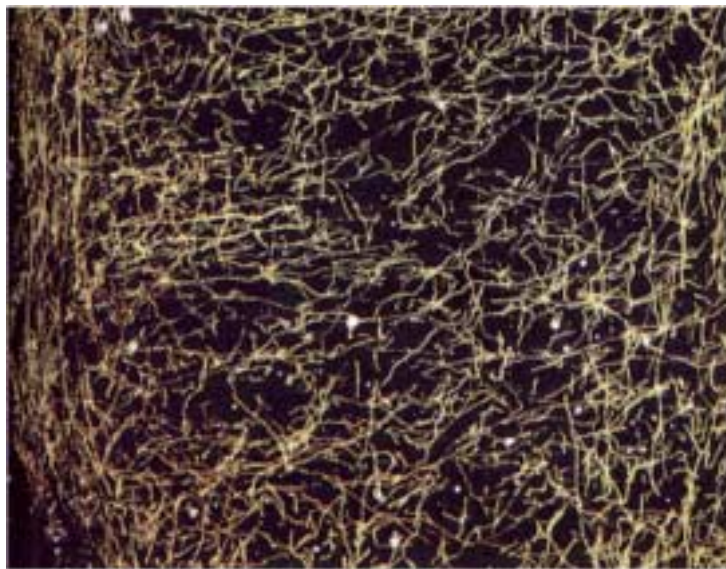


CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS DE FATORES HUMANOS EM IHC



Cortex cerebral, *Scientific American*, July/August 1995 p.50

INTRODUÇÃO

Como apresentado no capítulo anterior, o Estudo da Interação Humano-Computador envolve conhecimento sobre o Humano por um lado, sobre a tecnologia por outro e sobre as maneiras como um influencia e é influenciado pelo outro. Neste capítulo estudaremos as capacidades físicas e cognitivas do Humano, como fatores que influenciam o design de interfaces de sistemas computacionais. Esse entendimento está fortemente motivado pela busca de melhoria da qualidade da interação entre pessoas e computadores.

O comportamento humano e os processos mentais subjacentes têm sido estudados pela Psicologia Cognitiva que adotou o modelo de processamento de informação para estudar esse comportamento. A referência clássica para esse modelo são os trabalhos de Card, Moran e Newell (1993). O modelo do Processador de Informação Humano será utilizado como uma aproximação inicial para se entender e analisar o uso de interfaces em relação ao processamento motor, viso-motor, perceptual e cognitivo do sistema humano. Será apresentado e discutido o modelo GOMS (*Goals, Operations, Methods and Selection Rules*), desde sua formulação básica até versões estendidas mais atuais apresentadas em literatura recente. O modelo GOMS é uma abstração para uma família de modelos que tentam caracterizar os vários processos cognitivos subjacentes à realização de determinada tarefa. O modelo possibilita várias predições qualitativas e quantitativas a respeito da performance humana em interação com computadores.

Considerando que esse modelo, como qualquer outro, é apenas uma aproximação e não reflete precisamente a complexidade e sofisticação da mente humana, alguns mecanismos fisiológicos importantes como os mecanismos da percepção e circuitos neurais da memória serão apresentados em maiores detalhes, com base em Lindsay e Norman (1972), outra referência clássica na literatura em questão.

Embora muitos desses fatores humanos sejam relacionados a questões ergonômicas do ambiente de trabalho como, por exemplo, os efeitos de design de determinado periférico sobre a sua eficiência de uso, estendemos nossa apresentação a questões relacionadas a ergonomia cognitiva principalmente, isto é, à adequação de interfaces aos mecanismos e modelos mentais humanos.

O tópico sobre modelos mentais está relacionado diretamente ao entendimento sobre o uso de metáforas em interfaces e têm implicações diretas em questões de usabilidade dessas interfaces. A literatura nesse assunto é mais recente e estaremos utilizando além de referências básicas como Johnson-Laird (1989), Carrol e Olson (1988 a,b), Lakoff e Johnson (1980), publicações científicas na área.

A PSICOLOGIA DA INTERAÇÃO HUMANO-COMPUTADOR

O conceito de interface tem evoluído na mesma proporção em que se conhece mais sobre a tecnologia dos computadores por um lado e sobre a natureza humana, por outro. Na verdade há uma relação dialética entre o nosso conhecimento sobre o Homem e os artefatos que ele cria, em especial os tecnológicos. O design de ambientes baseados no computador, portanto, reflete e ao mesmo tempo é influenciado pelo conhecimento científico sobre a natureza humana. Nossa própria relação com o computador tem sido nomeada diferentemente ao longo da história ainda recente desse artefato de nossa cultura: da relação de operação da máquina computador até conceituações mais recentes de comunicação com e/ou através de computadores. O próprio uso da palavra “interação” já tem sido contestado (Suchman, 1999), como será discutido no Capítulo 5.

O modelo de processador de informação humano dominante nos anos setenta, refletia um paralelismo com a arquitetura de computadores da época, e consistia de uma estrutura lógica composta de muitos registradores (boxes) cada um com seus parâmetros de memória conectados por um conjunto de caminhos de transferência. O Modelo do Processador de Informação Humano, que será apresentado na próxima seção, substituiu registradores separados, por um aninhamento que usa sub-registradores. A noção de memória como tendo força e podendo fortalecer-se pela repetição passa à noção de memória como um conjunto de *chunks* discretos na memória de longa duração, que são ativados com base em estratégias de acesso.

O conhecimento sobre o ser humano enquanto sistema tem alimentado teorias em várias áreas do conhecimento; ao mesmo tempo usamos da analogia para refletir e construir conhecimento sobre o Homem. Só para citar algumas áreas de ciência e tecnologia em que essa relação dialética se estabelece, a Inteligência Artificial, as Redes Neurais, a Cibernética, a Teoria da Informação, a Engenharia Genética, são exemplos contundentes.

Independentemente da discussão sobre que disciplinas influenciam ou são influenciadas por quais outras, ao falar de interação humano-computador estamos sobre uma região de fronteira que intercepta no mínimo a Ciência da Computação e a Psicologia. As características intrínsecas desse artefato tecnológico particular nos impelem a conhecer mais sobre como e porque “interagimos”, nos “comunicamos”, ou “imersmos” em ambientes baseados no computador. Card, Moran e Newell (1983) foram os primeiros autores a desenvolver um Modelo do Usuário de Computadores, com base no estudo do seu funcionamento psicológico, para entender como características intrínsecas ao ser humano afetam a maneira como ele interage com computadores. O Modelo do Processador de Informação Humano, que será apresentado na próxima seção, forma as bases para as abordagens cognitivas ao design de sistemas computacionais, que serão tratadas no Capítulo 3, e à avaliação de tais sistemas, tratada no Capítulo 4.

UMA TEORIA CLÁSSICA PARA O PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÃO NO HOMEM

A facilidade com que palavras da linguagem de interface podem ser lembradas, como o tipo de fontes de caracteres afetam a legibilidade, e a velocidade com que lemos informação na tela, são exemplos simples de como nossa interação com computadores pode ser afetada pelo funcionamento de nossos mecanismos perceptuais, motores e de memória.

Assim como o engenheiro de computação descreve um sistema de processamento de informações em termos de memórias, processadores, seus parâmetros e interconexões, Card *et al* (1983) propõem o Modelo do Processador de Informação Humano (MPIH), como uma descrição aproximada para ajudar a prever a interação usuário-computador, com relação a comportamentos. O modelo é constituído por um conjunto de memórias e processadores e um conjunto de princípios de operação. Três subsistemas fazem parte e interagem no MPIH: o Sistema Perceptual (SP), o Sistema Motor (SM) e o Sistema Cognitivo (SC). A Figura 2.1, adaptada de Card *et al* (1983), ilustra o modelo proposto.

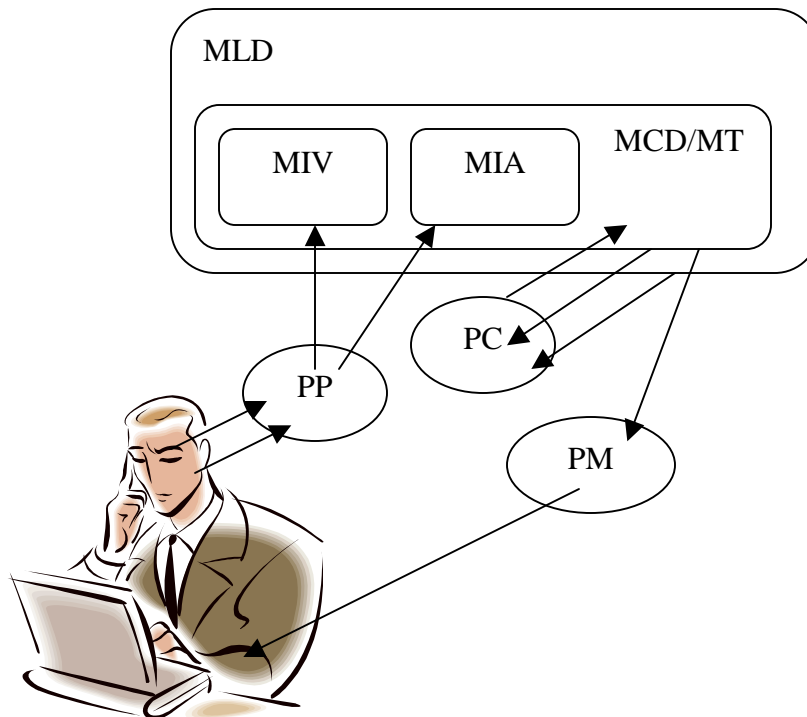


FIGURA 2.1 O MPIH E SEUS COMPONENTES PRINCIPAIS

Conforme pode ser observado na Figura 2.1, informação sensorial captada pelos órgãos dos sentidos – no caso específico pela visão e audição, flui para a Memória de Trabalho (MT), também chamada Memória de Curta Duração (MCD), através do Processador Perceptual (PP). A Memória de Trabalho consiste da ativação de partes da Memória de Longa Duração (MLD), que os autores chamam de *chunks*. O princípio básico de operação do MPIH é o ciclo Reconhece-Age do Processador Cognitivo (PC). O Processador Motor (PM) é acionado pela ativação de certos *chunks* da Memória de Trabalho, colocando em ação conjuntos de músculos que concretizam fisicamente determinada ação.

O Sistema Perceptual (SP) possui sensores e *buffers* associados, chamados Memória da Imagem Visual (MIV) e Memória da Imagem Auditiva (MIA), que guardam a saída do sistema sensorial enquanto ela está sendo codificada simbolicamente. O Sistema Cognitivo recebe informação codificada simbolicamente na MCD e usa informação armazenada previamente na MLD para tomar decisões de como responder. O Sistema Motor viabiliza a resposta.

