em uma gota de sangue em tempo real. Com a ampliação do banco de dados de DNA e eventuais melhorias na velocidade e redução do custo do processo de análise de DNA, é possível que um sistema que reserve semelhanças ao do filme possa ser implementado no futuro, ainda que este ainda esteja distante.

A importância dada a *displays* sem filmes é clara, levando em consideração que podem ser usadas técnicas de efeitos visuais que chamem a atenção do espectador. O conceito de *displays* holográficos, por exemplo, é bastante comum em filmes, como os comunicadores de projeção em três dimensões nos filmes da série *Star Wars* (Guerra nas Estrelas) [36].

O *display* físico da Figura 3.4.2, com uma superfície interativa tridimensional, idealizado pelo filme de 2000, *X-Men* [37], mostra um possível alvo a ser atingido pelas linhas de pesquisa para *tabletops* e para OUI (*Organic User Interface*), como as conduzidas por Kodama [38] para a criação de *displays* de esculturas de ferrofluido.

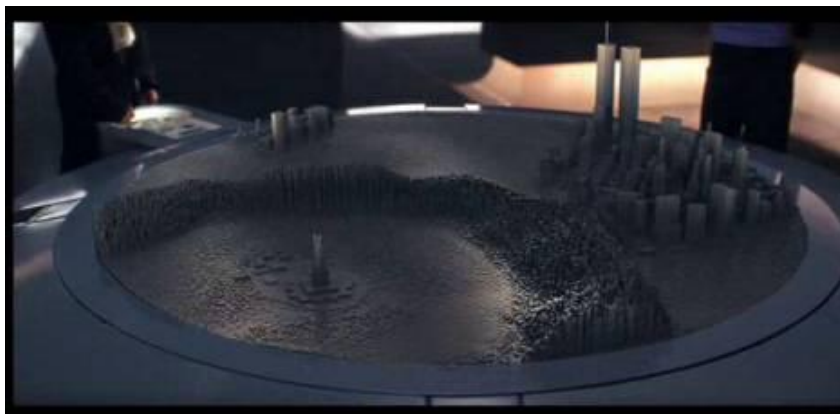


Figura 3.4.2: Display físico em *X-Men*.

A biblioteca fictícia do filme *The Time Machine* (A Máquina do Tempo) [39], de 2002, mostra grandes painéis transparentes usados como *displays* para avatares que, através do uso de realidade aumentada, auxiliam o usuário da biblioteca como se fosse uma pessoal real, presente no local, acompanhando o usuário pelos corredores e apontando livros nas prateleiras.

Mas talvez os exemplos recentes de interface fictícia mais lembrados sejam do filme *Minority Report* (Minority Report – A Nova Lei) [40], do diretor Steven Spielberg, lançado poucos meses depois, também em 2002. A cena mais marcante mostra um computador que se utiliza de uma interface gestual para que o usuário, vestindo luvas especiais, manipule dados e navegue de diferentes maneiras pelos ambientes na tela transparente (Figura 3.4.3).



Figura 3.4.3: Interface Gestual em *Minority Report* [40].

Este filme inclui muitos outros exemplos de tentativa de predição das interações entre homem e computador em um futuro não tão distante, como:

- Monitoramento da população e reconhecimento de indivíduos em ambientes como lojas e metrô por sistemas de leitura da íris ou da retina que não exigem alinhamento do equipamento tão preciso e próximo com o olho;
- Painéis com vendedores virtuais que atendem clientes em lojas de modo individualizado;
- Sistema que se utiliza de uma TUI (*Tangible User Interface*) – através da qual uma pessoa interage com informação digital por meios físicos – manipulando, no caso, esferas de madeira para realizar diferentes operações;
- Jornais formados por *e-paper* bastante flexível, como *displays* de transistores orgânicos, e que mudam o conteúdo mostrado, sendo colorido e animado;
- Projeção de hologramas tridimensionais que se misturam à realidade.

O *designer* de produção de *Minority Report*, Alex McDowell, tendo em vista a construção de visões autênticas do uso de computadores na tela do filme, visitou o MIT *Media Lab*, um departamento do *Massachusetts Institute of Technology* devotado à pesquisa de projetos de convergência de multimídia e tecnologia. Deste modo, McDowell pôde ter uma impressão das pesquisas que estavam sendo realizadas na área, como a tecnologia de reconhecimento gestual. O diretor Spielberg entrou em contato com especialistas da área, contratando-os como consultores que se reuniam em sessões de *brainstorming* para desenvolver visões de como seriam aplicadas e a que ponto estariam desenvolvidas as tecnologias de interface em 2048, ano em que se passa a trama do filme.

Em *Iron Man 2* (Homem de Ferro 2) [41], um exemplo mais recente que os anteriores, o personagem-título dispõe de diversos equipamentos, sejam parte da sua casa, de seu laboratório ou portáteis, com conceitos ainda futuristas de interfaces. O piso de todo o seu laboratório é feito de um vidro capaz de gerar projeções holográficas tridimensionais que podem ser manipuladas por gestos (Figura 3.4.4) e a sua mesa de café é um *tabletop* feito com *display* transparente, assim como o seu *PDA* (Figura 3.4.5) e o visor do seu capacete - um HUD (*Heads-Up Display*) (Figura 3.4.6), que mostra informações sobrepostas à visão do usuário através de RA (Realidade Aumentada), como utilizado em aviões militares, busca-se implantar em carros de passeio e serve de ponto de partida para áreas de pesquisa como *Near-to-eye Displays*. As janelas e espelhos da casa também servem de *display* e são utilizadas para funções como televisão e *widgets*, como visualização da previsão do tempo e do mercado de ações (Figura 3.4.7).

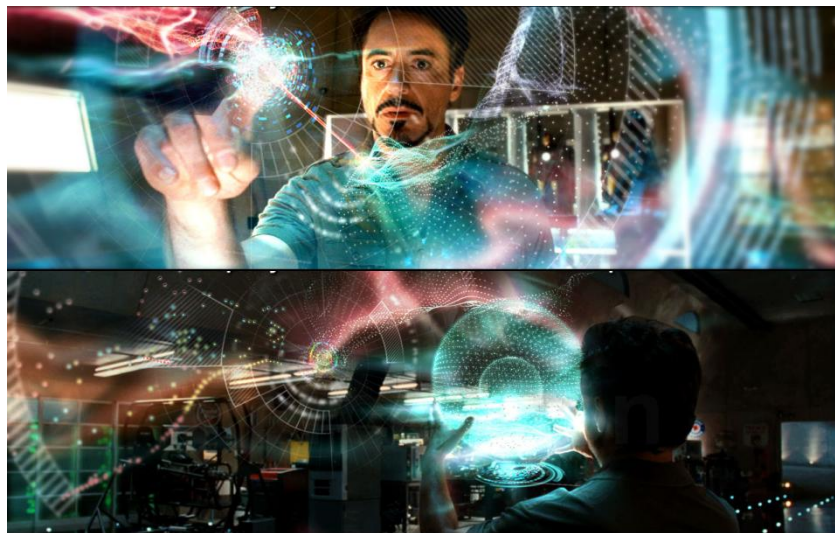


Figura 3.4.4: Interface holográfica controlada por gestos em *Iron Man 2* [41].



Figura 3.4.5: *PDA* em *Iron Man 2* [41].



Figura 3.4.6: HUD em *Iron Man 2* [41].



Figura 3.4.7: Display no espelho em *Iron Man 2* [41].

Schmitz, Endres e Butz [42] resumem as relações de colaboração entre produtores de filmes e pesquisadores de tecnologias para interfaces exemplificadas através do diagrama representado na Figura 3.4.8.

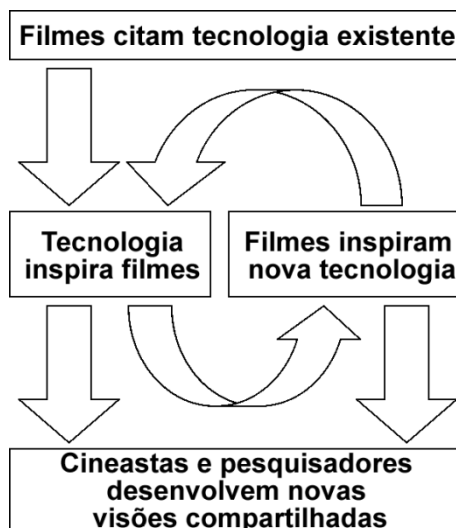


Figura 3.4.8: “Diferentes maneiras através das quais cineastas e pesquisadores colaboram” de Schmitz, Endres e Butz [42], adaptado pelo autor.

Por muitas vezes, o grande público tem o primeiro contato com novas tecnologias de interface através dos seus aparelhos para entretenimento como televisores e aparelhos para jogos eletrônicos, sejam computadores, arcades ou consoles de uso doméstico.

A tendência da incorporação de interfaces mais imersivas, interativas e intuitivas, assim como a maior imersão proporcionada ao jogador no mercado de jogos eletrônicos é crescente e parece encontrar seu nicho de mercado, já que tem como principal objetivo encorajar pessoas que não estão habituadas aos controles tradicionais a jogarem, ampliando a fatia de mercado significativamente. Essa tendência já ocorre há muito tempo, com o desenvolvimento de simuladores como os de tiro ao alvo, corrida e música, por exemplo, mas vem alcançando massificação e maior aceitação apenas em tempos recentes devido a pesquisas e desenvolvimento das tecnologias que levaram à melhoria e mais fácil acesso aos componentes, como é o caso recente do *Nintendo Wii*, *PlayStation Move* e *Microsoft Kinect*.

Ao mesmo tempo, tenta-se quebrar a barreira da aceitação, principalmente frente aos antigos usuários acostumados ao modelo tradicional de interface para jogos e à própria capacidade criativa dos desenvolvedores de jogos em achar meios de utilizar as novas tecnologias de maneiras eficazes, da ideia de que essas tecnologias seriam apenas recursos publicitários usados para chamar a atenção do novo consumidor, sem constituir real avanço para o desenvolvimento de melhores jogos para os padrões tradicionais e que a real imersão do jogador se dá com boa jogabilidade, não somente em tecnologia avançada.

4 HISTÓRICO E ANÁLISE

Durante os séculos 18 e 19, foram criados os primeiros conceitos de cartões perfurados, baseados em sistemas ainda eletromecânicos, e que viriam a ser utilizados para entrada, saída e armazenamento de dados nos primeiros computadores digitais, já no século 20, como o *ENIAC*. A operação destes computadores, porém, exigia usuários especializados.

Os primeiros *mainframes*, até cerca de 1960, não possuíam interface interativa e operavam somente em modo de processamento de dados por lotes, conhecido como *batch processing*, através dos cartões perfurados e de fitas magnéticas. O processo por lote funciona de maneira que ele seja processado sem intervenção manual até ser completado, tendo seus *inputs* pré-selecionados. Esse processo satisfazia a maioria das necessidades de cálculo, mas não se adequava à comunicação interativa com computadores.

4.1 *COMMAND-LINE INTERFACE*

Nos anos 1970, os *mainframes* começaram a adotar também interfaces que permitiam interatividade com o usuário, aceitando seus comandos e operando como computadores em sistema de *time-sharing*, ou de tempo compartilhado, permitindo que inúmeros usuários e tarefas interajam simultaneamente com um único computador (sistemas dotados de multiprogramação e multitarefa).

O conceito de CLI (*Command-Line Interface*) utilizado nesses computadores originou-se dos teletipos, máquinas de escrever eletromecânicas, utilizados desde os anos 1950 para transmissão de dados, segundo explica Stephenson [43]. Os teletipos eram ligados aos *mainframes*, juntamente com CRT (tubos de raios catódicos) para a visualização do *prompt* de comando a ser digitado. Assim, uma CLI consiste de um mecanismo para interação com um computador através da digitação de comandos de texto para a realização de tarefas específicas.

A evolução das interfaces segue os caminhos para interações mais visuais e físicas, entretanto as interações por linha de comando continuam evoluindo conjunta e complementarmente aos outros tipos de interfaces introduzidos mais recentemente,

utilizando-se de suas vantagens como baixa necessidade de recursos do computador, maior velocidade de navegação pela interface e maior controle do sistema operacional.

Em muitas aplicações, como os próprios sistemas operacionais, os *softwares* e na *web*, a CLI se torna cada vez mais importante. Grande parte da capacidade de um sistema *Linux*, por exemplo, se dá através do uso de linhas de comando – associado a uma interface gráfica – principalmente devido à facilidade para escrever *scripts*, uma sequência de comandos para executar uma tarefa ou um programa, assim como programas como o *Quicksilver* para Mac, *AutoCAD* e o *MATLAB*.

No que se refere à CLI na *web*, Norman [44] lembra que, ao navegar pela *Internet*, digitamos pesquisas em motores de busca, mas que essas pesquisas são representadas muitas vezes por comandos que resultam no motor de busca retornar diretamente uma resposta, sem a necessidade de entrar em outra página. Exemplos disso são a visualização de horários e locais de sessões de cinema, de câmbio entre moedas, de placares de eventos esportivos, de definições de termos e vocabulário, função de calculadora, filtro de *e-mail*, entre muitos outros.

Os sistemas operacionais de *Apple* e *Microsoft* já integram sistemas de busca, que representa boa parte da força da tendência de aplicação de CLI nos sistemas atualmente, para localizar arquivos em pastas. Como exemplo, para localizar e abrir o arquivo desta monografia, pode-se digitar “tcc: monografia” na barra de pesquisas do *Windows 7*, representando o nome da pasta e parte do nome do arquivo. O sistema de busca irá completar automaticamente a busca, analisando arquivos que possuam o termo “monografia” no nome e estejam na pasta chama “TCC”, listando as versões como desejado.

A linguagem utilizada para a entrada de linhas de comando na *web* varia muito de *site* para *site*, sendo própria de cada um, mas costuma ter como característica certa flexibilidade de linguagem natural, sendo robusta a pequenas variações.

O conceito de CLI também está comumente presente em dispositivos portáteis e representa um campo amplo para exploração e evolução. Beers [45] explica que a grande maioria das funções realizáveis por um dispositivo portátil pode ser representada por apenas um verbo e substantivos, como “ligar fulano”, “ler *e-mail*” ou “mensagem fulano”. Um dispositivo que reconheça comandos com todos os verbos e grande parte dos substantivos que representem tarefas que consiga realizar, tem condições de tornar a sua CLI efetiva, principalmente se tiver uma ferramenta do tipo que reconheça e complete o comando automaticamente, pois, dessa forma, poupa-se

tempo na navegação de menus da interface e é possível de tratar tudo pelo próprio nome, o que torna a interação mais intuitiva e pode permitir melhor usabilidade. Os mecanismos de busca evoluem no sentido de flexibilidade e robustez, nos quais a ordem e grafia correta das palavras não representam um fator crítico e permita o uso de sinônimos.