Memórias e Processadores do modelo são descritos por parâmetros. Os parâmetros principais da memória são sua capacidade de armazenamento em itens (u), o tempo de desbotamento de um item (d) e o tipo do código utilizado na gravação - físico, acústico, visual, semântico (k). O parâmetro principal do processador é o tempo de ciclo (t). A seguir apresentaremos de forma resumida as principais propriedades de cada um dos subsistemas do MPIH.

O SISTEMA PERCEPTUAL

O Sistema Perceptual transporta sensações do mundo físico, detectadas por sistemas sensoriais do corpo e os transforma em representações internas. O sistema visual humano é um exemplo fantástico de vários subsistemas – visão central, visão periférica, movimentação do olho, movimentação da cabeça – operando de forma integrada para prover uma representação contínua da cena visual de interesse do observador. A retina é sensível à luz e registra sua intensidade, comprimento de onda e distribuição espacial. Embora o olho tome a cena visual em quase meio hemisfério, detalhe da cena é obtido somente em uma região estreita, de dois graus, chamada fóvea. O restante da retina provê visão periférica, necessária para orientação, conforme veremos mais adiante. O olho fica em contínuo movimento em uma sequência de “sacadas” (viagem + fixação). Sempre que o alvo está a mais de 30° da fóvea, é necessário, também, movimento da cabeça para reduzir a distância angular. Card *et al.* (1983), baseados em dados experimentais, colocam como medida típica para a duração total do movimento do olho (tempo de viagem + tempo de fixação), 230 ms, considerando um intervalo para tempo de fixação que varia nas pessoas de 70 a 700 ms. Essa variação é devida à complexidade da tarefa e à

habilidade do observador. Para leitura, por exemplo, o movimento do olho em uma criança em seu primeiro ano de leitura é de 660 ms.

Muitos fenômenos perceptuais acontecem em uma área tão grande que a fóvea do olho deve ser movida para vê-los. Quando movimentos do olho estão envolvidos, eles dominam o tempo requerido para a tarefa. A rapidez com que uma pessoa pode ler um texto, por exemplo, depende de quanto ela “capta” em cada fixação e isso é função da habilidade do leitor e da dificuldade do material. Considerando o tempo de sacada de 230ms, se nesse tempo ele capta uma letra, a sua média de leitura seria de 52 palavras por minuto (considerando uma média de 5 letras por palavra). Se em uma sacada ele capta uma palavra, sua média de leitura será de 261 palavras/min. Se em uma sacada o leitor consegue captar uma frase (média de 2.5 palavras), seu tempo de leitura será de 652 palavras/min. Isso significa que com tempos de leitura muito superiores a esse, o leitor estaria “pulando” partes do texto em sua leitura. Se o material sendo lido é difícil, então o tempo do Processador Cognitivo pode ser o limitante do tempo de processamento.

Logo após a apresentação de um estímulo visual, uma representação do estímulo aparece na MIV; se o estímulo é auditivo, na MIA. Essas memórias sensoriais guardam informação codificada fisicamente: um análogo não simbólico ao estímulo externo. Esse código é afetado pelas propriedades físicas do estímulo, como, por exemplo, intensidade. Card *et al.* (1983, p.28) exemplificam que *a representação do número 2 contém características de curvatura e comprimento (ou padrões de frequência espacial equivalentes) em oposição ao dígito reconhecido.*

Logo após a apresentação física de um estímulo nas memórias perceptuais, uma representação de pelo menos parte do conteúdo da memória perceptual ocorre na Memória de Trabalho. O **tempo de desbotamento (d)** das memórias perceptuais é definido como o tempo depois do qual a probabilidade de recuperação da informação é menor do que 50%. O MPIH estabelece um tempo de 200ms como parâmetro para o $dmiv$; resultados de dados experimentais variam em um intervalo entre 90 e 1000 ms. Como parâmetro do $dmia$ é estabelecido um tempo de 1500ms, tomado de um intervalo que varia de 900 a 3500 ms. As **capacidades das memórias perceptuais (u)**, ainda que difíceis de serem fixadas, para efeitos do uso no modelo são definidas como $umiv=17$ letras (tomadas de um intervalo entre 7 e 17 letras) e $umia=5$ letras (tomadas de um intervalo de 4.4 e 6.2 letras), parâmetros esses obtidos de resultados experimentais.

Conforme dito anteriormente o parâmetro principal do processador perceptual é seu **tempo de ciclo (tp)**, sua unidade de resposta a impulso. Se um estímulo é fornecido à retina no tempo $t=0$, no final do tempo $t=tp$ a imagem estará disponível na memória de imagem visual MIV e o Homem diz que a vê. Por exemplo, o tempo de resposta do sistema visual para um breve pulso de luz, obtido de dados empíricos é dado por $tp=100$ ms tomado de um intervalo que varia de 50 a 200 ms. Uma propriedade importante do processador perceptual é que seu tempo de ciclo não é constante; o tp é mais curto para estímulos mais intensos (de luz ou som, por

exemplo). Daí se origina o primeiro princípio do Modelo do Processador de Informação Humano:

Princípio n. 1: *O tempo do ciclo do Processador Perceptual varia inversamente com a intensidade do estímulo.*

Eventos perceptuais que ocorrem dentro de um único ciclo, são combinados em um único *perceptum*, impressão mental percebida pelos sentidos, se forem suficientemente similares. Por exemplo, duas luzes ocorrendo em posições diferentes dentro do intervalo de tempo de 60 a 100 ms, nos dão a impressão de uma única luz em movimento. Um outro exemplo importante na literatura a respeito da percepção humana dá conta de que um breve pulso de luz que dura t ms com intensidade i tem a mesma aparência de um longo pulso de menor intensidade, se ambos os pulsos duram menos de 100 ms. Essa propriedade é conhecida como Lei de Bloch: $i \cdot t = k$, $t < t_p$.

Card *et al.* (1983), mostram os resultados de um experimento clássico¹ no qual uma explosão de sons contendo um número desconhecido de cliques (estalidos), em intervalos uniformes de 10/seg, 15/seg e 30/seg foram apresentados a sujeitos do experimento. O gráfico da Figura 2.2 mostra o número de cliques reportados pelos sujeitos como uma função do número apresentado.

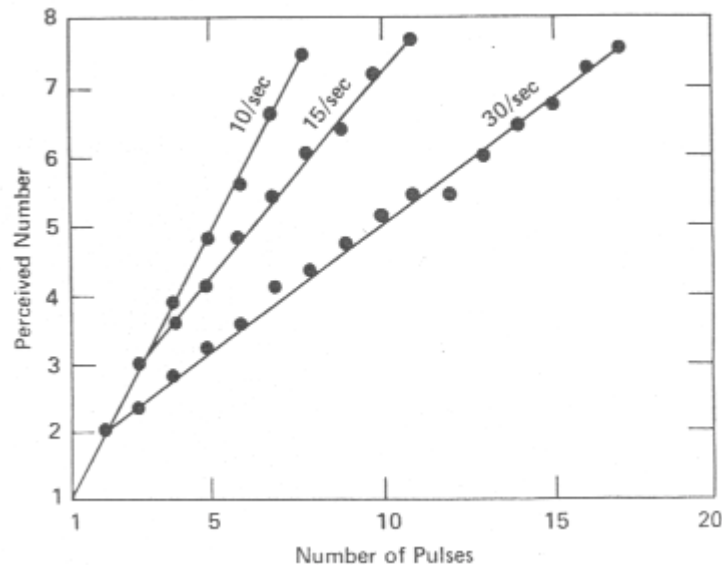


FIGURA 2.2 – EXPERIMENTO DA FUSÃO DE CLIQUES EM 100MS (CARD ET AL, 1983, P.33)

¹ Cheatham e Whote (1954)

Os resultados mostram que os sujeitos ouvem o número correto quando os cliques são apresentados na sequência de 10 cliques por segundo, mas perdem progressivamente mais cliques no caso das sequências de 15 e 30 cliques por segundo. No primeiro caso, como há um clique para cada *tp* (100 ms) o sujeito ouve (percebe) cada som. No último caso, quando há 3 cliques para cada *tp*, os 3 cliques em cada 100 ms são fundidos em 1 *perceptum* (talvez parecendo um som mais alto em volume), e o sujeito percebe (ouve) somente 1 clique em vez de 3.

O mesmo efeito pode ser observado em relação a estímulos visuais. Imagens parecidas colocadas mais próximas no tempo do que *tp* (tempo de ciclo do Processador Perceptual), são “fundidas” em uma única imagem. Assim, por exemplo, para produzir animação, a média de quadros de imagens apresentadas deve ser maior que 1 quadro a cada 100 ms, para possibilitar a percepção de movimento contínuo. As câmeras de filmagem usam em geral 20 quadros/seg o que corresponde à medida de *tp* do extremo do intervalo (*tp* = 50 ms).

O SISTEMA MOTOR

Conforme descrição do ciclo de operações no MPIH, após processamento perceptual e cognitivo, pensamento é finalmente traduzido em ação pela ativação de padrões de músculos voluntários que são arranjados em pares antagônicos disparados um após o outro em sequência. Para usuários de computador, os sistemas braço-mão-dedo e cabeça-olho são exemplos de conjuntos desses músculos capazes de responder a impulso nervoso.

O movimento não é contínuo como parece, mas uma série de micro-movimentos discretos, cada um requerendo um ciclo do processador motor definido no MPIH como *tm* = 70 ms, tomado de dados experimentais num intervalo que varia de 30 a 100 ms. Um experimento interessante citado em Card *et al.* (1983) mostra resultados experimentais de atividade motora observada e medida. Este é um experimento bem simples, fácil de ser reproduzido: um sujeito deve usar a caneta para fazer movimentos entre duas linhas paralelas, indo e voltando o mais rapidamente possível, durante 5 segundos. A Figura 2.3 mostra as marcas feitas por um sujeito nesse experimento.

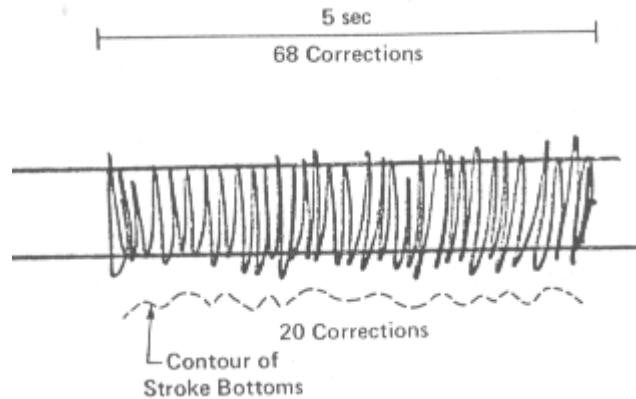


FIGURA 2.3 - MÉDIA DE SAÍDA DO PROCESSADOR MOTOR (CARD ET AL 1983, P. 35)

Como resultado extraído da Figura 2.3, 68 inversões da caneta foram feitas em 5 segundos o que significa um tempo de 74 ms por inversão. Em 5 segundos o sujeito faz 20 movimentos, resultando em 250 ms por movimento, o que se aproxima bastante do resultado teórico do modelo.