A *Google TV*, por exemplo, é um sistema que incorpora um motor de busca e integra um navegador de *Internet* em aparelhos de televisão. Utilizando um aparelho celular com o mesmo sistema operacional *Android* da *Google* ou um pequeno teclado como controle remoto, é possível buscar informações sobre programação, canais e realizar operações como programar gravação de um programa através de comandos escritos pelo teclado ou falados pelo celular da mesma maneira como são feitas buscas pelo motor de buscas no navegador.

Outro exemplo, O *Microsoft Kinect* também incorpora funções de interação de comandos por voz para ativação e navegação das suas funções adicionadas ao console de jogos eletrônicos *XBOX 360*, além da sua interface gestual, visando um controle sem controle físico em contato com o usuário.

Um sistema que ofereça recursos de CLI costuma apresentar uma curva de aprendizagem mais plana, pois é preciso que se familiarize e se memorize os comandos inicialmente, mas reduz o número de cliques que seriam necessários para realizar as mesmas operações em uma interface gráfica. Além disso, idiomas diferentes e conseqüentemente possíveis alfabetos diferentes formam uma barreira para a universalização de uma interface deste tipo, pois os comandos costumam fazer sentido apenas para o usuário que saiba o idioma para o qual a interface está otimizada.

4.2 GRAPHICAL USER INTERFACE

Uma GUI (*Graphical User Interface*) substitui comandos arbitrários, que precisariam ser memorizados, por manipulação direta, na qual ações são realizadas ao se mover objetos em uma tela e selecionando-os em menus.

Em muitos casos, o usuário cria e modifica um documento por meio de uma interface e pode vê-lo de forma muito similar à que teria na forma impressa. Essa

forma de interação é conhecida como WYSIWYG, acrônimo da expressão em inglês *What You See Is What You Get*, cuja tradução remete a algo como "O que você vê é o que você obtém", e que era inicialmente relacionada a editores de texto, se tornando um termo mais abrangente posteriormente.

Um conceito que muitas vezes se confunde ou até mesmo é usado como um sinônimo aproximado de GUI é o tipo de interação WIMP. Uma interpretação comum do acrônimo é de que este significa "*Window, Icon, Menu, Pointing device*" (Janela, Ícone, Menu, Cursor) e indica uma interface gráfica composta desses elementos. Esse tipo de interação foi desenvolvido na *Xerox Palo Alto Research Center* em 1973, mas alcançou popularização em máquinas voltadas para o mercado de massa com o *Macintosh* da *Apple* em 1984, consolidando a era dos computadores pessoais.

No caso do WIMP, a interação é realizada a partir de um dispositivo físico de entrada que controla a posição de um cursor – um *mouse* – e apresenta a informação organizada em janelas e através de ícones que a represente. Os comandos são dispostos em menus para serem, então, selecionados e acionados através do *mouse*. Deste modo, não é necessário memorizar diversos comandos, como é o caso da CLI, tornando-se um ambiente mais familiar e que facilita operação multitarefa, assim como *widgets*; facilitando o uso também para pessoas sem amplo conhecimento técnico e iniciantes, de forma a aumentar a inclinação da curva de aprendizagem.

Durante os anos 1970 e 1980, foram realizados vários estudos e registradas patentes de telas sensíveis ao toque (*touchscreens*), que, assim como o *mouse*, são utilizadas como cursores, principalmente em dispositivos portáteis. *Touchscreens* evoluem no sentido de buscar uma melhora no *feedback* ao usuário, por meio de resposta háptica (realimentação física, relativa ao tato. ex.: realimentação de força em um *joystick*, característica vibratória de um celular, resposta tátil de uma *touchscreen*) e na melhora na precisão (que permite melhor interface para escrita e desenho, como PDAs e *tablets* gráficos).

Computadores pessoais atuais unem as funções de processamento por lote, CLI e GUI em seus *softwares*, de modo que se complementem. Norman [44] explica que na medida em que o número de itens e alternativas que precisam ser manipulados na interface aumenta, como é comum em sistemas operacionais e aplicativos complexos, uma GUI se torna menos eficaz.

Atualmente, se fortalece a ideia de que as técnicas convencionais de GUI não se adéquam às formas de plataformas interativas emergentes. Myers, Hudson e

Pausch [46] exemplificam as limitações da GUI convencional a partir de aplicações como a grande amplitude de dimensões de *displays*, de muito pequenos como telas de portáteis a enormes telas e projeções em paredes, em dispositivos de computação ubíqua (que representa a onipresença da informática no cotidiano das pessoas), as interfaces baseadas em reconhecimento de gesto e fala do usuário e a programação feita por usuários finais (EUP – *End-User Programming*).

4.2.1 *Displays* com imagens em 3D

Com o aumento da densidade e complexidade de informação com que devem lidar, *displays* de computadores podem se tornar desordenados visualmente com a sobreposição de tantos objetos em um plano 2D, de modo a prejudicar a usabilidade da interface. Uma tendência que ganha muita força nos estudos e mercado para tentar solucionar a falta de profundidade no ambiente 2D dos *displays* *convencionais* e oferece um diferencial de imersão do usuário é o de interfaces gráficas que tirem proveito de *displays* 3D.

De modo geral, podemos classificar as técnicas de produção de imagens tridimensionais em estereoscópica, volumétrica e holográfica.

4.2.2 *Displays* estereoscópicos

Estes *displays* se utilizam do fenômeno de estereoscopia para causar a sensação de imagens em 3D a partir da percepção de profundidade, distância, posição e tamanho dos objetos.

O efeito da estereopsia, ou visão estéreo, vem do fato de termos dois olhos com perspectiva ligeiramente diferente do mundo ao nosso redor, conhecido como disparidade estereoscópica ou binocular, de modo com que o cérebro una os estímulos visuais recebidos por ambos os olhos e tenha a percepção tridimensional do ambiente.

Peterson [47] explica que, devido à maior dificuldade de detecção de movimento de profundidade estereoscópica quando comparada à detecção de movimento lateral, o efeito da disparidade estereoscópica é importante não somente

para tornar gráficos mais realistas, como também no contexto de gerenciamento de informação e organização visual.

Os *displays* estereoscópicos requerem que usuários vistam algum tipo de óculos para se utilizar de métodos de multiplexação, visando apresentar imagens distintas ao usuário, cada uma com a perspectiva correta para o respectivo olho, efeito conhecido como paralaxe. Quando não ocorre o isolamento completo dos canais da imagem direita e esquerda, deixando passar para um olho a imagem que seria apenas para o outro olho, dá-se o nome de *crosstalk*, produzindo um efeito conhecido como imagem dupla.

Imagens estereoscópicas, principalmente quando o foco do seu uso é uma tarefa mais demorada como trabalho ou entretenimento, devem representar a menor quantidade possível de astenopia, ou fadiga ocular, para o usuário, já que, segundo Ukai e Howarth [48], a fadiga pode acarretar cansaço, dores de cabeça, náusea e sensação de incômodo para os olhos, como dificuldade de obter foco.

A acomodação do sistema de refração dos olhos (a capacidade das lentes oculares de focar em um objeto de interesse) quanto à disparidade binocular pode ser rapidamente alterada de acordo com a posição da tela e a formação das imagens em planos diferentes. Essa diferença entre a velocidade da acomodação e da necessidade de mudanças de convergência (quando ambos os olhos convergem para focar no objeto de interesse) é causa de grande estresse aos olhos.

Existem diversas maneiras de se obter a multiplexação das imagens para os olhos, mostradas no diagrama da Figura 4.2.1, como a multiplexação espacial, ou seja, a separação física do *display* na frente de cada olho. Dentre as principais tecnologias utilizadas, é possível classificá-las em alguns grupos distintos: as que utilizam-se de óculos especiais para polarização, sejam de efeito ativo ou passivo, as que não se utilizam de óculos especiais e as que se utilizam de *displays* estéreo, com separação física entre as telas.

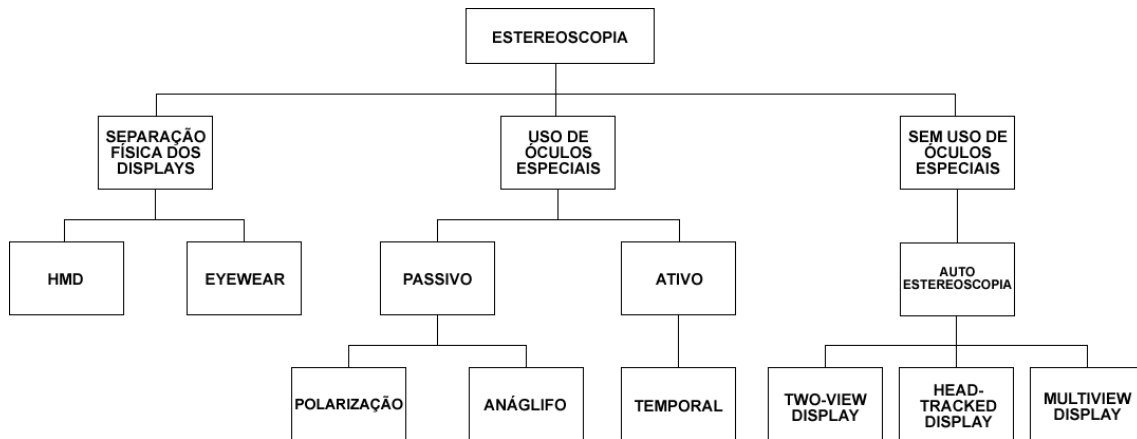


Figura 4.2.1: Diagrama das principais técnicas de estereoscopia.

4.2.3 Multiplexação por separação física dos *displays*

O método de *display* estéreo é representado pelo uso de um *Head-Mounted Display* (HMD), capacete munido de duas pequenas telas localizadas diante de cada um dos olhos do usuário e geralmente dotado de fones de ouvido (Figura 4.2.2). Tecnologias de HMD são muito utilizadas em aplicações de Realidade Aumentada (RA), quando as suas telas são semitransparentes e em simuladores de Realidade Virtual (RV); e por aparelhos do tipo *eyewear*, mais simples e portátil, possibilitando a utilização como uma tela portátil para ver filmes. Os assuntos de *displays* semitransparentes, Realidade Aumentada, Realidade Virtual e outras aplicações de computadores vestíveis serão detalhados posteriormente.



Figura 4.2.2: Exemplo de HDM: SAAB AddVisor 150

Um dispositivo HDM que apresente 3D estereoscópico apresenta como vantagens o seu potencial campo de visão (FOV) ilimitado e a capacidade de permitir sobreposição de imagens independentemente da direção da cabeça do usuário. Porém, requer o posicionamento do equipamento na cabeça do usuário, o que pode ser incômodo, e possui uma relação de proporção inversa entre resolução e campo de visão. O posicionamento das telas, aliás, deve ser feito de maneira precisa com o alinhamento do eixo focal dos olhos para não danificar os olhos da mesma maneira que as lentes de uns óculos de grau torto, que faz com que os músculos dos olhos tenham de se esforçar de maneira desigual. O fato das lentes estarem presas ao capacete faz também com que a imagem siga o movimento da cabeça do usuário e torne a imagem resultante não-natural.

4.2.4 Multiplexação temporal

Outro método, o de multiplexação temporal, consiste na transmissão alternada de imagens destinadas ao olho direito e esquerdo por um *display* e, por isso, é também conhecido como método eclipse. As lentes dos óculos utilizados pelo usuário possuem cristal líquido e funcionam como obturadores que alternam o lado que fica aberto em sincronismo com a sequência de transmissão através de transmissores infravermelhos, de modo que permita a passagem de luz a apenas um olho quando o *display* mostra a imagem destinada a esse olho. Quando os obturadores abrem e fecham a uma frequência de, no mínimo, 60 Hz por olho, o efeito *flicker* (ou de cintilação), que representa uma das principais causas de fadiga ocular, torna-se imperceptível.

O método temporal exige elementos ativos, como uma fonte de energia para a aplicação de tensão no LCD que altera a sua transparência e componentes eletrônicos para o sincronismo, e uma frequência de operação alta para obter bons resultados. Entretanto, simplifica a óptica do *display* e dobra a resolução da imagem exibida por mostrar apenas uma imagem por vez.

4.2.5 Multiplexação por polarização passiva

Um método bastante utilizado para multiplexação em aplicações para visualização de ambientes tridimensionais é o da multiplexação por polarização. Sistemas que utilizam esse método separam uma imagem em duas imagens distintas, uma para cada olho, ao bloquear a imagem indesejada com luz polarizada em filtros passivos.

A imagem gerada é projetada em uma tela semitransparente que preserva a polarização da luz por dois projetores dotados de filtros de polarização ortogonal. O usuário deve, então, vestir um par de óculos com os filtros de polarização passiva correspondentes sobre cada olho, de forma que cada olho receba luz apenas do projetor gerando a respectiva imagem correta.

Ondas de luz oscilam em todas as direções, porém, com o uso de filtros, é possível permitir apenas a passagem da componente em uma direção. Se o filtro de polarização está polarizado na mesma direção que a luz, a luz atravessa o filtro. Caso haja diferença no ângulo entre filtro e luz, apenas parte da luz atravessa o filtro, de maneira inversamente proporcional, até a condição de perpendicularidade, na qual a luz é bloqueada totalmente. Logo, ao se polarizar a luz, reduz-se a sua intensidade, mas não limita as suas cores. A polarização das imagens dos dois projetores de uma imagem 3D deve, então, ser compatível com a polarização de cada uma das lentes, fazendo com que cada olho só consiga enxergar a componente que representa a imagem que deve ver.

A polarização passiva das lentes dos óculos utilizados neste método pode ser do tipo linear ou circular. No caso da polarização linear, uma imagem é polarizada na horizontal e a outra na vertical. Este tipo de polarização possui melhor desempenho óptico, mas o usuário necessita manter a posição da cabeça estável para que a imagem não perca em qualidade, devido ao desalinhamento das imagens com as fases dos filtros horizontal e vertical. O desalinhamento resulta no bloqueio da componente da luz que deveria passar pelo filtro e permissão de luz que deveria ser bloqueada pelo filtro, resultando em *crosstalk* e provocando cansaço do usuário ao ver um filme de longa duração.

Na polarização circular, uma lente está polarizada no sentido horário e a outra no sentido anti-horário, utilizando-se de uma associação de um filtro linear com um filtro de quarto de comprimento de onda. Essa configuração permite maior liberdade

de movimento para o usuário inclinar a cabeça ao olhar para o *display*, pois a maneira como o filtro atua não depende do ângulo da linha dos olhos em relação à tela, e causa menos desconforto aos olhos, sendo a tecnologia mais utilizada em cinemas, onde dois projetores projetam em uma tela especial prateada, que mantém a luz refletida do projetor com a polarização correta, comumente atuando em conjunto com técnicas ativas de temporização para melhora do desempenho por meio de maior diminuição do efeito *crosstalk*.

O método por polarização passiva tem como vantagens a sua boa precisão, o fato de necessitar apenas de um par de óculos leve e apresentar tela fixa. No entanto, como desvantagens ao se utilizar esse método, tem-se problemas para eliminar o *crosstalk*, que ocorre devido a imperfeições nos filtros, tornando-se necessários mais projetores e maior multiplexação no caso de ser utilizado em um ambiente com vários usuários. O método possui uma relação inversamente proporcional entre campo de visão e espaço ocupado pela tela e dificulta o uso em ambientes externos, devido à difusão da luz ambiente.

4.2.6 Multiplexação por comprimento de onda

O método de multiplexação por comprimento de onda também é bastante difundido e consiste em escolher duas cores complementares (comumente vermelho e ciano, por apresentarem menor distorção na geração de imagens 3D), de modo a codificar duas imagens em cada uma das cores e sobrepô-las.

Os filtros, que também são passivos neste caso, presentes em cada uma das lentes dos óculos anáglifos, como são chamados os óculos utilizados neste método, são compatíveis com as cores escolhidas e bloqueiam a imagem indesejada, filtrando apenas a imagem correta para o respectivo olho. Por exemplo, uma imagem é codificada em tom azulado para que apenas o olho com o filtro vermelho consiga enxergá-la, e a imagem avermelhada seja filtrada e destinada apenas ao olho com o filtro ciano. Os olhos se alternam, mostrando alternadamente cada imagem através de um fenômeno chamado rivalidade binocular.

Devido à simplicidade e baixo preço dos óculos utilizados e de não requerer equipamento especial, são bastante utilizados. Entretanto, a codificação das duas imagens em cores complementares torna as cores percebidas pelo usuário alteradas,

apresentando aspecto acinzentado. O efeito de rivalidade binocular também não é desejável a longo prazo, causando estresse aos olhos.

4.2.7 *Displays* autoestereoscópicos

A imagem estereoscópica que não necessita de óculos para a percepção do efeito 3D, é conhecida como autoestereoscópica. Essa tecnologia é objeto de muitos estudos e representa uma forte tendência que já se torna realidade de mercado. Isso se deve ao fato das técnicas utilizadas oferecerem maior realismo tridimensional que os *displays* bidimensionais e os estereoscópicos, além do fato de não ser necessário que o usuário vista óculos ou capacetes especiais.

Os *displays* autoestereoscópicos são comumente divididos em três tipos, segundo Dogson [49]:

- *Two-view displays*;
- *Head-tracked displays*;
- *Multiview displays*.

Os *displays* do tipo *two-view* consistem em multiplexar as imagens a partir da divisão da resolução horizontal de uma tela em dois conjuntos separados de pixels, escolhidos alternadamente, de modo que cada conjunto forme separadamente uma das imagens apropriadas para ser vista por cada olho.

Existem duas maneiras de se fabricar um *display* com multiplexação autoestereoscópica espacial *two-view*: por meio de folha lenticular e de barreira de paralaxe.

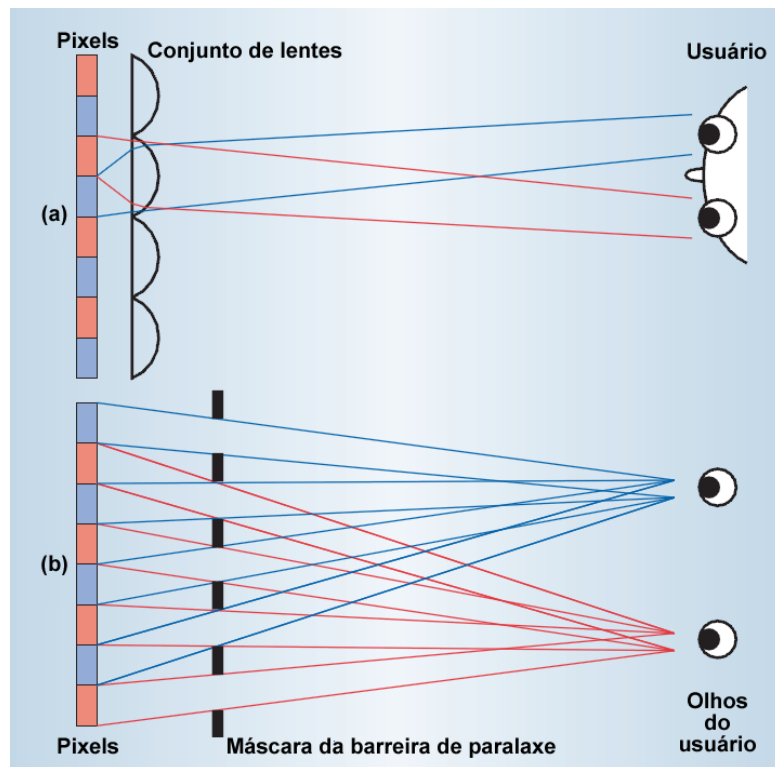


Figura 4.2.3: (a) Representação da técnica de folha lenticular; (b) Representação da técnica de barreira de paralaxe. Adaptado de Dogson [49].

Na técnica lenticular (Figura 4.2.3.a), uma matriz de lentes cilíndricas é colocada à frente da tela, direcionando a luz de colunas adjacentes de pixels para diferentes posições de visualização a uma distância ideal, para que cada olho do usuário veja luz de apenas uma das colunas alternadas de pixels. Analogamente, na técnica da barreira de paralaxe (Figura 4.2.3.b), uma máscara é colocada à frente da tela de modo a formar uma barreira que permite que cada olho veja luz vinda apenas de um dos conjuntos de pixels.

Nestes dois casos, a posição em que imagens podem ser visualizadas é limitada, dificultando que várias pessoas vejam a imagem simultaneamente. Um olho que esteja em uma das posições corretas para a visualização verá a imagem esquerda ou direita, enquanto um olho que não esteja em uma das posições marcadas na Figura 4.2.4 verá uma imagem misturada entre o lado esquerdo e direito. O usuário marcado com um '✓' está em uma posição que possibilita a visualização correta da imagem resultante, já que os seus olhos enxergam as respectivas imagens que deveriam enxergar. Outra possibilidade é demonstrada pela representação do usuário marcado com um 'x', que se encontra em uma posição na qual os olhos enxergam as imagens invertidas das que deveriam enxergar. Neste caso, ele não conseguirá

visualizar corretamente a imagem resultante. A partir disto, é possível notar que, mesmo na distância ideal para a visualização, existe 50% de chance do usuário ver uma imagem incorreta, "ao avesso", conhecida como imagem pseudoscópica.

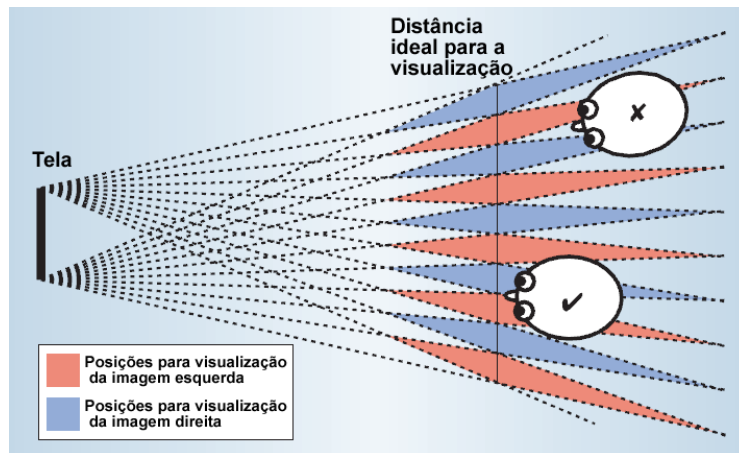


Figura 4.2.4: Posições para visualização de imagens em *two-view displays*.
Adaptação de Dogson [49].

A fabricação de sistemas que utilizam esse método se mostra complicada, já que exige perfeito alinhamento das lentes ou da barreira com os pixels e a resolução e tamanho de pixels necessários para boa eficácia do método restringem os tipos de tela a serem usados. Além disso, a barreira de paralaxe à frente da tela resulta em grande perda de luz e a folha de lentes amplia a estrutura dos pixels, causando a percepção de áreas escurecidas.

Mesmo assim, esse tipo de *display* apresenta aplicações práticas onde essas situações não sejam críticas, como o monitor de um computador ou de um portátil – sendo muito utilizado em celulares com *displays* tridimensionais e alcançando notoriedade entre o público geral com o dispositivo portátil para jogos eletrônicos *Nintendo 3DS* – que é visto por um único usuário em posição fixa.

Aliada às técnicas de *two-view displays*, pode ser utilizada uma técnica de *head tracking*, na qual se monitora a posição da cabeça do usuário para calcular o seu POV (Point of View - ponto de vista), mostrando as imagens corretas nas posições corretas (prevenindo contra a formação de imagens pseudoscópicas) e permitindo que um único usuário veja imagens diferentes de acordo com a posição e movimento dos seus olhos no efeito conhecido como paralaxe de movimento. Esse efeito torna as imagens vistas pelos usuários em um ambiente mais realista, já que os nossos olhos e cérebro funcionam dessa maneira naturalmente.

Maneiras de se obter posicionamentos corretos a partir do monitoramento da cabeça do usuário incluem a inversão de todos os posicionamentos das imagens conforme o movimento do usuário, limitando o uso para apenas um usuário, e um método no qual o sistema gera apenas uma posição para a imagem direita e uma para a esquerda, que acompanham o movimento do usuário utilizando-se, por exemplo, de mecanismos para mover a fonte de luz da tela ou rotacionar todo o *display*. No último caso, é possível que múltiplos usuários visualizem imagens 3D em uma mesma tela utilizando multiplexação temporal, com a tela mostrando as respectivas imagens para cada usuário alternadamente de acordo com a posição da cabeça de cada um.

Alguns dos problemas que podem ocorrer em sistemas de *head tracking* se devem aos fatos da distância de separação dos olhos variar de pessoa para pessoa, podendo diferir da distância esperada para os cálculos do *display*, da alta complexidade associada ao monitoramento da cabeça do usuário e o atraso associado a esse monitoramento.

Já os sistemas de *multiview displays* não se limitam a gerar áreas específicas para cada um dos olhos, de forma que o usuário visualize uma imagem 3D desde que ambos os seus olhos estejam em qualquer posição dentro de uma área. Outra vantagem é que possibilita que vários usuários visualizem a imagem 3D de acordo com seus respectivos POV e também com paralaxe de movimento, sem necessidade de *head tracking*.

Uma das tecnologias que pode ser utilizada nesse tipo de *displays* é o *Cambridge Display*. Ele consiste em uma tela, como um LCD ou uma tela de OLED (*Organic Light-Emitting Diode*), de alta velocidade, uma lente convexa e uma série de fontes de luz em formato de barras confinadas. As barras são iluminadas uma de cada vez de modo a sincronizar com a tela que mostra uma visão da cena, lateralmente adjacentes entre si, de cada vez. Deste modo, a lente convexa posicionada à frente desse sistema atua como uma modulação direcional, permitindo que a visão da imagem seja apenas visível quando vista de apenas uma das direções diferente referente ao posicionamento do usuário em relação à tela.

A necessidade da tela operar em altas frequências de atualização da imagem origina do fato de ter que gerar imagens com frequência que permita boa visualização da imagem para cada visão referente a cada posição do usuário, multiplicando consideravelmente a frequência total necessária. Quanto maior o número de visões lateralmente adjacentes forem geradas, melhor o resultado e a sensação de ambiente

tridimensional para o usuário. Por exemplo, para um sistema que gere 8 visões diferentes, como o da Figura 4.2.5, cada uma apresentando taxa de atualização dos quadros de 60Hz, necessita de uma tela com taxa de 480Hz, o que representa uma taxa alta nos padrões do mercado atual de telas de pequena espessura e uso cotidiano, não apresentando praticidade economicamente.

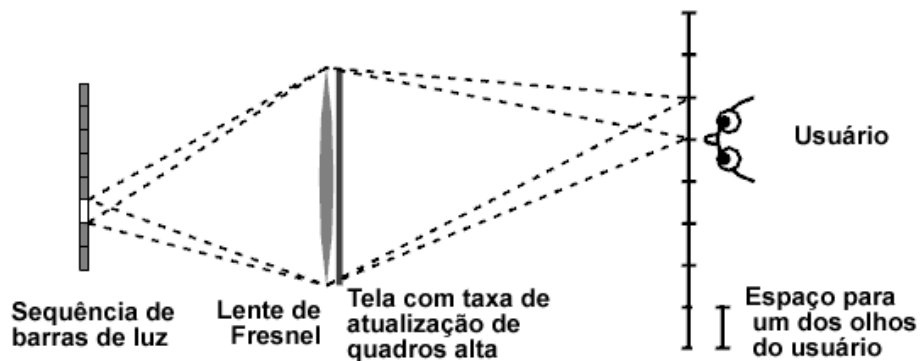


Figura 4.2.5: Representação básica da teoria de um *Cambridge Display*. Adaptado de Dogson [50].

As desvantagens de *multiview displays* se encontram na complexidade e dificuldade para a construção de um *display* que represente tantas vistas diferentes simultaneamente, já que todas as vistas possíveis são geradas e mostradas sempre, mesmo que não haja nenhum usuário na respectiva posição. Apesar de permitir movimentação do usuário e a sua percepção da paralaxe de movimento, o movimento do usuário é limitado, pois as áreas de visualização não são numerosas, tornando a paralaxe de movimento descontínua.

Na medida em que se aumenta o número de visões de diferentes ângulos geradas para o usuário, a sensação criada é a de paralaxe de movimento contínua, sem causar conflitos de convergência entre os olhos ou problemas de acomodação. Este tipo de *display* é conhecido como *holoform display*, pois a aparência da imagem se assemelha a uma holografia.

Além das tecnologias descritas, existem outras maneiras de se obter um *display* que forneça ao usuário a experiência de imagens tridimensionais.