Observando a performance de usuários ao teclado, existem dados experimentais que registram uma média de 1000 ms para o novato e 60 ms para o experto. Usando o MPIH, quão rápido um usuário poderia pressionar repetitivamente com o mesmo dedo, uma determinada tecla? Estariam envolvidos na tarefa, 2 tempos do processador motor, um para pressionar e outro para soltar a tecla, o que daria 140 ms por toque. É claro que, numa tarefa real usando o teclado outros custos, incluindo os perceptuais e cognitivos (texto difícil, falta de experiência), estariam também envolvidos e diminuiriam a média.

O MPIH pode ser usado para se medir a velocidade relativa de usuários expertos em dois tipos diferentes de teclado. Experimento reportado em Card *et al.* (1983, p. 63) mostra que a datilografia no teclado alfabético é 8% mais lenta do que no teclado *qwerty* (o teclado convencional de Sholes), para texto escrito na língua inglesa e considerando frequências com que combinações de 2 letras aparecem no inglês.

O SISTEMA COGNITIVO

Nas tarefas mais simples, o Sistema Cognitivo (SC) serve meramente para conectar entradas do Sistema Perceptual para saídas corretas do Sistema Motor. Entretanto, a maioria das tarefas realizadas pelo humano envolve de forma complexa aprendizado, recuperação de fatos e resolução de problemas. Existem duas memórias associadas ao SC no MPIH, que formam as bases para o entendimento de estratégias e teorias em IHC, conforme veremos no Capítulo 3; são elas a Memória de Trabalho, também

chamada Memória de Curta-Duração (MCD), e a Memória de Longa Duração (MLD). Grosseiramente a MCD é usada para armazenar informação sob consideração no momento de determinada atividade e a MLD é usada para armazenar informação a ser acessada em longo prazo.

A Memória de Curta Duração, ou Memória de Trabalho armazena os produtos intermediários do pensamento e as representações produzidas pelo Sistema Perceptual. Estruturalmente consiste de um subconjunto de elementos da Memória de Longa Duração que se tornaram ativados. Funcionalmente é onde as operações mentais obtêm seus operandos, e deixam seus resultados intermediários. O tipo predominante de código é o simbólico, diferentemente das MIV e MIA.

Conceitualmente a MCD é constituída de *chunks*: elementos ativados da MLD, que podem ser organizados em unidades maiores. O *chunk* é função tanto do usuário quanto da tarefa que ele tem para realizar, uma vez tratar-se de ativação de sua MLD. Por exemplo, a seqüência das letras a seguir H-I-C-S-A-U-I-W-M-P lidas sem qualquer diferença de entonação e de intervalo pode ser difícil para um ouvinte lembrar. Já a seqüência I-H-C-U-S-A-W-I-M-P, composta das mesmas letras em outra ordem poderão ser facilmente reproduzidas pelo ouvinte. Por que? Para uma certa população de ouvintes, a segunda seqüência representa apenas 3 *chunks* a serem lembrados (IHC, USA, WIMP) em vez de 10...

Chunks podem estar relacionados a outros *chunks*. Quando um *chunk* na MLD é ativado, a ativação se espalha aos *chunks* relacionados em vários níveis, conceitualmente como numa rede semântica. Há interferência de novos *chunks* com os antigos. Os *chunks* como os elementos da MIV e MIA, estão sujeitos ao desbotamento com o tempo. No modelo existe um parâmetro para o desbotamento do *chunk*, definido por $dmcd = 7\text{seg}$, tomado de um intervalo de 5 a 226 segundos com base em resultados experimentais. O tamanho do intervalo de variação é explicado em Card *et al.* (1983) pela dificuldade em analisar-se fenômenos de interferência entre *chunks* na MCD.

Um experimento bastante simples para verificarmos a capacidade da MCD é pedir que um sujeito recupere os dígitos que precedem uma seqüência que pára repentinamente. A capacidade observada da MCD é de $umcd = 3 \text{ chunks}$, tomados em intervalo que varia de 2.5 a 4.1 *chunks*. Entretanto, dificilmente usamos a MCD isoladamente da MLD; quando se pede aos sujeitos para recuperar a informação alguns segundos depois de ouvi-la, normalmente eles usam ambas MCD e MLD e, então, a capacidade efetiva da MCD estende-se para 7 *chunks*, de um intervalo de 5 a 9 *chunks*. Esse parâmetro é bastante utilizado em *guidelines* de design e avaliação de interfaces e será referenciado em outras partes deste livro.

Um experimento interessante² reportado em Card *et al.* (1983) mostra características de recuperação de informação na memória humana. Uma lista de palavras foi apresentada a um grupo de pessoas e foi pedido que elas as recuperassem em qualquer ordem. Os sujeitos foram impedidos de qualquer atividade de repetição (recitação mental ou física das palavras). Os resultados mostram que a probabilidade de relembrar uma palavra de uma lista de palavras é função da posição delas na lista e do tempo decorrido antes de iniciar a recuperação, conforme ilustra a Figura 2.4.

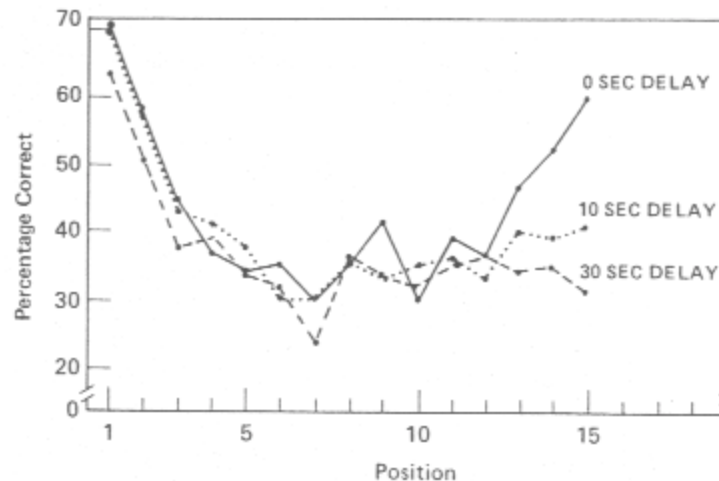


FIGURA 2.4 - LEMBRANDO PALAVRAS DE UMA LISTA (CARD ET AL, 1983, p.77)

Considerando a recuperação imediatamente após a apresentação da lista, a curva mostra que as palavras do início e do final da lista foram recuperadas mais facilmente do que as do meio. Quanto mais tempo decorre após a apresentação da lista, a recuperação das palavras do final da lista vai sendo diminuída. Isso se explica pela limitação da capacidade da MCD e pela conseqüente interferência de novos elementos na MCD.

A Memória de Longa Duração armazena a massa de conhecimento do usuário: fatos, procedimentos, história, etc. Conceitualmente pode ser entendida no modelo como uma rede de *chunks* acessados de forma associativa a partir da MCD ou Memória de Trabalho. O parâmetro de desbotamento tem valor infinito; teoricamente não há o “apagar” da MLD. Entretanto, a recuperação de um *chunk* da MLD pode falhar

² Ganzer e Cunitz (1966)

quando, por exemplo, associações não puderem ser encontradas, ou quando houver interferências entre associações de *chunks*.

O tipo de código predominante na MLD é o semântico. Quando a informação da MCD torna-se parte da MLD, a maneira como ela é codificada determina quais pistas serão efetivas na recuperação daquela informação mais tarde. Card *et al.* (1983) mostram um bom exemplo desse fenômeno: suponha que um usuário nomeie um arquivo de imagem de “*light*” significando o oposto a “*dark*”; se mais tarde ele percorre o diretório e pensa no “*light*” como oposto a “*heavy*”, ele não reconhece o arquivo que está buscando, porque está usando um conjunto diferente de pistas para recuperação. Daí a formulação dos segundo e terceiro princípios associados ao MPIH:

Princípio n. 2: Princípio da especificidade da codificação.

Operações de codificação específicas realizadas sobre o que é percebido determinam o que é armazenado, e o que é armazenado determina que pistas de recuperação são efetivas em prover acesso ao que é armazenado.

Princípio n. 3: Princípio da Discriminação

A dificuldade da recuperação da memória é determinada pelos candidatos que existem na memória relativos às pistas para recuperação.

O princípio n. 3 sugere que, embora presente fisicamente na memória, informação pode ser “perdida” funcionalmente. Algumas propriedades associadas à MLD, relevantes ao entendimento do MPIH podem ser observadas: quanto mais associações um item tiver, maior será a probabilidade de ser recuperado; itens de informação não são armazenados na MLD diretamente. A probabilidade de um item ser armazenado na MLD e associado de modo a ser recuperado aumenta com o seu tempo de residência na MCD.

Embora a recuperação de um item da MLD nem sempre seja bem sucedida, quando tempos grandes estão disponíveis para a busca, estratégias podem ser usadas para investigar a MLD. Experimento³ reportado em Card *et al.* (1983) envolvia sujeitos que tinham que lembrar dos nomes de colegas de classe, depois de 7 anos de conclusão do 2º grau. Os resultados mostraram que mesmo depois de 10 horas alguns sujeitos ainda estavam recuperando nomes. As estratégias usadas foram as mais variadas: desde a lembrança da posição espacial dos colegas na classe, lembrança de sub-grupos, até nomes em ordem alfabética, faces, etc. Muitos nomes foram também “fabricados”, não fazendo parte da lista real, o que sugere o nível de interferência na MLD.

O Processador Cognitivo tem como unidade de medida o tempo de ciclo reconhecement, definido pelo parâmetro $t_c=70$ ms, tomado de um intervalo de 25 a 170 ms

³ Williams e Hollan (1981)

obtidos experimentalmente. *Em cada ciclo, o conteúdo da MCD inicia ações de associação na MLD (“reconhece”), que por sua vez modifica o conteúdo da MCD (“age”), preparando para o próximo ciclo. Planos, procedimentos e outras formas de comportamento organizado são construídos a partir de um conjunto organizado de ciclos reconhece-age* (Card et al, 1983, p.41). Como exemplo de medição associada ao tempo de ciclo do processador cognitivo, podemos citar a contagem silenciosa. Experimente fazer uma contagem silenciosa 1, 2, 3, 4,... durante 5 segundos e verifique o tempo de seu processador cognitivo...Em dados experimentais⁴ foi observada uma média de 167 ms por dígito (Card et al, 1983, p.43).

Como acontece com o Processador Perceptual, o *tc* não é constante, e será mais curto quanto maior for o esforço induzido, diminuindo com a prática. Essa propriedade dá origem ao quarto princípio do MPIH:

Princípio n. 4: Princípio da variabilidade do ciclo do Processador Cognitivo

O SC no MPIH é paralelo na fase de reconhecimento (pode-se estar consciente de muitas coisas ao mesmo tempo) e serial na fase de ação (não se consegue fazer deliberadamente mais do que uma coisa por vez). Isso explica a serialidade e o paralelismo que usamos em atividades do tipo dirigindo e conversando e lendo placas de trânsito, etc. “ao mesmo tempo”. A serialidade ocorre no topo das atividades paralelas dos sistemas Perceptual e Motor.

Um exercício interessante para compreendermos a ação de nossos mecanismos perceptuais, motores e cognitivos: imagine que você está dirigindo em direção a determinada localidade e alguém pede para você ir explicando cada ação sua durante essa tarefa. A rota é conhecida e o tráfego está calmo. A partir de certo ponto, aparece uma interrupção na rota e você tem que desviar do caminho usual, buscando um caminho desconhecido. O tráfego agora está confuso e nervoso...como fica a sua tarefa? Enquanto você conhece a rota não precisa colocar muito esforço cognitivo no que está fazendo e, então, “falar sobre” é fácil. Quando a situação muda, você passa a ter que se concentrar mais para descobrir para onde ir – mais processamento cognitivo é necessário – e você pára de falar. Não é muito diferente a problemática do uso de telefone celular no trânsito. Há razão, também, para a polêmica nos dias de hoje, sobre o esforço da Ford em disponibilizar ao motorista a Internet dentro de seu carro - ainda que com interação por voz...

⁴ Landauer (1962)

A Tabela 2.1 a seguir resume os subsistemas do MPIH, com seus respectivos parâmetros.

	Sistema Perceptual	Sistema Motor	Sistema Cognitivo
Memórias	dmiv=200[90~1000]ms dmia=1500[900~3500]ms umiv=17[7~17]letras umia=5[4.4~6.2]letras		dmcd=7[5~226]s dmld=infinito umcd=7[5~9]chunks umlld= ?
Tipo de Código	kmiv=físico kmia=físico		kmcd=acústico/visual kmld=semântico
Processador	tp=100[50~200]ms	tm=70[30~100]ms	tc=70[25~170]ms

TABELA 2.1 - PARÂMETROS PRINCIPAIS DO MPIH

O Modelo do Processador de Informação Humano, obviamente como em qualquer modelo, não tem a pretensão de captar a complexidade e grandeza associados aos mecanismos humanos utilizados no nosso processo de perceber, pensar e agir. Entretanto, é uma aproximação bastante razoável para as tarefas relacionadas à avaliação e predição da performance humana ao interagir com computadores, especialmente nos aspectos ergonômicos envolvidos na interação. A seguir, mostraremos alguns exemplos extraídos da literatura em Fatores Humanos, que exemplificam e ao mesmo tempo comprovam a adequação do modelo para explicar aspectos de interação humano-computador.

EXEMPLO 1.

Na simulação gráfica de um jogo de bilhar, existem ocasiões em que uma bola deve bater em outra bola, causando o movimento da segunda. Depois da colisão, em quanto tempo o movimento da segunda deve ter início para que o usuário “perceba” (tenha a ilusão de) uma causalidade?

De acordo com o MPIH, para que a colisão pareça causar o movimento da segunda bola, este deve ocorrer dentro de um ciclo do processador perceptual (Tabela 2.1). Resultados experimentais também comprovam essa medida. Experimento⁵ reportado em Card *et al* (1983) mostra que a causalidade é percebida como uma função do tempo entre eventos associados aos movimentos das duas bolas, isto é, do tempo que decorre entre o final do movimento da primeira e o início do movimento da segunda bola. O gráfico da Figura 2.5 mostra 3 tipos de causalidade percebidas. A percepção da causalidade imediata termina em torno de 100 ms, isto é, quando o intervalo entre

⁵ Michotte, (1963)

o final do primeiro e início do segundo movimento ocorre dentro de um ciclo do PC, e os eventos são considerados independentes em torno dos 180ms.

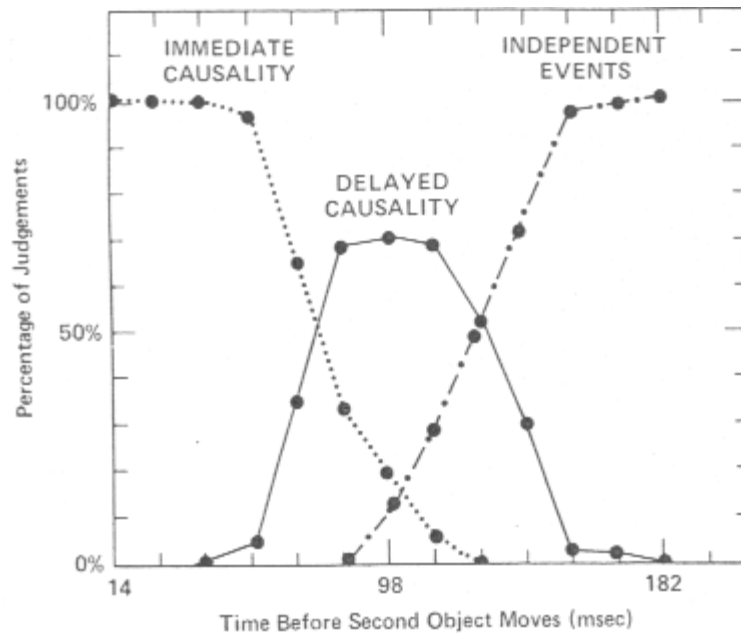


FIGURA 2.5- PERCEPÇÃO DE CAUSALIDADE EM MOVIMENTOS (CARD ET AL. 1983, p50)

EXEMPLO 2:

Imagine um usuário em frente a um monitor de vídeo realizando a seguinte tarefa: são apresentados ao usuário dois símbolos, um de cada vez. Se o segundo for igual ao primeiro ele deve pressionar uma determinada tecla (X), caso contrário, outra tecla (Z). Qual será o tempo que decorrerá entre o sinal e a resposta para a tecla X?

De acordo com o MPIH, no tempo $t=0$ o segundo símbolo aparece na tela. Ele é então transferido para a MIV e MCD. Há uma comparação do código visual dos dois símbolos. O PC, então, traduz o resultado (bem sucedido) da comparação em comando motor. O PM, então aciona a tecla X. O tempo necessário, será dado por $tp+2tc+tm=310$ ms, em um intervalo possível de 130 a 640 ms.

Embora essa tarefa seja bastante simples, ela sugere a forma como a complexidade de determinada tarefa pode comprometer o tempo gasto na interação. Quanto maior

a complexidade, maior o número de ciclos de processadores que estarão envolvidos e maior será o tempo gasto.

EXEMPLO 3:

Suponha que a um conjunto de indicadores de erro em determinado sistema, devem ser atribuídos mnemônicos de 3 letras. Quando o sistema quebra, o operador deve escrever um conjunto de até 5 palavras. O que será mais importante usar para prevenir erros de transcrição: códigos similares no som ou no significado?

De acordo com o MPIH, na MCD o código utilizado é acústico ou visual. Resultados experimentais reportados em Card *et al.* (1983) dão conta de que a interferência na memória depende do tipo de representação mental do item, sendo a memória de curta duração mais suscetível à interferência acústica do que semântica, portanto. Isto é, itens que “soam” parecido são mais suscetíveis a interferências do que os que têm significado parecido. No caso do exemplo 3, considerando que os códigos devem ser escritos imediatamente após o evento, e que esses códigos ficam na MCD durante transcrição, deve-se pensar nas possíveis interferências na MCD. Códigos acústicos, isto é, códigos que soam de forma similar devem, portanto, ser evitados.

EXEMPLO 4:

Considere a situação onde um usuário deve aprender a usar um novo editor de textos, orientado a comandos, idêntico a um usado anteriormente, exceto pelos nomes dos comandos (ERASE em vez de DELETE, por exemplo). Depois de algum tempo, qual será a facilidade ou dificuldade em retornar ao uso do editor antigo?

Trata-se de uma questão associada à recuperação de informação da MLD e os princípios 2 e 3 aplicam-se neste caso. De acordo com o modelo, a dificuldade em lembrar depende da interferência na MLD, isto é, de quais outros itens podem ser recuperados pelas mesmas pistas. Conforme o usuário acumula novos *chunks* na MLD, torna-se mais difícil recuperar *chunks* velhos que são semanticamente similares aos novos, uma vez que a codificação na MLD usa código semântico. O leitor que já experimentou várias ferramentas computacionais similares já deve ter experimentado essa dificuldade.

EXEMPLO 5:

Consideremos o movimento da mão de um usuário em direção a determinado alvo, como normalmente se faz, por exemplo, para alcançar o

mouse a partir do teclado conforme ilustrado na figura 2.6. Quão rápido pode ser esse movimento?

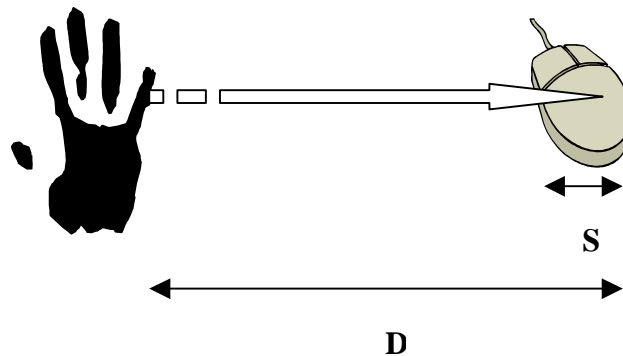


FIGURA 2.6 - MOVIMENTO DA MÃO EM DIREÇÃO A UM ALVO

Segundo o MPIH, o movimento da mão não é contínuo, mas é composto de uma série de movimentos discretos acompanhados de micro-correções. Para cada correção são necessários um ciclo do PP (para observar a mão), mais um ciclo do PC (para decidir sobre a correção) e mais um ciclo do PM (para fazer a correção). Portanto, o movimento total é dado pela expressão $n(tp+tc+tm)$, onde n é o número de intervalos de 240 ms necessários para alcançar o alvo.