Displays volumétricos e holográficos proporcionam uma experiência tridimensional com grande capacidade de desenvolvimento de telepresença, na qual a comunicação com outra pessoa se dá com áudio e vídeo em tempo real, de modo a simular a presença da pessoa com quem se comunica na mesma sala do usuário.

Display volumétricos se utilizam de diferentes técnicas para simular profundidade na imagem, através de emissão e espalhamento de luz de regiões tridimensionais bem definidas, por exemplo utilizando-se da persistência da visão humana para gerar diversas visões mostradas rapidamente em uma superfície volumétrica, formando uma imagem autoestereoscópica. Enquanto um *display* holográfico se utiliza de holografia gerada por computador (CGH – *Computer Generated Holography*), método através do qual padrões de interferência holográfica de luz coerente são gerados digitalmente, resultando em um *display* que mostra imagens tridimensionais não-físicas.

4.3 NATURAL USER INTERFACE

Atualmente, grande parte das ferramentas fornece bom suporte para interação através de menus e caixas de diálogo com uso de teclados e *mouses*, mas a tendência percebida no mercado é que esses métodos percam espaço e sejam substituídos, pelo menos em parte, por técnicas como reconhecimento gestual, escrita manual e reconhecimento de fala. Os métodos de reconhecimento requerem *software* que identifiquem as ações de caráter mais natural do usuário e interprete o seu significado como dispositivo de entrada.

Interfaces que se baseiam em reconhecimento possuem algumas diferenças com relação à CLI e GUI no que se refere à precisão do *input* do usuário, já que podem ocorrer erros de interpretação durante o reconhecimento, tornando-o incerto. Por isso, devem fornecer um *feedback* ao usuário de modo que ele mesmo possa se monitorar, checar a causa do erro de interpretação e corrigi-lo. Ao mesmo tempo, ao se programar um *software* de uma aplicação deste tipo, deve-se utilizar profundos conhecimentos sobre o contexto da aplicação para que haja menos erros de interpretação no reconhecimento dos dados de entrada do usuário.

Buxton [51] define uma interface como natural se "uma interface de usuário desenvolvida para reusar habilidades existentes na interação direta com o conteúdo".

Uma NUI (*Natural User Interface*) se utiliza das habilidades não-computacionais já existentes de um usuário, inatas ou adquiridas através da prática e vivência de comunicação, verbal ou não, com outros seres humanos e a interação com o ambiente ao seu redor. Deste modo, a interação acontece por meio de diversos tipos

de dispositivos de entrada intuitivos, seja por toque, gestos ou fala, em um ambiente que represente metáforas que remetam a experiências do mundo real do usuário.

Blake [52] faz uma comparação com CLI e GUI, que se utilizam de elementos artificiais para criar as interfaces. Uma CLI utiliza texto como *input* e também como *output* e uma GUI utiliza, por exemplo, *mouse* para *input* e janelas, menus, ícones como *output*. Porém, a diferença principal, é o fato de CLI e GUI se definirem quanto ao dispositivo de entrada utilizado, enquanto NUI se define no modo como é realizada a interação. Assim, qualquer tipo de tecnologia pode ser utilizado na interface natural, desde que a interação se baseie na reutilização de habilidades existentes do usuário e foque no conteúdo, na sua interação direta com o usuário.

A interação direta do usuário com o conteúdo não significa que uma interface natural deva ser totalmente desprovida de controles físicos artificiais ou gráficos, como caixas de mensagens e botões. Apenas significa que estes devem ser secundários à interação direta com o conteúdo. Como já foi dito anteriormente, uma interface deve ser projetada de modo que as suas interações sejam apropriadas ao usuário, ao conteúdo e ao contexto em que é utilizada.

Isso ocorre devido à forma como ocorre a transição entre tipos de interfaces. Um novo tipo de interface de maior capacidade, usabilidade e apreensibilidade passa a dominar as funções mais gerais de uma interface e a natureza competitiva do mercado causa a expansão da sua adoção. Porém, o novo tipo de interface não substitui completamente o tipo anterior, pois esse ainda se apresenta útil e complementar à interface pela maior eficiência em funções mais especializadas. A transição de CLI para GUI ocorreu desta forma, assim como ocorre a transição de GUI para NUI, com as interfaces naturais desempenhando as funções mais gerais, sendo mais fáceis de aprender já que se baseiam em comportamento natural e cotidiano do usuário, enaltecendo a experiência do usuário e a usabilidade da interface; e as interfaces gráficas desempenhando funções especializadas, que requerem maior precisão com um cursor e extensas atividades de entrada de dados.

Sistemas multitoque podem adaptar a forma da sua interação para cada aplicação, funcionando como *joystick*, *mouse*, teclado e permitindo uso de linguagem natural de uma maneira flexível e customizável. Os campos para aplicação de sistemas deste tipo são os mais diversos: PDAs; leitores de *e-books*; pode ser utilizado para ajudar, até mesmo pessoas com necessidades especiais, no desenvolvimento de habilidades motoras devido à forma intuitiva e direta da

coordenação entre cérebro e mãos necessária nessa interação; computador esterilizável para uso médico e cirúrgico; painéis que podem ser usados como lousas com objetos manipuláveis; terminais de atendimento a clientes; mapas interativos, por exemplo, para finalidades de estratégia militar; desenho e modelagem tridimensional em *tablets*; e uma infinidade de *widgets*.

A Teoria da Carga Cognitiva de Sweller [53] explica que cada pessoa possui uma capacidade de memória de trabalho que limita a quantidade de tarefas que conseguimos realizar ao mesmo tempo. A partir disto, Sweller sugere que algumas atividades de aprendizagem exigem o uso de uma porção significativa da memória de trabalho de uma pessoa e, como a memória de trabalho da pessoa é limitada, a aprendizagem se torna ineficiente devido à falta de memória de trabalho necessária.

A definição do conceito de carga cognitiva é justamente a medida da memória de trabalho utilizada ao se realizar uma tarefa. Segundo Sweller, van Merriënboer e Paas [54], existem três tipos diferentes de carga cognitiva:

- Carga cognitiva intrínseca: a dificuldade e complexidade inerentes ao assunto ou tarefa;
- Carga cognitiva natural: a carga gerada pelas atividades de ensino que beneficiam a aprendizagem da interface;
- Carga cognitiva externa: a carga é gerada pela maneira como a informação é apresentada ao usuário, ou seja, pelas habilidades utilizadas na interação de uma interface. Desperdiça recursos mentais limitados que poderiam ser destinados à carga cognitiva natural.

No desenvolvimento de uma interface, a carga cognitiva deve ser controlada de tal maneira a maximizar a carga cognitiva natural e minimizar a carga cognitiva externa, enquanto se mantém a carga cognitiva intrínseca em um nível razoável. Habilidades simples, como utilizar um comando por fala para inicializar um aplicativo, possuem pequena carga cognitiva, ao passo que habilidades compostas, que necessitam de outras habilidades, se mostram mais difíceis de aprender e possuem maior carga cognitiva externa por exigir um pensamento conceitual por parte do usuário, diminuindo a memória de trabalho disponível para as cargas cognitivas intrínseca e natural, como navegar por pastas com um *mouse* para inicializar o mesmo aplicativo. É possível ver desta forma que se deve buscar o uso de habilidades simples em detrimento do uso de habilidades compostas ao se desenvolver uma interface para

evitar que o usuário tenha de pensar sobre a utilização da interface, ao invés de tomar decisões sobre a tarefa que está sendo executada.

O passo mais difícil para o uso de uma habilidade é o seu processo de aprendizagem, tanto no caso de interfaces, quanto sob qualquer outro aspecto da vida. Uma vez que esse passo foi superado, exercitar a habilidade adquirida se torna muito mais simples. Aproveitando-se das habilidades já adquiridas pelos usuários através da vivência (sejam elas habilidades comuns à maioria das pessoas ou habilidades específicas de um público-alvo da interface), desenvolvedores de interfaces podem diminuir a carga cognitiva externa para que os usuários não necessitem aprender uma nova habilidade, apenas aplicar a sua habilidade em uma nova interação, o que faz parte da parte relevante da carga para o seu aprendizado, a carga cognitiva natural.

A curva de aprendizagem com maior inclinação, comum em uma aplicação com NUI, faz com que o usuário atinja um alto nível de interação e satisfação rapidamente. Esse fato se deve à aprendizagem progressiva que interfaces naturais proporcionam, através da quebra de tarefas avançadas, que requerem habilidades complexas, em subtarefas que necessitam apenas de habilidades mais simples sempre que possível. Desta forma, um usuário iniciante progride na complexidade da sua interação com a interface, ao mesmo tempo em que um usuário mais experimentado opera a interface em nível avançado sem que a interface o incomode ou perca capacidade de trabalhar com tarefas mais complexas.

Além disso, para o desenvolvimento de uma interface deve ser levado em consideração o limite de memória de trabalho disponível, que varia de pessoa para pessoa, de acordo com as suas capacidades cognitivas. O cérebro de uma criança, por exemplo, ainda está em desenvolvimento e ela está em processo de explorar suas habilidades simples, possuindo capacidades cognitivas e, conseqüentemente, memória de trabalho limitados. O mesmo ocorre com uma pessoa de idade avançada, que apresenta capacidades cognitivas em deterioração, e pessoas com capacidades cognitivas limitadas por deficiências físicas e mentais.

Outro caso que deve ser levado em consideração é o de interfaces que não devem atrair a atenção do usuário, pois serão utilizadas em ambientes hostis que exigem boa parte da atenção e memória de trabalho do usuário, como o GPS de um carro, um controle para operação de máquinas pesadas no chão de fábrica, ou um dispositivo para comunicação em um campo de batalha. Nestes casos, deve-se minimizar a carga cognitiva para permitir que a gama de usuários que podem operar a

interface eficientemente não diminua e para que diminua o risco de utilização da interface.

Interfaces naturais, do mesmo modo que a interação das pessoas com o mundo real, possuem características que proporcionam uma sensação de fluidez e naturalidade:

- Interação direta, seja pela proximidade física da ação do usuário com o elemento com o qual interage, ou pela proximidade temporal na qual a interface reage ao mesmo tempo que o usuário, ou ainda por ação paralela do mapeamento entre uma ação do usuário e um elemento da interface. Quando uma interface permite usuários a interagir com computadores por movimento de seu corpo, ou partes dele, e objetos, Bruegger e Hirsbrunner [55] dizem que ela é uma interface de usuário cinética (KUI – *Kinetic User Interface*). Exemplos de interação direta seriam uma tela multitoque, através da qual o usuário toca a tela diretamente, enquanto a interface reage imediatamente e a movimentação e gestos dos dedos são mapeados nas coordenadas da tela; um console de jogos eletrônicos *Nintendo Wii*, que mapeia um bastão controlado pelo usuário e os seus três graus de liberdade de movimento, que representam uma reação de um elemento da interface ao mesmo tempo da ação realizada com o bastão; e o *Microsoft Kinect*, concorrente do *Nintendo Wii*, que mapeia pontos do corpo do usuário para criar um modelo cujos movimentos interagem diretamente com o ambiente do jogo;
- Interação de alta frequência, através de várias pequenas interações rápidas, resultantes de uma interação direta, e constante *feedback*, que resultam em maior realismo. Um *tablet* realiza diversas interações rápidas de cada ponto em que se desenha sobre ele, reproduzindo os traços ao mesmo tempo;
- Interação contextual, que busca prioritariamente opções apropriadas de tarefas a serem realizadas conforme a tarefa realizada pelo usuário, permitindo tomadas de decisões mais rápidas e fáceis.

A somatória de características como diminuição da carga cognitiva, aprendizagem progressiva, interação direta, evitando metáforas artificiais,

apresentadas pelas interfaces naturais representa um grande atrativo na inclusão de usuários que poderiam apresentar dificuldades em utilizar uma interface gráfica e pode causar aumento da motivação de novos consumidores para o mercado ou consumidores insatisfeitos com o que era oferecido no mercado anteriormente.

Um exemplo já citado no item 3.1.1 é o do console de jogos eletrônicos *Nintendo Wii*, que se utiliza de uma interface natural gestual, se aproveitando de habilidades motoras simples e intuitivas para permitir que até mesmo usuários que não estão habituados a jogar *videogames* se tornem jogadores com bom nível de controle sobre suas ações no jogo instantaneamente. Isso representou um sucesso de vendas sem precedentes, em todas as faixas etárias, dentro do mercado de jogos eletrônicos e ocasionou o desenvolvimento de produtos com enfoque similar em interfaces naturais em empresas concorrentes, consolidando a tendência em aparelhos domésticos e familiarizando o público comum com a tecnologia.

4.3.1 *Displays* multitoque

Uma alternativa usualmente aplicada para se tentar contornar a limitada banda de informação de um *mouse* ou um sistema de tela sensível ao toque, que apresentam apenas um ponto de interação, se deu a partir do desenvolvimento de *touchscreens* que são capazes de registrar diversos toques distintos simultaneamente, incluindo alguns tipos de gestos, popularizados pelo sucesso do *iPhone*: os *multi-touch displays*.

Diversas técnicas de multitoque foram descritas na literatura, como o uso de duas câmeras localizadas atrás de um *display* que detectam a posição da mão do usuário e o uso de variações de capacitância, mas as duas principais vertentes são o método de FTIR e o método de DI.

A técnica mais difundida e simples que permite a percepção robusta, com alta resolução espacial e temporal, de múltiplos toques, além de ser fácil e barata de ser implementada, mesmo em grandes instalações, é a introduzida por Han [56] e que se utiliza do fenômeno da reflexão total interna frustrada - conhecida como FTIR, do inglês *Frustrated Total Internal Reflection*.

O fenômeno de reflexão total interna devido à diferença entre índices de refração entre dois meios e uma luz emitida a um ângulo de incidência acima do ângulo crítico, explicado pela Lei de Snell, pode ser eliminado se aproximarmos da

superfície do meio um outro material, que tenha um índice de refração próximo ou igual ao do meio anterior. Entretanto, a distância deve ser aproximadamente igual ao comprimento de onda da luz, que é da ordem de micrômetros, para que a reflexão total interna não ocorra e a luz atravesse a interface entre os meios, de modo que os materiais devem estar encostados.