Assumindo que a precisão relativa do movimento é constante, temos:

$$x_i/x_{i-1}=e, \quad x_1=ex_0=eD, \quad x_2=ex_1=e(eD) \quad \dots \quad x_n=e^nD$$

onde:

$x_0=D$ (distância do ponto inicial ao alvo)

x_i é a distância ao alvo depois do i éximo movimento corretivo

e $e<1$ (erro constante)

A mão pára de se mover quando está dentro do alvo:

$$e^nD \leq S/2 \quad \text{e} \quad n = -\log_2(2D/S)/\log_2 e$$

O tempo de movimento T_{pos} é dado por:

$$T_{pos} = n(tp+tc+tm)$$

$$T_{pos} = Im \log_2(2D/S) \quad \text{onde} \quad Im = -(tp+tc+tm)/\log_2 e$$

Em valores tomados experimentalmente, $e = 0.07$ e $Im = 63$ ms

Essa última equação, chamada de *Fitts's Law*, bastante utilizada na prática de ergonomia, define o quinto princípio do MPIH:

Princípio n. 5 Fitts's Law

O tempo necessário para mover a mão para um alvo depende somente da precisão relativa requerida, isto é, a razão entre a distância ao alvo e seu tamanho.

Esse princípio pode ser empregado, por exemplo, para determinar a melhor posição para determinadas teclas de função em interfaces, medindo o tempo que seria gasto nos movimentos da mão.

Mais 4 princípios de operação constituem o MPIH e serão apresentados resumidamente a seguir, para completeza do modelo.

Princípio n. 6 Lei da Prática

O tempo T_n necessário para realizar uma tarefa na n -ésima tentativa é dado por:

$$T_n = T_1 n^{-a} \text{ onde } a = 0.4[0.2 \sim 0.6]$$

Esse princípio estabelece que o tempo para fazer uma determinada tarefa decresce com a prática. Dados experimentais suportam esse princípio.

Princípio n. 7 Princípio da Incerteza (Hick's Law)

O tempo T de tomada de decisão aumenta com a incerteza sobre o julgamento da decisão a ser feita e é dado por:

$$T = I_c H \text{ onde } H \text{ é a entropia da decisão e } I_c = 150[0 \sim 157] \text{ ms/bit}$$

para n alternativas igualmente prováveis $H = \log_2(n+1)$,

para alternativas com diferentes probabilidades p_i de ocorrência,

$$H = \text{somatória(em } i) \text{ de } p_i(\log_2(1/p_i + 1))$$

Esse princípio pressupõe que a tarefa pode ser analisada como uma seqüência de decisões tomadas pelo Processador Cognitivo. A relação entre o tempo requerido e o número de alternativas não é linear porque as pessoas aparentemente podem organizar o processamento hierarquicamente.

Princípio n. 8 Princípio da Racionalidade

Uma pessoa age de forma a alcançar suas metas através de ação racional, determinada pela estrutura da tarefa e suas entradas de informação e limitada pelo seu conhecimento e habilidade de processamento:

Metas + Tarefa + Operadores + Entradas + Conhecimento + Limites de Processamento -> Comportamento

Esse princípio estabelece que muito da complexidade do comportamento humano deriva, não da complexidade do Humano em si, mas da complexidade da tarefa/ambiente no qual a busca da meta está acontecendo.

Princípio n. 9 Princípio do Espaço do Problema

A atividade racional na qual as pessoas se engajam para resolver um problema pode ser descrita em termos de (1) um conjunto de estados do conhecimento, (2) operadores para mudar um estado para outro, (3) restrições na aplicação desses operadores, (4) conhecimento para decidir que operador aplicar em seguida.

O MPIH enquanto modelo é uma aproximação bastante boa para ser útil na análise e entendimento de opções de design e de periféricos envolvendo operações sensório motoras e cognitivas do usuário. Um experimento bastante interessante reportado em Card *et al* (1983) analisa, por exemplo, a performance de usuários na tarefa de seleção de texto em diferentes tipos de periféricos, mais especificamente *mouse*, *joystick*, *step keys* e *text keys*. Veremos mais adiante, ainda neste capítulo, o GOMS: um modelo usado no design e avaliação da interação H-C, derivado diretamente do MPIH através de seus componentes e princípios de operação.

Das muitas definições e conceituações para interface que abordamos neste livro, Laurel (1990) apresenta uma definição para o conceito de interface como uma *superfície de contato que reflete as **qualidades físicas** das partes que interagem entre si* (grifo nosso). Portanto, enquanto os modelos que a Psicologia nos oferece são importantes para entendermos nosso comportamento com relação aos artefatos criados pela nossa cultura, conhecer os mecanismos subjacentes ao processamento perceptual, cognitivo, motor, e a memória humana é fundamental ao estudo de interfaces. Nas próximas sessões estaremos estudando principalmente a percepção humana e as bases neurais da memória.

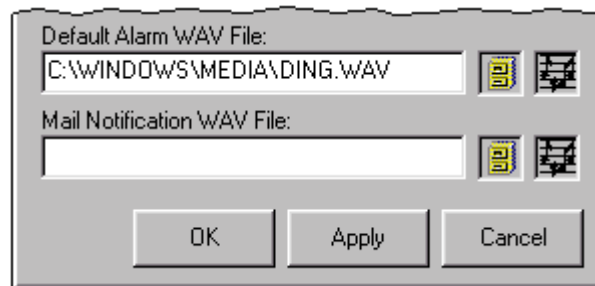
MECANISMOS DA PERCEPÇÃO HUMANA

O usuário deve “perceber” a informação apresentada na interface através dos sinais que a constituem. Principalmente quando consideramos sistemas computacionais baseados em multimídia ou em realidade virtual, torna-se clara a necessidade de entendimento de outras modalidades perceptuais, além do “ver” propriamente. Ficaremos impressionados se pensarmos no número de fenômenos que não somos capazes de perceber: a trajetória de uma bala atirada de uma arma, a luz infravermelha, o crescimento de uma planta, etc. Nosso objetivo com esta seção é explorar os mecanismos da percepção humana para entender sua influência no design de interfaces.

Várias teorias tentam explicar a maneira como percebemos; as construtivistas acreditam que nossa visão de mundo é construída de forma ativa por informação obtida do ambiente somada ao conhecimento previamente armazenado. Nas teorias construtivistas a informação que captamos é construída, envolve processos cognitivos, portanto. O paradigma construtivista explora a maneira como reconhecemos determinado objeto e fazemos sentido de determinada cena.

Em outra linha de teorias, denominadas ecologistas (Preece *et al.*, 1994), percepção é um processo direto que envolve a detecção de informação do ambiente e não requer quaisquer processos de construção ou elaboração. A noção de “*affordance*”, que foi apresentada no Capítulo 1 e que ainda será bastante discutida neste livro, é derivada do entendimento da linha ecologista para a percepção: os objetos carregam certas características que dirigem nossa percepção sobre eles. As leis de Gestalt para a organização perceptual – proximidade, similaridade, fecho, continuidade, simetria – são exemplos de fatores que explicam a forma como características no sinal que nos é apresentado nos levam a perceber (ou deixar de perceber) determinada informação. A Figura 2.7 ilustra esse fenômeno.

FIGURA 2.7 - PERCEPÇÃO E
AFFORDANCE

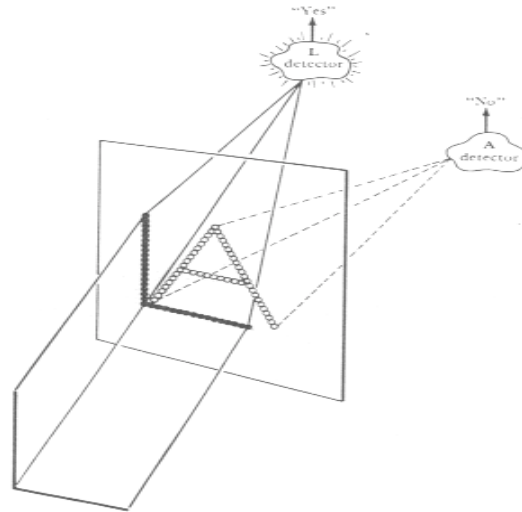


A imagem da Figura 2.7 é um trecho de interface do software *Time & Chaos* (Shame 1999). Os pares de figuras colocadas à direita são botões, embora não pareçam. Note que botões têm a aparência dos 3 colocados abaixo, em sequência (*OK*, *Apply*, *Cancel*). Se o usuário clicar sobre a imagem da direita antes de haver selecionado um arquivo, nenhum feedback acontece, sugerindo que o clique não teve efeito aparente, o que levará o usuário a acreditar que as imagens são realmente apenas decorativas. Os pares de figuras colocados à direita na tela não possuem o *affordance* de botões de comandos, como deveriam.

Entender os mecanismos da percepção humana envolve entender os processos psicológicos em operação e as redes neurais envolvidas. A primeira pergunta que se faz é *Como os sinais externos que chegam aos órgãos sensoriais são convertidos em experiências perceptuais significativas?*

O modelo mais simples para responder à pergunta é baseado na teoria do reconhecimento por casamento de padrões. Para a operação de casamento de padrões, deve existir alguma representação – um *template* – para cada um dos padrões a ser reconhecido. Se tivermos um padrão definido, por exemplo, a letra “L”, para reconhecê-la basta procurar imagens que se “casem” com ela. A retina é composta de centenas de milhares de células nervosas sensíveis à luz, chamadas receptoras. Quando um padrão de luz estimula um certo conjunto de receptores, o detector do “L” responde. A Figura 2.8 ilustra esse processo.

FIGURA 2.8 - RECONHECIMENTO POR CASAMENTO DE PADRÕES
(LINDSAY E NORMAN 1972, P. 3)



Obviamente rejeita-se facilmente esse modelo para explicar o reconhecimento humano de padrões. Esse processo simples não funciona se a letra é apresentada com outra orientação ou com tamanho variável. Sistemas computacionais recorreriam a um pré-processamento. Um sistema mais poderoso e flexível é necessário para dar conta da capacidade humana de reconhecimento de padrões. Então, *como a informação que chega a nossos órgãos dos sentidos é interpretada?*

Nossos erros são reveladores ao mostrar pontos onde a nossa interpretação falha. Vários “truques” são usados por artistas da pintura e da fotografia, violando intencionalmente regras de construção da percepção, e são interessantes para nos revelar o fenômeno humano da percepção. Por exemplo, para que o processo seja aparente, a quantidade de informação disponível pode ser reduzida. Degrada-se a imagem completamente tornando a interpretação difícil. Façamos uma experiência simples, verificando como organizamos imagens degradadas. Olhe para as imagens da Figura 2.9.