Um dispositivo multitoque FTIR é construído de maneira que uma moldura de LEDs de infravermelho é posicionada nas laterais de uma peça de acrílico para que a luz infravermelha sofra reflexão total no seu interior (Figura 4.3.1). No momento em que um dedo toca a superfície acrílica, que deve ser coberta por uma camada de um material de acoplamento (como silicone transparente) para aumentar a sensibilidade do sistema e permitir a detecção de movimentos de arrasto com o dedo, a reflexão total é interrompida e a luz infravermelha, invisível ao olho humano, sai da peça acrílica, atingindo a ponta do dedo e sofrendo espalhamento. Uma câmera de infravermelho é posicionada na parte de trás do acrílico e capta os espalhamentos oriundos dos dedos do usuário. A imagem gerada pela câmera é então analisada por *software*, definindo as coordenadas, pressão (já que o aumento de pressão implica no aumento da área de contato entre dedo e acrílico) e movimentos dos dedos, assim como os gestos que estão programados para serem reconhecidos. *Displays* de LCD não causam significativa interferência no espectro infravermelho, podendo ser usado em conjunto com essa técnica.

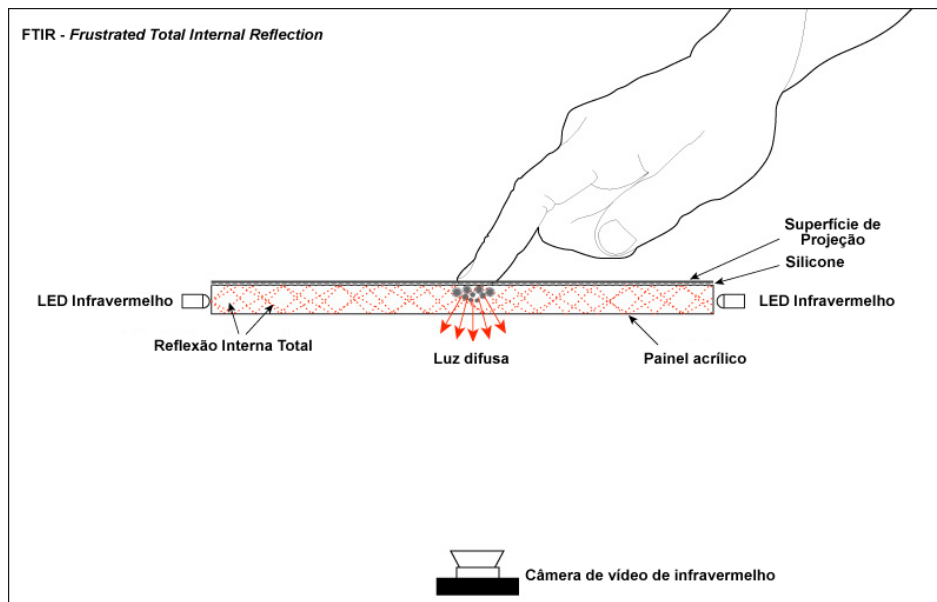


Figura 4.3.1: Esquema de funcionamento de multitoque FTIR. Adaptado de Roth [57].

Em contrapartida, o método de DI (do inglês *Diffused Illumination* - Iluminação Difusa), também conhecido como iluminação traseira, utiliza-se de luz infravermelha sendo projetada por baixo de uma superfície transparente (acrílico ou vidro, por exemplo) coberta por um difusor, um material semitransparente (Figura 4.3.2). O toque de um objeto na superfície faz com que mais luz seja refletida em relação à luz refletida pelo difusor e por objetos de fundo, levando à detecção dessa maior quantidade de luz pela câmera de infravermelho.

O difusor permite que apenas parte da luz o atravesse, cerca da metade da quantidade incidente, porém o toque do objeto no difusor bloqueia a passagem de luz naquele ponto, sendo iluminado completamente e detectado pela câmera. Dependendo do difusor utilizado, a técnica de DI pode detectar objetos posicionados na superfície e objetos que passem sobre a superfície. Um exemplo dessa propriedade é a função do *Microsoft Surface*, um computador *tablettop* dotado de multitoque do tipo DI, que consegue digitalizar em tempo real a mão do usuário ou um objeto, como uma cédula de dinheiro, posicionado na superfície, além de seu movimento.

O método de DI apresenta como vantagens o fato de não necessitar de um material de acoplamento sobre a superfície, apesar de precisar de um material difusor ou uma superfície de projeção e a maior liberdade de escolha do material transparente, já que o índice de refração não é um fator crítico como no caso da escolha do acrílico para o método de FTIR. Porém necessita de um encapsulamento do sistema devido à projeção da luz pelos iluminadores e as marcas detectadas pela câmera não são tão nítidas quanto às do método de FTIR.

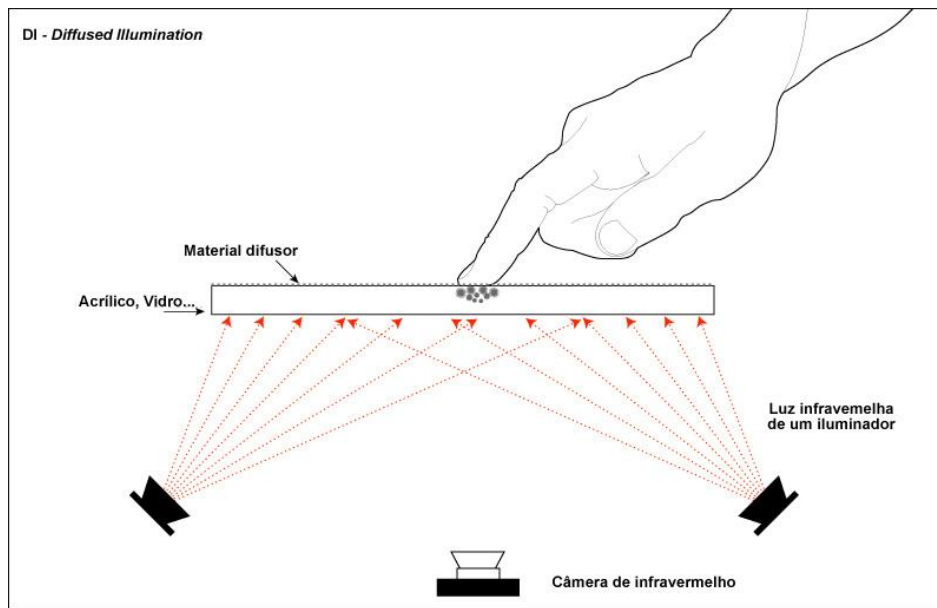


Figura 4.3.2: Esquema de funcionamento de multitoque DI. Adaptado de Roth [57].

Telas multitoque permitem que múltiplos usuários interajam ao mesmo tempo em uma só tela, além de permitir interpretações gestuais, como o movimento de pinça (geralmente usado para *zoom*), apresentando característica de interface natural. Brewster, Chohan e Brown [58] analisam a resposta háptica em interações portáteis, chegando à conclusão de que o *feedback* tátil reduz os erros de entrada de dados em 20%, aumenta a velocidade de entrada de dados em 20% e diminuem a carga cognitiva em 40%. A maior precisão, a intuitividade alcançada, a necessidade de um menor esforço para realizar a mesma tarefa e o melhor controle sobre a pressão necessária a ser exercida, tornam o *feedback* háptico um meio de se conseguir, nessas condições, uma interface que exija menos do usuário física e mentalmente, e permita uma interação menos frustrante e irritante ao usuário.

Essa conclusão é importante, pois atenua um dos maiores problemas enfrentados por *touchscreens*: o fato de muitas vezes não ser utilizada uma *stylus* (caneta utilizada para *input* em *touchscreens*) dificulta o reconhecimento do comando desejado a partir do toque, pois o dedo representa uma área grande, no que é chamado de 'problema do dedo gordo'.

Além do 'problema do dedo gordo', outro problema importante que deve ser levado em conta é a ambiguidade de *feedback*. Isso é causado pela eliminação do ponteiro em uma tela sensível a toque e do *feedback* físico que uma interface com *mouse* proveria através do próprio mouse, resultando em ações que causam comportamentos inesperados do sistema. Uma maneira de reduzir esses efeitos é

adicionar um *feedback*, seja visual, como um sinal luminoso no local de contato, ou háptico.

Em estudo conduzido por Forlines, Wigdor, Shen e Bakakrishnan [59], conclui-se que o *designer* de uma interface deve levar em consideração a proporção entre a quantidade de *input* feito com apenas uma das mãos e feito com ambas as mãos para avaliar qual o melhor método a ser implementado. Um *input* realizado a partir de toque direto não apresenta grande desempenho em termos de velocidade e precisão em se tratando de atividades realizadas com apenas um dedo quando comparadas às mesmas atividades realizadas com um *mouse*. Entretanto, ao se estudar o desempenho de um sistema multitoque, a diminuição da fadiga e melhoria da memória espacial, quando comparados a uma interface com *mouse*, e a possibilidade de interagir ao mesmo tempo que outro usuário na mesma tela podem pesar na escolha de um sistema multitoque para uma aplicação como um *tabletop*.

Atualmente, há uma grande busca na combinação de *displays* 3D com tecnologia *multi-touch*, resultando em grande imersão do usuário tanto visualmente, quanto para o controle da interface no que é chamado de toque imersivo 3D. *Tabletops* 3D deparam-se com a complexa tarefa de manipulação de dados tridimensionais, como seleção, movimento, rotação e dimensionamento de objetos na tela. Deste modo, a utilização da sua interação multitoque se dá de forma à mão não dominante do usuário agir como um seletor do modo de navegação e a mão dominante quantifica a ação da função selecionada.

4.3.2 Realidade Misturada

Uma vantagem interessante e muito explorada por interfaces naturais é a possibilidade de misturar objetos do mundo real com objetos virtuais em um mesmo ambiente de interação, no que é conhecido como Realidade Misturada. Dentre os conceitos explorados em Realidade Misturada, será dada ênfase à Realidade Aumentada.

O objetivo de um sistema de Realidade Aumentada (RA) é criar a sensação de que objetos virtuais estão presentes no mundo real através de software que combina elementos de realidade virtual com o mundo real, permitindo também a sua manipulação. Dentre as várias definições existentes na literatura, a que se mostra

como mais aceita é a de Azuma [60], que diz que Realidade Aumentada é um sistema que suplementa o mundo real com objetos virtuais gerados por computador, parecendo coexistir no mesmo espaço e apresentando as seguintes propriedades:

- combina objetos reais e virtuais no ambiente real;
- executa interativamente em tempo real;
- alinha objetos reais e virtuais entre si;
- aplica-se a todos os sentidos, incluindo visão, audição, tato, força e olfato.

É possível fazer um comparativo entre Realidade Aumentada e Realidade Virtual (RV):

- a Realidade Aumentada enriquece o ambiente real com elementos virtuais, enquanto a Realidade Virtual é totalmente gerada por computador;
- no ambiente de Realidade Aumentada, o usuário mantém o sentido de presença no mundo real, entretanto, na Realidade Virtual, as sensações do ambiente (virtual) são controladas pelo sistema;
- a Realidade Aumentada precisa de um mecanismo para combinar os elementos virtuais e o ambiente, ao passo que a Realidade Virtual precisa de um mecanismo para integrar o usuário ao mundo virtual.

A Realidade Virtual é definida então, segundo Kirner [61], como "uma técnica avançada de interface, onde o usuário pode realizar imersão, navegação e interação em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, utilizando canais multissensoriais".

O usuário fica imerso no espaço virtual da interface de realidade virtual, possibilitando que visualize, manipule e explore os dados da aplicação em tempo real, usando seus sentidos, particularmente os movimentos naturais tridimensionais do corpo. A grande vantagem desse tipo de interface é que o conhecimento intuitivo do usuário a respeito do mundo físico pode ser transferido para manipular o mundo virtual. É criada a sensação para o usuário de que ele está realmente presente e interagindo com o mundo virtual através de vários de seus sentidos, recebendo *feedback* visual, auditivo, tátil, de força e talvez até mesmo olfativo e gustativo.

Para obter eficiência de uma interface de Realidade Aumentada são necessários um controle de posicionamento do usuário e outros atributos do sistema como ativação de ações, seleção e forma de interação do usuário com objetos.

A presença de câmeras em dispositivos portáteis, *displays* translúcidos e dispositivos vestíveis permitem que o usuário, cada vez mais, tenha uma nova percepção do mundo ao seu redor. A evolução da capacidade computacional, dos dispositivos de visualização, como telas autoestereoscópicas e projetores, dos dispositivos de entrada com novos métodos de aquisição e novos materiais, além do refinamento contínuo de algoritmos de reconhecimento e de geração de imagens, permitem um maior realismo e uma expansão das utilidades que sistemas de Realidade Aumentada tem, tanto no meio acadêmico, quanto no cotidiano.

Em se tratando do uso da tecnologia no cotidiano, pode-se observar a força da tendência da Computação Ubíqua descrita por Weiser [62], na qual os equipamentos computacionais permeiam o mundo real do usuário, enriquecendo-o, tornando a informática onipresente no cotidiano das pessoas e a interação entre humanos e máquinas invisíveis ao integrar ações e comportamentos naturais das pessoas a essa interação, segundo a proposta de Tecnologia Calma de Weiser [63]. Os equipamentos eletrônicos tendem a se miniaturizar, enquanto aumentam a sua capacidade de processamento e integração de serviços e a outros equipamentos, e melhoram a tecnologia empregada na sua construção e programação, tornando-se cada vez mais portáteis ou vestíveis e favorecendo a chamada Realidade Aumentada Ubíqua. Desta forma, a Realidade Aumentada Ubíqua deverá diminuir cada vez mais a distância entre a Realidade Virtual e a Computação Ubíqua, que ocorre no mundo real.

A utilidade de sistemas de realidade misturada de elementos reais e virtuais também é bastante observada em situações de simulação e treinamento, que necessitam de maior realismo pelo sensação de toque, dispositivos de *feedback* háptico podem ser utilizados, como por exemplo para simulação e treinamento cirúrgico, além de telecirurgias em casos mais críticos da aplicação, permitindo que o cirurgião tenha as mesmas sensações de toque nos tecidos virtuais e nos tecidos reais. Desta forma, ambientes virtuais e elementos virtuais permeando o mundo real se tornam potentes ferramentas didáticas e pedagógicas. A Realidade Aumentada também contribui para o diagnóstico por imagens, através de uso de equipamentos de ultrassom, ressonância magnética e tomografia computadorizada, que permitem reconstrução de modelos tridimensionais a partir da interpolação das imagens obtidas.

O apelo da tecnologia para o entretenimento é grande, já que cenários e comportamentos se tornam mais realistas, por exemplo, para jogos, que exploram a utilização de Computação Gráfica (CG). A geração atual de jogos eletrônicos, sejam de uso portátil ou doméstico, busca explorar mais sentidos do usuário para maior imersão e aproximação ao conteúdo. A sensação de imersão multissensorial se dá por sensores de posição e movimento como acelerômetro e giroscópio do *Nintendo Wii*, *Nintendo 3DS*, *iPhone* e rastreamento por câmera como o *PlayStation Move* e *Microsoft Kinect*, além do uso de microfones para comandos por voz e sistema de som estéreo, utilização de telas estereoscópicas como o *PlayStation 3* e autoestereoscópicas como do *Nintendo 3DS*, *feedback* háptico feito por vibrações no controle ou no próprio dispositivo.