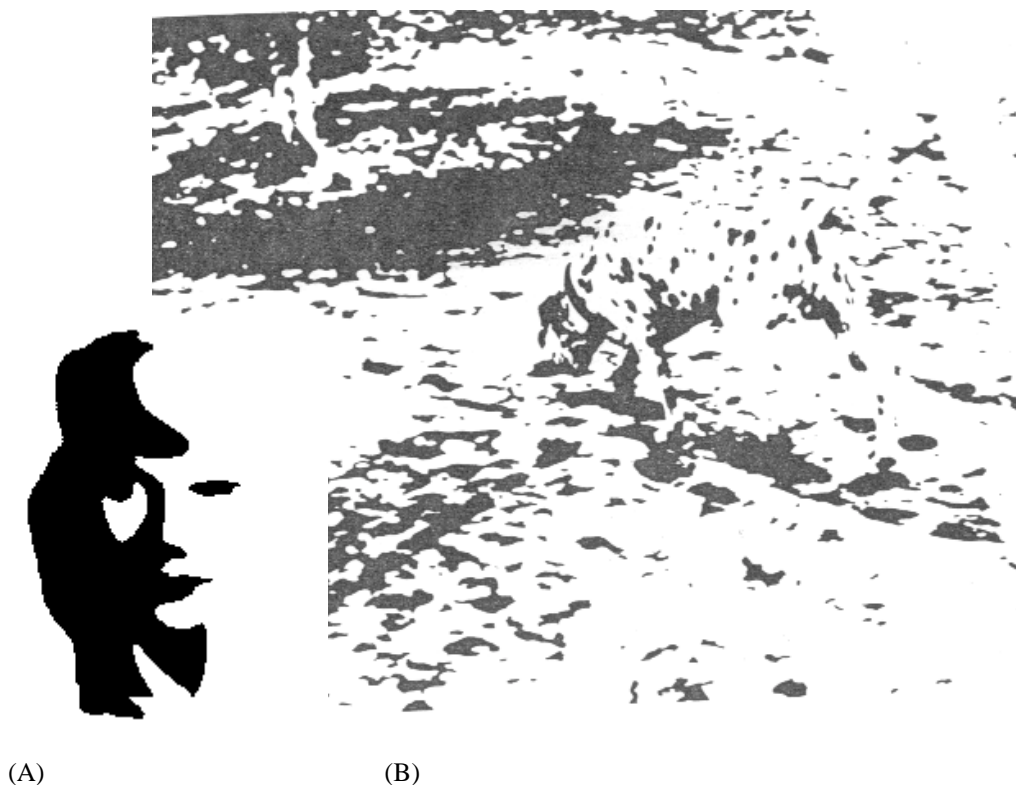


FIGURA 2.9 - ORGANIZANDO IMAGENS DEGRADADAS

Note que para “ver” o cachorro em (B)⁶ ou a moça em (A)⁷ nós adicionamos informações que não estão presentes na imagem. Se alguém pede a você que procure encontrar o cachorro ou a moça, fica mais fácil de vê-los. Além disso, uma vez que se vê o cachorro ou a moça é muito difícil não vê-los mais. Isso explica um fenômeno interessante presente até no nosso dia a dia, e que não se restringe à percepção de imagens visuais: *Quando se olha para o que se quer ver é mais fácil “ver”*.

Outro artifício, explorado genialmente por Salvador Dali e Maurits Cornelis Escher, entre outros, consiste em colocar organizações competitivas na imagem, de forma a

⁶ Foto de R.C. James (em Lindsay e Norman, 1972, p.8); ⁷ autor desconhecido

tornar possível o conflito de interpretações da mesma imagem. As Figuras 2.10 (A)-2.10(F) ilustram esse fenômeno.

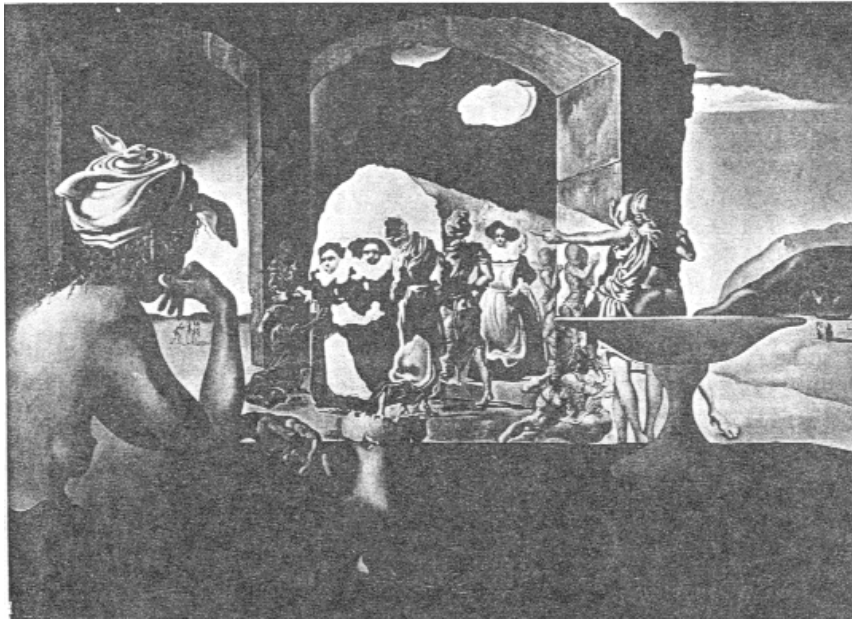


FIGURA 2.10 (A) - ORGANIZANDO IMAGENS QUE COMPETEM
Salvador Dalí, *The Slave Market with Disappearing Bust of Voltaire*

FIGURA 2.10 (B)⁸ - Moça ou Velha?



⁸ Autor desconhecido

FIGURA 2.10 (C)⁹

Quantas faces estão presentes na figura ao lado?

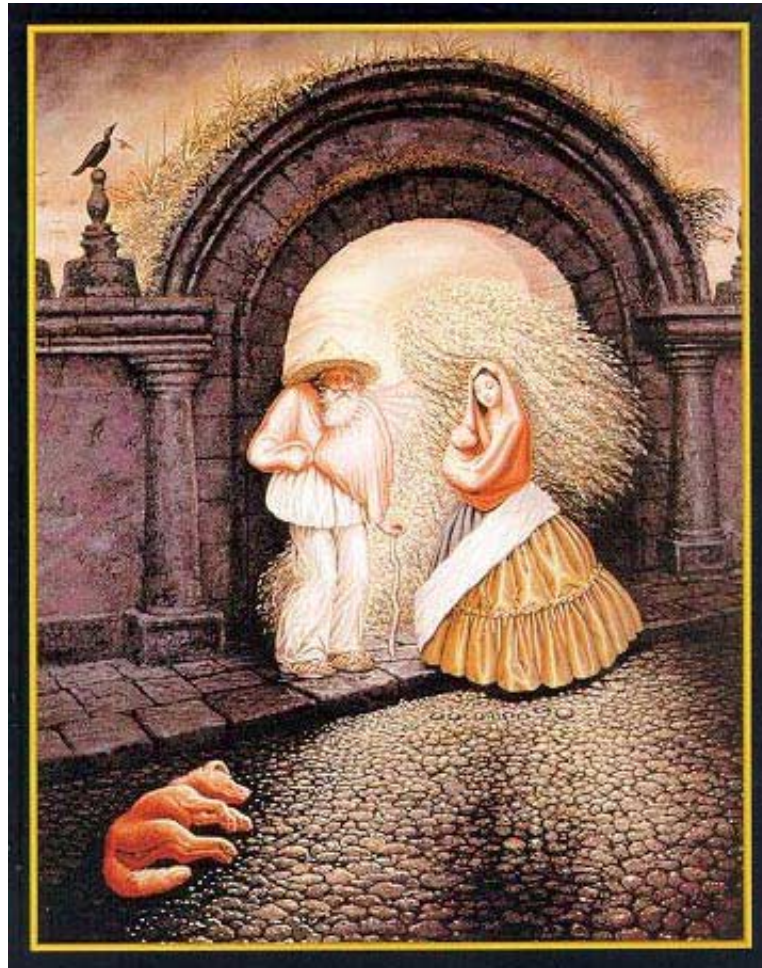
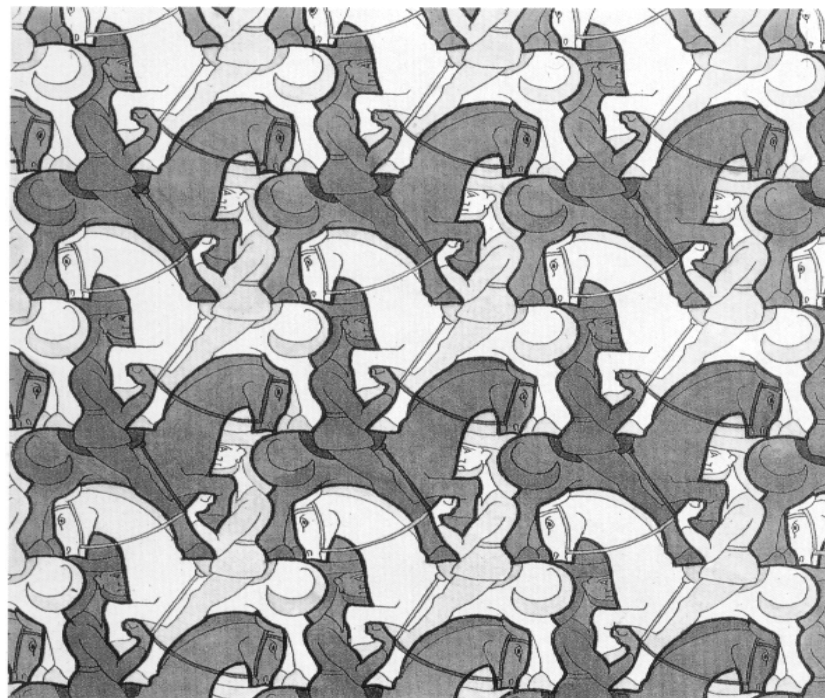


FIGURA 2.10 (D)⁹
Pato ou coelho?

⁹ Autor Desconhecidos



Symmetry drawing 67 (Horsemen) | Symmetriezeichnung 67 (Reiter) |
Dessin symétrique 67 (Cavaliers), 1946

FIGURA 2.10 (E) - M.C. Escher, *Cavaleiros*, 1946



FIGURA 2.10 (F)⁹ - Índio ou Esquimó?

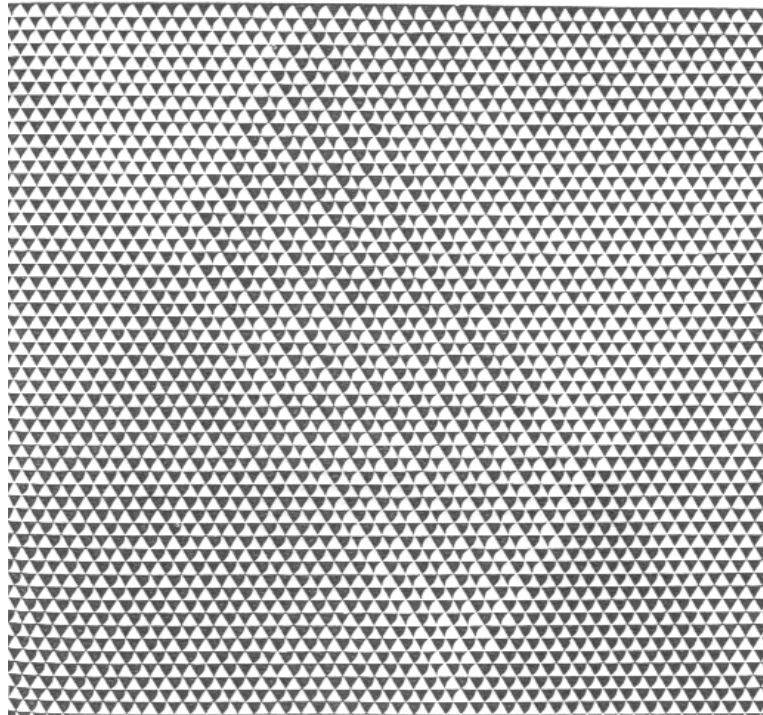
⁹ Autor desconhecido

Uma imagem pode ser ambígua por falta de informação relevante ou por excesso de informação irrelevante, como mostram estes últimos casos, revelando diferentes mecanismos de construção da informação. Note que temos dificuldade em interpretar a imagem de duas maneiras diferentes ao mesmo tempo: Na Figura 2.10 (A) ou vemos as freiras, ou vemos o busto do Voltaire, mas não os dois ao mesmo tempo. Em (C) ou vemos o olho do velho ou o homem. Em (E) ou vemos cavaleiros em uma direção ou na outra, em (B) a moça ou a velha, etc.

É interessante observar que esses fenômenos têm um análogo em nossa percepção auditiva. Por exemplo, não conseguimos “ouvir” duas conversas ao mesmo tempo e em festas, às vezes tentamos extrair uma conversa entre tantas de fundo. A música clássica é outro exemplo riquíssimo de expressões “figura-fundo” que conhecemos melhor do contexto de imagens visuais. A riqueza da música e a forma como ela nos agrada mais ou menos parece depender de organizações perceptuais que possam instigar nossa percepção auditiva.

Um terceiro artifício, para entendermos nosso processo de percepção consiste em colocar-se na imagem visual uma organização sem sentido para ver como a experiência passada afeta o processo. Olhe para a Figura 2.11.

FIGURA
2.11(A)¹⁰
ATRIBUINDO
SENTIDO À
IMAGEM



¹⁰ Bridget Riley, *Tremor* (em Lindsay e Norman, 1972, p. 13)

Na figura 2.11(A), o que você vê? Escaninhos horizontais, verticais ou uma seqüência de triângulos? Há uma organização flutuante: uma forma ou outra pode ser observada. Este último exemplo mostra que os processos visuais e perceptuais impõem uma organização à imagem, mesmo que o artista tenha evitado deliberadamente colocar formas de organização. A interpretação da imagem é realizada pela segregação de grupos que tenham forma similar, que são tratados como unidades ou “pontos focais” (um tipo de quebra no padrão repetitivo).

Na figura 2.11(B), por sua vez, quantos animais você “vê”?

FIGURA 2.11(B)¹¹
ATRIBUINDO SENTIDO À
IMAGEM



¹¹ Autor Desconhecido

Outro fenômeno interessante é nossa percepção do espaço e profundidade. Assumindo que vivemos e nos movemos em um mundo 3D, faz sentido que nosso aparato visual tenha evoluído para colocar uma representação 3D nas imagens que vê. Olhe para a obra de Magritte¹², na Figura 2.12; você vê dois cones?



FIGURA 2.12 - ATRIBUINDO PROFUNDIDADE À IMAGEM

Sempre que um padrão visual no qual linhas e arestas convergem, há duas opções de interpretação: trata-se de objetos bidimensionais vistos diretamente – as linhas realmente convergem, ou objetos tridimensionais vistos em perspectiva – as linhas são paralelas. A escolha da interpretação parece baseada em análise das evidências disponíveis. No caso da Figura 2.12, em particular, há ainda a importância de informação do contexto. Não lidamos com as coisas isoladamente. Quando informação sensorial é colocada junto, uma imagem consistente do mundo deve ser produzida. Note como o cavalete parece suportar o quadro ao mesmo tempo em que a imagem sugere uma janela, provocando intencionalmente percepções diferentes da figura cônica.

Outro aspecto importante da organização de informação visual pode ser demonstrado por “ilusões”. Lindsay e Norman (1972, p. 12,13), mostram uma experiência simples que pode ser feita com uma folha de papel dobrada, para

¹² René Magritte, *Les Promenades d'Euclide*, 1953

entendermos o fenômeno chamado “paralaxe do movimento”. A Figura 2.13 mostra como o cenário experimental deve ser montado.

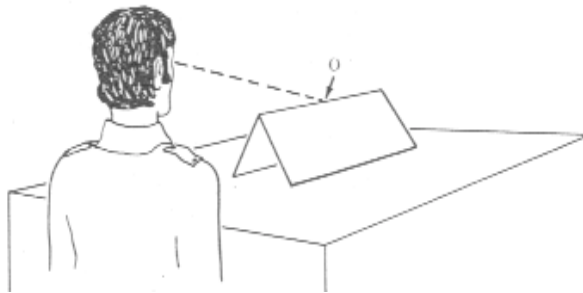


FIGURA 2.13 -EXPERIMENTANDO A ILUSÃO DE MOVIMENTO (LINDSAY E NORMAN 1972, p. 12-13)

Observe o papel dobrado com um olho apenas, por alguns segundos, fixamente. Ele parecerá colocado tanto em pé (com sua aresta maior perpendicular à mesa) quanto deitado (com sua aresta paralela à mesa). Na primeira situação ele fica com sombras diferentes, parecendo luminoso. Se movermos a cabeça de um lado para outro, o papel parecerá se mover também, como se fosse de borracha (o que você “sabe” que não é). A imagem do ponto mais próximo do papel move-se, na retina, mais rápido do que a imagem do ponto mais distante. Para manter a consistência, o objeto (papel) “dança”. Ou seja, todos os dados sensoriais são usados para construir uma interpretação consistente do mundo visual. Esse fenômeno é conhecido como paralaxe do movimento.

As chamadas “ilusões de ótica” mostram que a nossa habilidade em ver coisas em profundidade não depende da familiaridade que temos com os objetos representados. Muitas dessas ilusões são decorrentes de um fenômeno conhecido como “gradiente da distância”. Considere um pedaço de papel retangular, com linhas horizontais igualmente espaçadas; quando inclinado em relação ao campo de visão, as linhas mais distantes da imagem da retina parecerão mais próximas e seu comprimento também parecerá menor. Ilusão de profundidade pode ser criada com o uso de perspectiva em padrões que se repetem indefinidamente. O contexto também exerce influência em imagens não necessariamente familiares. Na Figura 2.14 olhe para o desenho à esquerda e responda: qual das linhas intercepta a linha vertical em ângulo reto? E no desenho à direita? A Figura 2.14 mostra que quando informação de profundidade é adicionada, o ângulo reto parece obtuso e o obtuso parece reto.



FIGURA 2.14 - A INTERFERÊNCIA DA PROFUNDIDADE

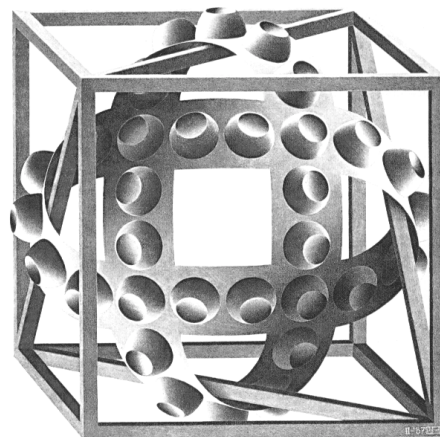
Outra maneira de demonstrar a operação que fazemos de colocar objetos em 3D durante sua interpretação é olhar para figuras “impossíveis”. As partes são compreendidas individualmente, mas são conflitantes na interpretação global da cena. Escher criou trabalhos fantásticos explorando esse fenômeno. Alguns de nossos preferidos são mostrados a seguir na Figura 2.15.



Möbius strip (1) Möbiusband (1) Banden de Möbius (1) 1961
Wood engraving printed from four blocks, 24 x 20 cm

M.C. Escher, *Moebius Strip*, 1961

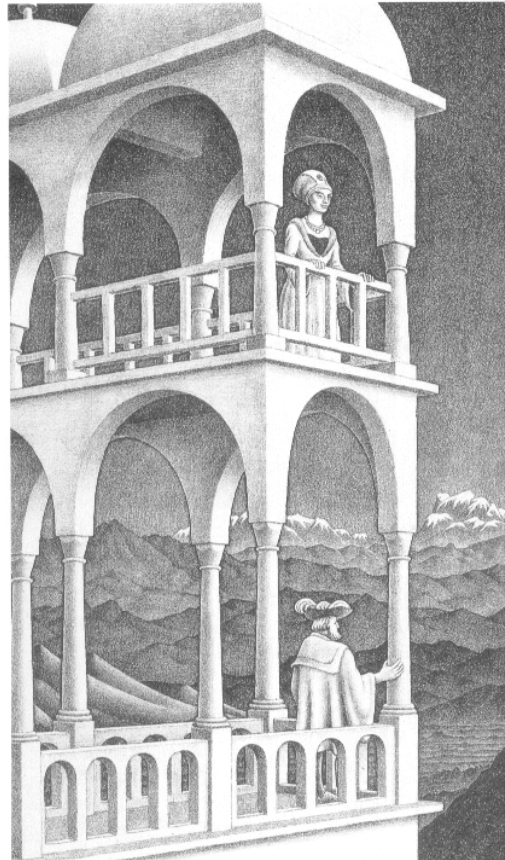
M.C. Escher, *Cube aux rubans magiques*, 1957



Cube with magic ribbons (1) Würfel mit magischen Bändern (1)
Cube aux rubans magiques (1957)
Lithograph, 21 x 20 cm

FIGURA 2.15 (A) E (B)
ORGANIZAÇÕES IMPOSSÍVEIS

FIGURA 2.15(c)
ORGANIZAÇÕES
IMPOSSÍVEIS



M.C.Escher, *Belvedere* 1958 (detalhe)

Os exemplos mostrados ilustram características de nossos processos de percepção. *Como explica-los? Que informações o sistema nervoso extrai dos sinais chegando aos órgãos dos sentidos?*

Lindsay e Norman (1972) propõem que olhemos para as anomalias da percepção, para entender esse processo. Olhe para a imagem da Figura 2.16.