O rastreamento referido tem a função de identificar a posição da mão, da cabeça, olhos, mapear diversos pontos para construir um modelo do próprio usuário ou de algum equipamento ou marcação atrelados ao usuário, elementos do ambiente ou objetos, de acordo com a aplicação. Com a maior capacidade de miniaturização e popularização de câmeras, além do avanço das técnicas de visão computacional e do poder de processamento dos computadores, o reconhecimento e rastreamento ópticos se tornaram mais viáveis e representam uma realidade, em função da disponibilidade e do baixo custo do *hardware* para aquisição de vídeo em tempo real.

O rastreamento, entretanto, pode ser realizado de outras maneiras além de captação de luz por câmeras. Pode ser feito, por exemplo, mecanicamente, estando atrelado fisicamente ao usuário, dando-lhe pouca mobilidade, ou por emissão de ondas ultrassônicas, como um sonar que permite maior liberdade de movimentos, mas tem menor precisão.

A aplicação dita a precisão necessária no rastreamento. No caso de rastrear movimento dos olhos para navegação em uma interface para pessoas com dificuldades motoras, deve ser de precisão fina, assim como uma interface que deve mapear os dedos do usuário individualmente e identificar linguagem de sinais, por exemplo. A mesma precisão não é necessária para rastreamento da cabeça do usuário para um monitor autoestereoscópico.

A integração de serviços, acesso à bases de dados na *Internet* e a outros equipamentos permitem que equipamentos reconheçam um objeto ou lugar detectado pelos seus dispositivos de entrada, como um vídeo do ambiente em que o usuário se encontra em tempo real de uma câmera ou uma foto de um produto ou pessoa e

cruzem os dados obtidos com bancos de dados, fornecendo maiores informações ao usuário sobre o ambiente que o cerca. Exemplos são a possibilidade de utilizar um aparelho celular com acesso à *Internet* e dotado de câmera para visualizar um código de barras, um código de barras matricial ou até mesmo a imagem de um produto, cenário ou logomarca, e receber informações detalhadas sobre a imagem reconhecida pelo cruzamento de informações em bases de dados.

Um campo de aplicações muito importante para RA é o de suporte a deficiências e de reabilitação de funções motoras e cognitivas. Através de aplicações de RA, é possível utilizar *near-eye displays* dotados de câmeras que mostram ao olho do usuário uma imagem corrigida que supra deficiências da sua retina e também, como citado anteriormente, utilizar o mesmo tipo de *displays* próximos aos olhos do usuário e podendo ser translúcidos, para navegação de um aplicativo com os movimentos dos olhos em casos de usuários com deficiências motoras. A reabilitação de funções cognitivas e motoras pode ser auxiliada pelo uso deste tipo de tecnologia aliadas a técnicas terapêuticas, estimulando atenção, percepção e treinamento de coordenação motora.

4.4 TANGIBLE USER INTERFACE

Outro recurso explorado é o de interfaces de usuário tangíveis (TUI – *Tangible User Interface*). Uma TUI é também uma KUI (*Kinetic User Interface*), que representa um conceito mais amplo, e permite a manipulação de objetos virtuais através da manipulação de objetos reais. Em interfaces tangíveis, os usuários manipulam objetos físicos, ferramentas, superfícies ou espaços para interagir com as aplicações. A forma como os usuários manipulam os objetos reais é natural e intuitiva e cada objeto físico real é mapeado de modo a corresponder a um objeto virtual. Em sistemas de RA, os objetos físicos são mapeados usando-se uma função um-para-um com operações sobre objetos virtuais.

A principal característica de uma GUI é a separação de representações intangíveis para propósitos de controle remoto, permitindo flexibilidade e maleabilidade. Porém, na abordagem de uma TUI, a informação e computação recebem forma física e representação tangível. A representação física permite que os usuários segurem e manipulem diretamente objetos, servindo de mecanismo de controle para a

computação interna e a informação digital, criando a ilusão da interação tangível por meio de *feedback* dinâmico.

Um exemplo de TUI é o *Urp*, uma bancada de planejamento urbano desenvolvida no *MIT Media Laboratory* por Underkoffler e Ishii [64]. Sobre essa bancada, são colocados modelos arquitetônicos físicos e sombras virtuais desses modelos são projetadas por simulação computacional de tempo, dia e estação do ano controlada por peças giratórias que representam um relógio virtual. Outras possíveis aplicações de sistemas similares incluem, por exemplo, a de maquetes que possibilitam simular a logística em galpões de depósito.

Muitos sistemas de TUI são utilizados com propósito educacional e também ligados ao entretenimento. Simuladores e jogos como o *Nintendo Wii* representam bons exemplos da manipulação de objetos tangíveis para controle de objetos virtuais.

Versões de brinquedos físicos melhorados por computadores, como blocos de montar e *kits* de construção permitem que crianças e pessoas com necessidades especiais tenham acesso à exploração de conceitos a nível prático que ultrapassam as habilidades de aprendizagem e de pensamento abstrato relativos à idade e dificuldades dos usuários, como equilíbrio, dinâmica de movimento, anatomia.

Exemplo de blocos de montar com funções aumentadas por computador é o *Lego Mindstorms*, *kit* de construção robótica derivado do *MIT Media Lab Lifelong Kindergarten group*. Outro exemplo é o projeto *Linguabytes* de Hengeveld [65] explora tratamentos de fonoaudiologia ao contar histórias interativamente com objetos para crianças com deficiências físicas, motoras e cognitivas.

A interação física de TUI para aprendizagem permite o treinamento de habilidades motoras e de percepção do usuário, promovendo experiências sensoriais e incentivando uso colaborativo. De maneira geral, uma interface tangível fornece acesso a um rico ambiente de aprendizagem com grandes possibilidades de desenvolvimento cognitivo, linguístico e social, quando comparado a um sistema de GUI tradicional. A natureza física das TUI também permite a atenuação da necessidade do usuário aprender regras explícitas de uso do sistema, diminuindo o limiar para utilização de sistemas computacionais para uma tarefa específica, e ajuda o usuário a diminuir a carga de cognição espacial, causando maior imersão no problema para facilitar a sua solução pela visualização da informação.

4.5 ORGANIC USER INTERFACE

A definição de uma *Organic User Interface* (OUI), segundo Holman e Vertegaal [66], é "uma interface de computador que usa um *display* não-planar como dispositivo de saída primário, assim como dispositivo de entrada. Quando flexível, OUIs têm a habilidade de se tornar informação em um *display* a partir de deformação, seja por manipulação ou atuação. Os seus gráficos fluídos baseados em física são moldados através de *multitouch* e gestos bimanuais." O objeto que representa a saída de informações para o usuário também representa o meio de entrada de informações do usuário, em uma forma que represente a sua função e que se altere para servir ao seu devido contexto. A forma com que essas interfaces se adaptam aos seus contextos de uso permite boa e rápida apreensibilidade, ergonomia e consequente satisfação do usuário, inspirando o seu uso de forma criativa, não apenas produtiva.

Schwesig [67] explica que interfaces orgânicas representam uma forma menos literal de interação, na qual se dá mais ênfase no analógico, no contínuo e na natureza transitória da realidade física e da experiência humana, ao invés de focar em objetos físicos e metáforas. O usuário passa por uma experiência em que reconhece as pequenas variações da interação física ao se combinar dispositivos de entrada analógicos sensíveis e recursos gráficos que respondam a esses estímulos.

Como visto anteriormente, sensores pequenos e baratos podem capturar uma grande variedade de entradas físicas analógicas: gesto, pressão, deformação, orientação, localização, múltiplos toques etc. Materiais flexíveis como *displays* de FOLED (*Flexible Organic Light-Emitting Diode*), o aumento da velocidade de processamento em dispositivos portáteis e *displays* de alta resolução apontam a direção para o desenvolvimento de computadores flexíveis, que consigam perceber os seus formatos, unindo o dispositivo de entrada e a sua interface gráfica em um único elemento da interface e que atue com as sutilezas da natureza analógica da interação física.

Dentre os diversos dispositivos que podem ser utilizados para tornar uma interface mais orgânica, estão sensores de fibras ópticas utilizados para medir dobras, sensores piezoelétricos para medir deformações tecidos para monitorar gestos, postura e sinais vitais como respiração do usuário em dispositivos de *wearable computing* com possibilidades em aplicações médicas e de reabilitação motora, como no estudo conduzido por Huang, Shen, Tang e Chang [68] e telas finas, sem *backlight*

e flexíveis que podem ser utilizadas, por exemplo, como papel eletrônico com a tinta eletrônica de material biestável.

O FOLED é uma tela de OLED construído em um substrato flexível como plástico ou uma folha metálica, o que confere vantagens como maior leveza, espessura e a falta de *backlight* volumosa, quando comparada a um LCD construído em substrato de vidro, além da flexibilidade que pode oferecer. A flexibilidade, aliás, representa um passo importante no avanço de interfaces para dispositivos portáteis, vestíveis e computação ubíqua, já que é possível torcer, enrolar ou dobrar um *display* leve e de pouco volume.

O uso de sensores analógicos foi explorado, por exemplo, no desenvolvimento do conceito de interface Gummi, da Sony [67] (Figura 4.5.1), que busca a integração de componentes eletrônicos orgânicos e flexíveis em camadas: circuitos de memória e de processamento flexíveis, bateria flexível, sensores flexíveis de posição e de dobra. Não há botões ou função de toque convencional, o usuário interage ao entortar o dispositivo, realizando gestos pré-programados, inclinando-o e tocando os seus sensores.



Figura 4.5.1: Protótipo da interface Gummi da Sony mostrando navegação em um mapa. [67]

Diferentes sistemas capacitivos de sensibilidade a toque desenvolvidos, como o *SmartSkin* [69] e o *DiamondTouch* [70], também podem ser integrados a superfícies não necessariamente planares, como objetos, ferramentas e móveis, pelo uso de uma fina grade que atua como uma antena para determinar a posição do mão do usuário. Esses fatores unidos ampliam o leque de possibilidades para tecnologias de uso em

dispositivos portáteis e ferramentas cotidianas, permitindo que computadores permeiem os objetos mais triviais e enriqueçam as experiências do usuário.

Parkes, Poupyrev e Ishii [71] definem interfaces cinéticas orgânicas (KOI – *Kinetic Organic Interfaces*) como OUIs que empregam movimentos físicos para incorporar e comunicar informação aos usuários, através das quais todo o mundo real se torna possibilidade para interações, não apenas através de uma tela de computador.

Durante o desenvolvimento de uma interface, a necessidade que o mercado impõe de grande multifuncionalidade dos dispositivos traz consigo um custo nas suas ergonômias e usabilidades, mas a capacidade de um objeto mudar a sua forma física, adaptando-se à sua função ou contexto se programando cineticamente confere uma possibilidade de se contornar esse problema.

Essa capacidade de reconfigurar e remodelar objetos e ambientes reais físicos dinamicamente se faz possível pelo surgimento de materiais "inteligentes", com memória cinética e temporal que são capazes de gravar, reproduzir e manipular informação cinética através de atuadores de polímeros condutores e motores piezoelétricos orgânicos e muito pequenos, conjuntamente com redes de microprocessadores embutidos e conhecimentos de robótica.

Os *Claytronics*, conceito de matéria programável em estudo na *Carnegie Mellon University* [72], são exemplo de como informação pode ser interfaceada entre um usuário e um computador ao se criar e modificar formas com robôs modulares autorreconfiguráveis formados por nanorrobôs que se utilizam de algoritmos computacionais para ativar e desativar atração eletromagnética entre módulos. Outro exemplo é são os já citados *displays* de esculturas de ferrofluido de Kodama. [38]

Existem diversos tipos de movimentos que podem ser realizados por componentes físicos de um sistema para que possam ser detectados pelo usuário e ele responda ao estímulo. Dentre esses tipos estão mudança de forma, movimentos que podem ser percebidos visualmente, por percepção háptica, como formato de superfície, textura e *feedback* de força, ou até auditivamente, pelo som produzido durante um movimento, como movimento linear, rotacional e variáveis de direção e velocidade. As interfaces hápticas, lembrando o que foi dito anteriormente no exemplo de telecirurgias, permitem que os usuários sintam as propriedades dos objetos, como peso, resistência e textura.

No caso de interfaces tangíveis, a ligação entre os elementos físicos e digitais é geralmente unilateral, com o usuário adicionando informações através do meio físico do sistema, porém sem alterações nos elementos físicos causadas pelo meio digital. A adição dos elementos cinéticos no *design* da interface estabelece uma bidirecionalidade em relação às causas das alterações físicas do sistema. E, diferentemente do caso de interfaces de realidade aumentada, em KOI os objetos são todos reais, logo estão perfeitamente integrados aos organismos vivos e objetos inanimados do ambiente. Os níveis de percepção cinestésica, do movimento físico de objetos, através de visão, audição, tato em humanos torna a experiência mais real e rica que imagens virtuais.

4.6 COMPUTAÇÃO UBÍQUA

Em se tratando de computação permeando todo o ambiente, convém primeiramente explicar os conceitos de computação pervasiva e de computação ubíqua. O conceito de computação pervasiva, segundo Araujo [73] implica que o computador está embarcado no ambiente de forma invisível para o usuário, povoado por sensores e serviços computacionais, e tem a capacidade de obter informação desse ambiente e utilizá-la para dinamicamente controlar, configurar e ajustar a aplicação para melhor atender as necessidades do dispositivo ou de seu usuário juntamente com outros dispositivos que façam parte deste ambiente.

Ao se integrar a mobilidade com o usuário possibilitada pelos avanços de computação móvel (miniaturização, novos materiais que ajudem na dissipação de calor e avanços no uso e armazenamento de energia, por exemplo) e a funcionalidade trazida pela computação pervasiva, um dispositivo computacional pode construir, dinamicamente, modelos computacionais dos ambientes nos quais nos movemos e configurar seus serviços dependendo da necessidade, no que é chamado de computação ubíqua.

A computação ubíqua, até mesmo por sua definição, pode ser encontrada nos mais diversos ambientes: doméstico, de trabalho, *shopping centers*, na rua, nos transportes. As aplicações que abrangem o domínio doméstico tem por objetivo conhecer as atividades dos moradores de uma casa e fornecer serviços que enriqueçam a qualidade de vida deles.

O sistema ACHE (*Adaptive Control of Home Environments*), desenvolvido na *adaptive house* pela *University of Colorado* [74], busca controlar os sistemas de aquecimento, ventilação, condicionamento de ar, iluminação e água através da implantação de diversos tipos de sensores que monitoram diferentes aspectos do ambiente doméstico (como temperatura de um cômodo, quantidade de luz, nível sonoro, presença, movimento de portas, posição de janelas etc) e sistemas de controle dotados de redes neurais que antecipam os desejos e preferências dos habitantes baseado na observação de ações anteriores e do estilo de vida dos moradores, além de buscar economia de energia. Similarmente, o *EasyLiving* é um projeto da *Microsoft Research* [75] que foca o desenvolvimento de arquiteturas e tecnologias para ambientes inteligentes, particularmente de uma sala de estar que contém, entre outros itens, um computador, telas, caixas de som, sofás e mesa. Os objetivos do projeto são automatizar o controle de luz, tocar músicas baseado na localização e preferência do usuário e ainda transferir automaticamente conteúdos entre diferentes telas.

Os utensílios inteligentes aumentam a funcionalidade de equipamentos já existentes e de serviços dedicados em ambientes de computação ubíqua, interagindo entre si para aumentar o conforto dos usuários, seja em casa, no carro, no escritório, no banco, no hospital, nas ruas, nos *shoppings* etc. Exemplos de aplicação de utensílios inteligentes incluem: estações de auto-atendimento em bancos e quiosques, otimização do consumo de energia; manutenção de utensílios (detecção de problemas e comunicação com fabricante); comunicação entre etiquetas de roupa e a máquina de lavar. Esses dispositivos podem ser acessados e operados remotamente via *web*, por exemplo, oferecendo serviços como segurança, comodidade, informação e entretenimento.

Dispositivos de interface podem ser capazes de se reconfigurarem dinamicamente baseados na detecção de movimento das pessoas, permitindo, por exemplo, fazer uma apresentação mover-se de tela acompanhando o interlocutor na chamada computação desagregada. Aplicações deste tipo se mostram úteis em propaganda (na rua, em estações de metrô, em aeroportos), em ambientes com visitas guiadas, como museus, em lojas e até mesmo em ambientes domésticos.

Esses componentes interagem entre si, mas se comunicam também com o mundo exterior para estender a interface tradicional e oferecer serviços diferenciados. No caso de transportes, por exemplo, é possível ter sistemas de navegação, com componentes do carro comunicando-se com componentes de fora do carro, através de

comunicação sem fio, para informação sobre alternativas de rotas face a congestionamentos, bloqueios, condições climáticas etc; informe sobre acidente ou falhas em componentes do automóvel; monitoramento dos dados sobre o veículo pelas montadoras (temperatura do óleo, informes da montadora para o motorista, envio de atualizações de *software*); acesso a informação (serviços de *e-mail*, acesso a *Internet*); e entretenimento (difusão de áudio digital e televisão).

Devido à alta conectividade dos dispositivos, sistemas de proteção e *firewalls* devem ser embarcados a fim de proteger os usuários e o próprio *hardware* de acessos não autorizados, roubo de conteúdo e vandalismos. O desenvolvimento de modelos de contexto e as informações coletadas pelos sensores são armazenadas em bancos de dados, o que cria uma situação em que empresas e órgãos governamentais detenham tráfego de dados de informações da privacidade dos usuários, que devem ser protegidas. O desenvolvimento de sistemas de automatização de funções pode tornar os sistemas complexos demais para os usuários, sobrecarregando-o com excesso de informações e funcionalidades, dificultando a usabilidade e a ergonomia do sistema integrado como um todo.

4.7 BRAIN-COMPUTER INTERFACE

Na esperança da tecnologia de interfaces prover opções de comunicação e movimento para pessoas com suas habilidades cognitivas intactas, porém que apresentem dificuldades motoras severas, que as impedem de utilizar tecnologias assistivas convencionais devido necessidade de controle muscular voluntário, esforços nas áreas de neurociência, engenharia e ciência da computação se concentram na pesquisa e desenvolvimento de interfaces para melhoria da qualidade de vida dos pacientes que se utilizam de canais de controle que não dependem dos canais de saída mais usuais do cérebro: nervos periféricos e músculos [76].

As *Brain-Computer Interface* (BCI) ou interfaces cérebro-computador, detectam e traduzem a atividade neural do usuário em sequências de comandos para computadores e próteses de acordo com as intenções do cérebro do usuário. O objetivo desse tipo de interação é restaurar funções motoras em pacientes, por exemplo que sofrem com amputação de membro e lesões neurológicas, esclerose múltipla (EM), acidente vascular cerebral (AVC), lesão medular e esclerose lateral amiotrófica (ELA) [77]. Devido à plasticidade cortical do cérebro, é possível reorganizar

as áreas comprometidas após a lesão em sistema de aprendizagem baseado em exercícios de imaginação motora, o que pode melhorar a funcionalidade dos membros comprometidos.

Os sistemas com BCI substituem nervos, músculos e os movimentos que eles produzem por sinais eletrofisiológicos captados por eletrodos no usuário e traduzem esses sinais em ações do dispositivo que vai atuar em sistemas motores, linguísticos ou fisiológicos do usuário. Como esse meio representa um novo canal de saída de informações para o usuário, ele deve receber *feedback* do sistema para que possa melhorar o desempenho da interação adaptando a resposta do seu cérebro de como ele deve alterar o envio de seus sinais eletrofisiológicos e obter melhores resultados dinamicamente. Da mesma forma, a interface deve se adaptar conjuntamente com o cérebro para otimizar o seu funcionamento e a interação. A adaptação por ambas as partes requer certo nível de treinamento para uma sintonia fina a fim de alcançar uma boa resposta do sistema, tornando a curva de aprendizagem achatada tanto para o usuário, quanto para o sistema computacional, sendo assim um processo lento e delicado.

O funcionamento de uma BCI se dá início com a aquisição do sinal do estado eletrofisiológico do cérebro do usuário, o qual é feito em tempo real e, geralmente, por meio de eletrodos que podem ser invasivos ou não. As formas de aquisição de sinais são variadas, mediante uma eletroencefalografia (EEG), com o posicionamento de eletrodos no couro cabeludo, ou uma eletrocorticografia (ECoG), com o posicionamento de uma grade de eletrodos abaixo do crânio, além da possibilidade do uso de microeletrodos monitorando atividades neurais individuais (*single units*) e da medição dos potenciais dos campos dos neurônios. Uma vez que a aquisição do sinal é feita, ele é então digitalizado e segue para o processamento.

O processamento do sinal requer análise estatística para estimar a probabilidade de um evento eletrofisiológico registrado correlacionar com uma atividade motora ou cognitiva, devendo reconhecer quando uma alteração elétrica no sinal é significativa e traduzi-la em movimento mecânico ou de um cursor dinamicamente, ajustando-se às alterações para melhorar a tradução e fornecendo *feedback* para o usuário poder se adaptar melhor à interface. Exemplos de ações que podem ser tomadas a partir do processamento dos sinais são mover um cursor em uma tela, escolher letras em um sistema para comunicação, controlar uma prótese robótica, dirigir uma cadeira de rodas e controlar processos fisiológicos, como intestinos e bexiga.

No desenvolvimento e aplicação de uma BCI, deve-se ter certos cuidados especiais, começando pela dificuldade de obtenção dos sinais e o seu tratamento, com eliminação de ruídos. Entretanto, neurocirurgiões devem ter em mente algumas preocupações e analisar as relações de custo-benefício antes de aplicar um sistema com BCI em pacientes.

O cérebro é um órgão extremamente essencial e muito sensível, logo os riscos de qualquer procedimento como posicionamento de eletrodos e estimulação do cérebro devem ser seriamente avaliados antes de serem realizados. Os dispositivos devem ser estritamente seguros para uso e apresentar *design* igualmente seguro e confiável. Devem ser evitados dispositivos que necessitem retirada e reimplantação constantes pois o procedimento repetido aumenta a chance de lesões e dificulta a cicatrização. A complexidade por número de graus de liberdade a serem controlados pelo sistema deve ser levada em conta ao avaliar a relação de custo-benefício, além do nível de dificuldade motora do usuário e o dispositivo deve ser programado para que ocorram o mínimo possível de erros que podem acarretar situações perigosas para o usuário. Resumindo, devem ser consideradas a segurança, durabilidade, confiabilidade, consistência, complexidade, usabilidade, adequação e eficácia de um sistema com BCI antes de sua implantação.

A tendência é que neurocirurgiões passem cada vez mais a adotar tecnologias que auxiliem o sistema nervoso na recuperação de habilidades que foram perdidas ou afetadas, não somente utilizando suas habilidades na remoção de aneurismas, tumores e hematomas na prevenção de futura debilidade de funções motoras.

4.8 AUMENTAÇÃO HUMANA

Tecnologias têm ajudado as pessoas a alcançarem seu verdadeiro potencial natural, por exemplo com o uso de próteses corretivas e dispositivos de tecnologias assistivas para visão, audição e locomoção. Entretanto, novas tecnologias podem causar a extrapolação das habilidades naturais do usuário, artificialmente aumentando os seus limites.

Os exoesqueletos robóticos que concedem maior força para os seus usuários fazem parte da ficção científica há muito tempo e recentemente resultados vêm sendo obtidos nessa área de pesquisa. A "roupa robô" HAL (*Hybrid Assistive Limb*) da

empresa japonesa *Cyberdyne* [78] permite que o seu operador erga e carregue cerca de cinco vezes mais peso do que conseguiria normalmente. O HAL opera fazendo a aquisição de sinais bioelétricos fracos que controlam contração de músculos por meio de eletrodos na pele do operador. Esses sinais são então enviados para o computador de bordo do sistema, onde são processados e traduzidos na ativação dos servomotores correspondentes presentes na sua estrutura, imitando os movimentos do usuário. O objetivo do HAL é assistir pessoas em atividades que exijam rigorosamente o físico do usuário e também auxiliar deficientes físicos e idosos em tarefas cotidianas, além de ser utilizado em reabilitação. Futuramente, aplicações deste tipo podem ser usadas para fins militares, esportivos ou mesmo cotidianos, aumentando resistência, velocidade e força dos seus usuários.

Parviz [79] estuda lentes de contato providas de circuitos transistorizados e LED que recebem energia através de radiofrequência (RF) que aspiram, um dia, permitir que tenhamos telas transparentes que tornem nossos olhos biônicos e nos forneçam Realidade Aumentada todo o tempo, em qualquer lugar.

Chen e Jones [80] estudam aumento da memória humana a partir do uso de diários que capturam vídeos e imagens pelo ponto de visto do usuário, digitalizam documentos, livros, salvam cópias de e-mails e mensagens de texto por celular, juntamente com data e informação de localização por GPS. Esse tipo de tecnologia pode evoluir para uma modalidade de transferência de sensações, memórias e habilidades.

Avanços em reconhecimento subvocal (*Subvocal Recognition* – SVR), o processo natural de produzir uma fala interna, silenciosa, quando imaginamos o som de uma palavra e reduz a carga cognitiva ao buscar o significado de uma palavra apenas com um pensamento, como os alcançados pela NASA [81], podem alterar a comunicação entre humanos e com computadores.

O processo de desenvolvimento de sistemas funcionais de aumento humana, como os exemplificados acima, deve evoluir em algumas décadas até alcançar um ponto em que seja possível comprar implantes que melhorem o uso das competências (conhecimento, habilidades e atitudes) humanas, com ampliação das capacidades cognitivas, memória ou força física. Contudo, esses tópicos abordados trazem desafios éticos que devem ser discutidos. Pessoas poderiam comprar implantes que permitam que tenham melhor desempenho intelectual ou físico que outras pessoas? Esse privilégio seria considerado desleal? Quem teria acesso ou

direito de herdar memórias armazenadas de outra pessoa? São algumas questões que podem ser levantadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do interesse crescente em IHC – Interação Humano-Computador, com vasta aplicabilidade nos diversos campos da ciência e expressiva quantidade de pesquisa e patentes, foram apresentados conceitos e definições considerados fundamentais para o entendimento do assunto abordado. Proporcionou-se o entendimento dos conceitos de usabilidade, ergonomia, aprendizagem, acessibilidade e interatividade.

Considerando-se os significativos esforços empreendidos na busca de simplificar a comunicação entre as pessoas e a Interação Humano-Computador, mediante interface que explora mais profundamente os órgãos sensoriais, o trabalho foi focado na contextualização e no estudo teórico das interfaces.

Ressaltou-se a importância da motivação, diante da humanização do relacionamento homem-máquina, tornando-a mais fluida, ergonômica, natural, intuitiva e servindo de ferramenta no auxílio à participação e inclusão das pessoas.

Diante do sucesso das Interações Homem-Máquina, mediante inúmeras inovações tecnológicas em curso, os fatores de mercado mereceram também breve apreciação.

As interfaces como parte do entretenimento foram objeto de análise, diante das significativas contribuições na antecipação e apresentação de tecnologias para o público geral, ocasionando a sua massificação.

Foi apresentada a análise histórica mostrando a evolução das interfaces, desde as primeiras soluções pouco interativas, até as existentes atualmente, mesmo que em estágio inicial de pesquisa e desenvolvimento. Foram explicados o *Command-Line Interface*, a *Graphical User Interface*, a *Tangible User Interface*, a *Organic User Interface*, a Realidade Misturada, a Computação Ubíqua, a *Brain-Computer Interface* e a Aumentação Humana.

Num contexto de portabilidade na comunicação entre as pessoas, com as mídias sociais e as novas tecnologias que possibilitam a interação das pessoas em rede e em tempo real, ficam ampliadas sobremaneira as possibilidades de inovação nas interfaces.

Todos os objetos disponíveis num ambiente poderão se transformar em dispositivos que facilitarão a interação entre os seres humanos, fazendo parte de

interfaces cada vez mais invisíveis e embutidas no ambiente. Esses dispositivos serão cada vez menores com os avanços em miniaturização de componentes e da nanotecnologia, tornando-os mais portáteis e presentes no cotidiano das pessoas.

Os dispositivos reagirão ao que os seres humanos desejam, antecipando suas necessidades de informação, numa interação que será mais natural e intuitiva. Eles reconhecerão e contextualizarão a pessoa ou pessoas sobre o ambiente em que estejam inseridas. A obtenção de informações ocorrerá, a partir dos dados existentes nas mais diversas bases, de modo muito rápido e todos os campos das ciências serão afetados pela facilidade e velocidade trazidas ao modelo de colaboração.

Nas atividades ligadas ao entretenimento as interfaces possibilitarão que as pessoas vivenciem e experimentem situações de modo realista e imersivo, tornando-se parte dos acontecimentos.

Há uma proliferação de informações publicitárias e novos tipos de mídias surgem cotidianamente, o que acaba gerando cada vez mais desatenção e desinteresse das pessoas. Com isso, soluções tecnológicas e interativas para interfaces são desenvolvidas em grande velocidade para que as pessoas possam dar atenção, serem mais leais e fixar melhor os atributos de uma marca.

É de extrema importância que se conjuguem esforços para que as inovações nas Interações Humano-Computador ocorram no sentido de propiciar ganhos substanciais de produtividade e novas soluções já são estudadas para aumentar a produtividade no trabalho, a exemplo de óculos que contenham as informações necessárias para a localização de arquivos e peças em local exato, aumento de memória humana e interpretação semântica para buscas em bases de dados.

A partir do que foi apresentado, e considerada a importância das interfaces num novo contexto de sustentabilidade e de estímulos a uma ambiência colaborativa, depreende-se que novas tecnologias surgirão para melhorar a vida das pessoas e a interação entre elas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FISCHLER, M. A.; FIRSCHEIN, O. **Intelligence: The Eye, the Brain, and the Computer**. Addison-Wesley Professional, 1987.
2. BARNLUND, D. C. A transactional model of communication. In: MORTENSEN, C. D. **Communication theory**. New Brunswick, New Jersey: Transaction, 2008.
3. INTERFACE. **Dicionário Aurélio**, Disponível em: <<http://www.dicionariodoaurelio.com/Interface>>. Acesso em 15 ago 2010.
4. TUFTE, E. **Visual Design of the User Interface**. Armonk, NY: IBM Corporation, 1989.
5. ISO. Part 11 — Guidelines for specifying and measuring usability. Em: **ISO 9241-11: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)**. Genebra: International Organization for Standardization, 1997.
6. ISO. Part 1: Quality model. Em: **ISO/IEC 9126-1 - Software engineering - Product quality**, 2001.
7. CYBIS, W.; BETIOL, A. H.; FAUST, R. **ERGONOMIA E USABILIDADE: CONHECIMENTOS, MÉTODOS E APLICAÇÕES**. Novatec Editora, 2007. ISBN ISBN 978-85-7522-138-9.
8. ISO. Part 10: Dialogue principles. Em: **ISO 9241-10 - Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)**. Genève: International Organization for Standardization, 1996.
9. WISNER, A. **Diagnosis in ergonomic or the choice of operating models in field research**, 1972.
10. ACESSIBILIDADE BRASIL. O que é acessibilidade? **Acessibilidade Brasil**. Disponível em: <<http://www.acessobrasil.org.br/index.php?itemid=45>>. Acesso em 10 ago 2010.

11. NIELSEN, J. **Advances in Human-computer Interaction, Volume 5**. Intellect Books, 1995.
12. TUCKER, A. B. **Computer science handbook**. Chapman & Hall/CRC, 2004.
13. BUXTON, B. Human Input to Computer Systems: Theories, Techniques and Technology (manuscrito de livro). **Bill Buxton Home Page**, 1994/2002. Disponível em: <<http://www.billbuxton.com/inputManuscript.html>>. Acesso em: 18 Agosto 2010.
14. FRIEDMAN, B. **Human values and the design of computer technology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
15. MACKAY, W. E.; FAYARD, A.-L. **HCI, Natural Science and Design: A framework for Triangulation Across Disciplines**. Proceedings of the 2nd conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques. Amsterdam: ACM. 1997. p. 223-234.
16. CARROLL, J. M. Human-computer interaction: psychology as a science of design. **International Journal of Human-Computer Studies**, 46, n. 4, 1997.
17. FOGG, B. J. Motivating, influencing, and persuading users. In: SEARS, A.; JACKO, J. A. **The human-computer interaction handbook: fundamentals, evolving technologies and emerging applications**. Hillsdale, NJ, EUA: L. Erlbaum Associates Inc., 2002.
18. JACKO, J. A. **Human-computer Interaction: Interaction platforms and techniques**. Springer, 2007.
19. CHURCHILL JR., G. A.; PETER, J. P. **Marketing: criando valor para os clientes**. São Paulo: Editora Saraiva, 2000.
20. KOTLER, P. **Administração de Marketing**. São Paulo: Prentice Hall, 2000.
21. WHITELEY, R. **A empresa totalmente voltada para o cliente**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

22. FENN, J. **When to Leap on the Hype Cycle**. 1995.
23. CAVALLINI, R. **O marketing depois de amanhã**: explorando novas tecnologias para revolucionar a comunicação. São Paulo: Ed. do Autor, 2008.
24. HAECKEL, S. H. **Adaptive enterprise**: creating and leading sense-and-respond organizations. Boston: Harvard Business Press, 1999.
25. VERYARD, R. Demanding Change: Systems thinking for demanding change - by Richard Veryard and friends. **Technology Hype Curve**, 16 Setembro 16 set. 2005. Disponível em: <<http://demandingchange.blogspot.com/2005/09/technology-hype-curve.html>>. Acesso em: 25 Agosto 2010.
26. BAYLESS, D. Dispatches from the Frontier: Musings on Entrepreneurship and Innovation. **Evergreen IP Red Queen Presentation**. Disponível em: <<http://www.evergreenip.com/presentations/redqueen/redqueen.html>>. Acesso em: 1 Setembro 2010.
27. STAR Trek (Jornada nas Estrelas). Produção: Gene Roddenberry. Desilu Productions, Paramount Television, Norway Corporation. 1966-1969.
28. HOW William Shatner Changed the World. Direção: Julian Jones. Handel Productions, Mentorn. 2005.
29. STAR Trek: The Next Generation (Jornada nas Estrelas: A Próxima Geração). Produção: Gene Roddenberry; Maurice Hurley, *et al.* Paramount Television. 1987-1994.
30. 2001: A Space Odyssey (2001: Uma Odisseia no Espaço). Direção: Stanley Kubrick. Metro-Goldwyn-Mayer (MGM), Polaris, Stanley Kubrick Productions. 1968.
31. REVEALED: Hitler's Private World. Direção: David Howard. Monster Films. 2006.
32. COLOSSUS: The Forbin Project (Colossus). Direção: Joseph Sargent. Universal Pictures. 1970.
33. THE Bourne Identity (A Identidade Bourne). Direção: Doug Liman.

Kennedy/Marshall, Universal Pictures. 2002.

34. THE Matrix (Matrix). Direção: Andy Wachowski e Larry Wachowsky. Warner Bros. Pictures. 1999.
35. GATTACA (Gattaca - Experiência Genética). Direção: Andrew Niccol. Columbia Pictures. 1997.
36. STAR Wars Episode IV: A New Hope (Star Wars) (Star Wars Episódio IV: Uma Nova Esperança (Guerra nas Estrelas)). Direção: George Lucas. Lucas Film. 1977.
37. X-MEN. Direção: Bryan Singer. 20th Century Fox. 2000.
38. KODAMA, S. Dynamic Ferrofluid Sculpture: Organic Shape-changing Art Forms. **Communications of the ACM**, Tokyo, 51, n. 6, 2008.
39. THE Time Machine (A Máquina do Tempo). Direção: Simon Wells. Dreamworks, Warner Bros. 2002.
40. MINORITY Report (Minority Report - A Nova Lei). Direção: Steven Spielberg. Amblin Entertainment, Cruise/Wagner Productions. 2002.
41. IRON Man 2 (Homem de Ferro 2). Direção: Jon Favreau. Marvel Studios. 2010.
42. SCHMITZ, M.; ENDRES, C.; BUTZ, A. A Survey of Human-Computer Interaction Design in Science Fiction Movies. **Proceedings of the 2nd international conference on INtelligent TEchnologies for interactive enterTAINment**, 2008.
43. STEPHENSON, N. **In the beginning was the command line**. Avon Books, 1999.
44. NORMAN, D. A. The next UI breakthrough: command lines. **interactions**, 14, 2007.
45. BEERS, D. The return of the command line interface. **Software Everywhere.**, 2007 mar 2010. Disponível em:

<<http://www.pikesoft.com/blog/index.php?itemid=152>>. Acesso em: 28 set 2010.

46. MYERS, B.; HUDSON, S. E.; PAUSCH, R. **Past, Present and Future of User Interface Software Tools**. Pittsburgh, PA: ACM. 2000.
47. PETERSON, S. D. **Stereoscopic Label Placement - Reducing Distraction and Ambiguity in Visually Cluttered Displays**. Norrköping, Suécia. 2009.
48. UKAI, K.; HOWARTH, P. A. Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: Background, theories, and observations. **Health and Safety Aspects of Visual Displays**, 29, n. 2, 2008.
49. DOGSON, N. A. Autostereoscopic 3D Displays. **Computer**, 38, n. 8, 2005.
50. DOGSON, N. A. **Analysis of the viewing zone of multi-view autostereoscopic**. San Jose, Califórnia: Proc SPIE 4660. 2002.
51. BUXTON, B. CES 2010: NUI with Bill Buxton. **Channel 9 Blog for Larry Larsen**. Disponível em: <<http://channel9.msdn.com/blogs/larrylarsen/ces-2010-nui-with-bill-buxton>>. Acesso em 15 set 2010..
52. BLAKE, J. **Multi-touch Development with WPF and Silverlight**. Greenwich, Connecticut, EUA: Manning Publications, 2010.
53. SWELLER, J. Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. **Cognitive Science**, 12, n. 2, 1988.
54. SWELLER, J.; VAN MERRIENBOER, J. J. G.; PAAS, F. G. W. C. Cognitive Architecture and Instructional Design. **Educational Psychology Review**, 10, 1998.
55. BRUEGGER, P.; HIRSBRUNNER, B. Kinetic User Interface: Interaction through Motion for Pervasive Computing Systems. **Lecture Notes in Computer Science - Universal Access in Human-Computer Interaction. Intelligent and Ubiquitous Interaction Environments**, 5615/2009, 2009.
56. HAN, J. Y. **Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection**. Seattle: ACM. 2005.
57. ROTH, T. FTIR vs DI. **Multitouch Dev Blog**, 2007. Disponível em:

<<http://iad.projects.zhdk.ch/multitouch/?p=47>>. Acesso em 15 out. 2010.

58. BREWSTER, S.; CHOCHAN, F.; BROWN, L. **Tactile Feedback for Mobile Interactions**. San Jose, California, USA: ACM. 2007.
59. FORLINES, C. et al. **Direct-touch vs. mouse input for tabletop displays**. San Jose, Califórnia, EUA: ACM. 2007.
60. AZUMA, R. et al. Recent Advances in Augmented Reality. **IEEE Computer Graphics and Applications**, 21, n. 6, 2001.
61. KIRNER, C.; PINHO, M. S. Introdução à Realidade Virtual. **KIRNER**, 1997.
62. WEISER, M. The computer for the twenty-first century. **Scientific American**, 1991.
63. WEISER, M. Designing Calm Technology. **Mark Weiser**, 1995.
64. UNDERKOFFLER, J.; ISHII, H. Urp: A Luminous-Tangible Workbench for Urban Planning and Design. **Proceedings of CHI '99**, Cambridge, MA, 1999.
65. HENGEVELD, B. The development of LinguaBytes: an interactive tangible play and learning system to stimulate the language development of toddlers with multiple disabilities. **Advances in Human-Computer Interaction - Special issue on interactive play and learning for children**, 2008.
66. HOLMAN, D.; VERTEGAAL, R. Organic user interfaces: designing computers in any way, shape, or form, v. 51, n. Junho, 2008.
67. SCHWESIG, C.; POUPYREV, I.; MORI, E. **Gummi: A Bendable Computer**. Vienna, Áustria: ACM. 2004.
68. HUANG, C.-T. et al. A wearable yarn-based piezo-resistive sensor. **Sensors and Actuators A: Physical**, Taiwan, v. 141, n. 2, 2007.
69. REKIMOTO, J. SmartSkin: An infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces. **Proceedings of the ACM Conference on Computer-Human Interaction**, Minneapolis, MN, 2002.

70. DIETZ, P.; LEIGH, D. DiamondTouch: a multi-user touch technology. **UIST '01 Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology**, 2001.
71. PARKES, A.; POUPYREV, I.; HIROSHI, I. Designing kinetic interactions for organic user interfaces. **Communications of the ACM - Organic user interfaces**, 51, n. 6, 2008.
72. GOLDSTEIN, S. C.; CAMPBELL, J.; MOWRY, T. C. Programmable matter. **IEEE Computer**, 38, 2005.
73. ARAUJO, R. **Computação Ubíqua: Princípios, Tecnologias e Desafios**. Natal, RN: Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. 2003.
74. MOZER, M. C. Chapter 12. Lessons from an Adaptive Home. In: COOK, D. D. S. K. **Smart Environments: Technologies, Protocols, and Applications**. John Wiley & Sons, Inc., 2005.
75. SHAFER, S. A. N. Ubiquitous Computing and the EasyLiving Project. **Invited presentation at 40th Anniversary Symposium of Osaka Electro-Communications University**, 2001.
76. WOLPAW, J. R. et al. Brain-Computer Interface Technology: A Review of the First International Meeting. **IEEE TRANSACTIONS ON REHABILITATION ENGINEERING**, 8, n. 2, 200.
77. LEUTHARDT, E. C. et al. THE EMERGING WORLD OF MOTOR NEUROPROSTHETICS: A NEUROSURGICAL PERSPECTIVE. **Neurosurgery**, 59, 2006.
78. CYBERDYNE. Robot Suit Hal. **Cyberdyne**. Disponível em: <<http://www.cyberdyne.jp/English/index.html>>. Acesso em 25 out 2010.
79. PARVIZ, B. A. Augmented Reality in a Contact Lens. **IEEE Spectrum**, Disponível em: <<http://spectrum.ieee.org/biomedical/bionics/augmented-reality-in-a-contact-lens/>>. Acesso em 10 out 2009. 2009.
80. CHEN, Y.; JONES, G. J. F. Augmenting Human Memory using Personal

Lifelogs. **AH '10 Proceedings of the 1st Augmented Human International Conference**, 2010.

81. BLUCK, J. NASA DEVELOPS SYSTEM TO COMPUTERIZE SILENT, 'SUBVOCAL SPEECH'. **NASA**. 2004. Disponível em: <http://www.nasa.gov/centers/ames/news/releases/2004/04_18AR.html>. Acesso em 05 nov 2010.