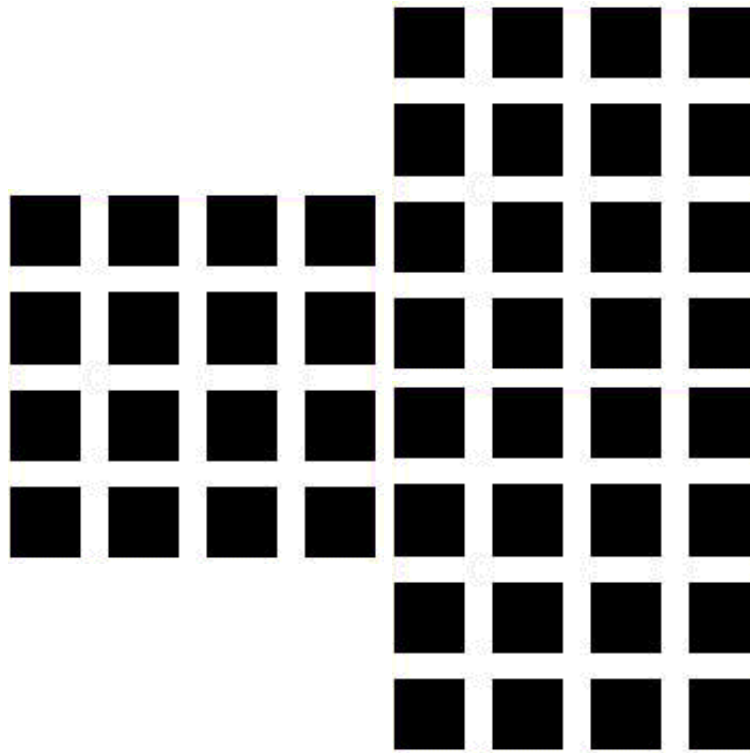


FIGURA 2.16 - A GRADE DE HERING

Pontos cinza são enxergados na intersecção dos quadrados escuros, mesmo não estando presentes, exceto naquela onde você fixa o olhar. Esse fenômeno é explicado pelo princípio da análise sensorial que estabelece que células neurais interagem umas com as outras. Receptores de uma parte da imagem visual são afetados pela operação de receptores para partes vizinhas. No único ponto do olho onde os receptores não interagem muito com os outros, área onde o olho está focando, o escurecimento da intersecção não acontece.

O movimento do olho é outra fonte de informação sobre o mecanismo de extração de informação sensorial. Os olhos estão em movimento constante, conforme já discutido na apresentação do MPIH. Se o movimento pára, as imagens desaparecem. Movimentos da imagem visual sobre a superfície da retina podem ser parados através de técnicas e aparato de espelhos colocados no olho. Com calibração cuidadosa é possível fazer a imagem se mover no mesmo ângulo visual do olho, de

modo que a imagem vista na retina não muda sua posição apesar dos movimentos do olho. Quando a cena visual é vista através desse aparato, depois de alguns segundos os padrões começam a desaparecer. A Figura 2.17 ilustra esse resultado.

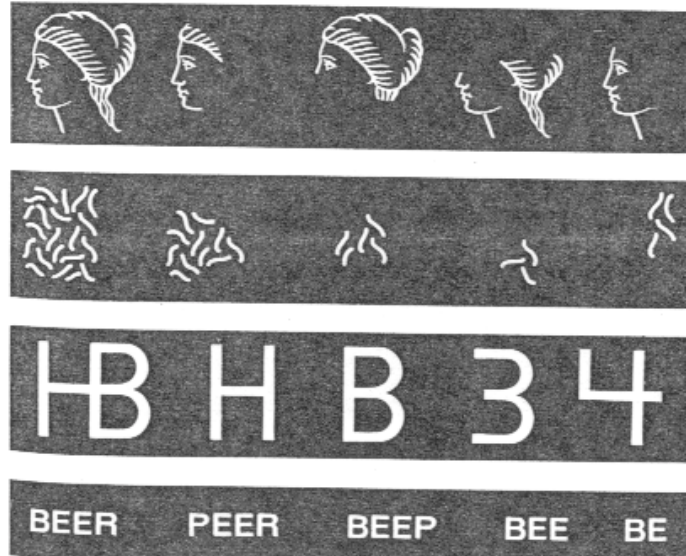


FIGURA 2.17 - O DESAPARECIMENTO DA CENA EM PARTES (LINDSAY E NORMAN 1972, p. 35)

Uma explicação de Lindsay e Norman (1972) ao fenômeno sugere que enquanto informação é fornecida pelos receptores neurais no olho, os detectores continuam a responder e o padrão é visto completamente. Quando o olho pára seus movimentos, os receptores cessam suas respostas.

A exemplo do olho, todos os sistemas sensoriais parecem requerer mudanças na estimulação para manter a percepção. Sistemas auditivos têm movimento embutido neles. Não existe sinal auditivo constante, por causa de padrões de pressão do ar. Em relação ao tato, depois de algum tempo não percebemos mais a pulseira do relógio, a menos que ela se mexa no braço. O mesmo ocorre com o olfato, um cheiro de perfume é notado menos por quem o está usando.

Outro efeito interessante para estudo da percepção é o chamado “efeito posterior”: visão prolongada de uma imagem deixa sua marca em percepções futuras; se observarmos prolongadamente determinado movimento, posteriormente o ambiente ao redor parecerá estar em movimento contrário. Esse efeito é muito observado também com cores; após intensa exposição a determinada cor - vermelho, por exemplo, olhando para o branco, enxergamos verde (cor complementar ao vermelho).

Embora pareça não haver dúvida sobre a existência no ser humano de detectores de padrões específicos, o tipo exato de operação desses detectores ainda não é bem conhecido. Por exemplo, Lindsay e Norman (1972) mostram que a interpretação de padrões pode ser feita pela própria pele. Situações de laboratório mostram resultados de pesquisa sobre visão através da pele. Uma câmera de vídeo acoplada a um conjunto de micro-vibradores são conectados às costas de um sujeito. Regiões de alta intensidade luminosa ativam os micro-vibradores correspondentes. Resultados mostram que os sujeitos conseguem distinguir linhas verticais de horizontais, formas geométricas, objetos comuns do dia a dia e mesmo posição relativa e profundidade relativa desses objetos em uma cena, quando eles próprios movimentam a câmera.

Como vimos nesta seção, perceber é muito mais do que ver. O conhecimento sobre os fenômenos da percepção humana é cada vez mais necessário ao designer de interfaces, mesmo sem considerarmos as propostas de interface 3D e realidade virtual. A expressão gráfica para interfaces ao mesmo tempo em que oferece ao usuário facilidades em relação à interface orientada a comandos, passa a exigir processamento perceptual cada vez maior. A demanda por memorização e a carga cognitiva exigida pelas interfaces baseadas em linguagem de comandos é deslocada para o processamento perceptual e viso motor nas interfaces gráficas. A ausência de conhecimento de designers nessa área tem mostrado seu reflexo em interfaces de todos os gêneros de software. Tente ler o texto na imagem a seguir, Figura 2.18, (Shame, 1999) e note o esforço requerido.

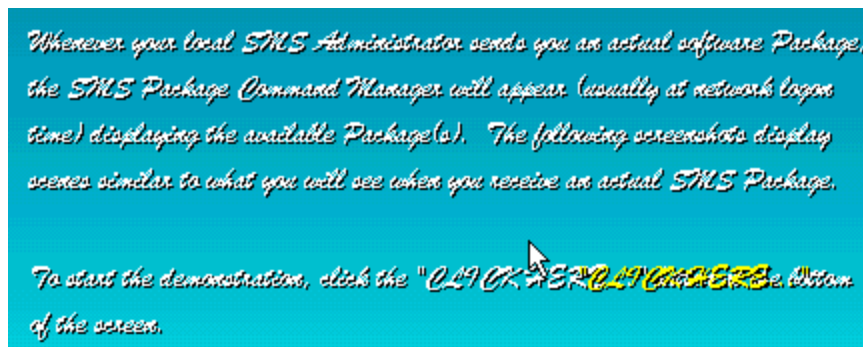
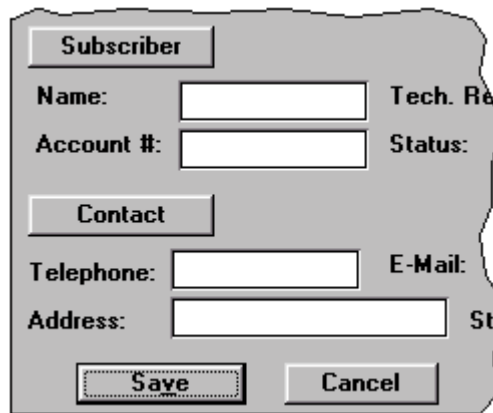


FIGURA 2.18 - TRECHO DE TELA PARA LEITURA (SHAME, 1999)

Essa imagem era parte de um tutorial realizado em uma grande organização, sobre como usar um novo sistema de software. A escolha da cor e tipo de fonte, cor de fundo, além de tornar o texto ilegível, mostra um desconhecimento total dos fenômenos relacionados ao esforço perceptual requerido do usuário.

Outro exemplo, Figura 2.19, (Shame, 1999) mostra trecho de interface onde o designer parece desconhecer que fenômenos de percepção levam o usuário de tal aplicação a tentar clicar sobre “Subscriber” ou “Contact”. O designer foi bastante infeliz ao escolher destacar os rótulos de seção, usando uma aparência de relevo que os tornam, em forma, semelhantes aos botões!



The image shows a web form with two main sections. The first section is titled "Subscriber" and contains four input fields: "Name:", "Account #:", "Tech. Re", and "Status:". The second section is titled "Contact" and contains four input fields: "Telephone:", "E-Mail:", "Address:", and "St". At the bottom of the form are two buttons: "Save" and "Cancel". The "Subscriber" and "Contact" labels are highlighted with a 3D effect, making them look like buttons.

FIGURA 2.19 - PARTE DE INTERFACE PARA INTERAÇÃO (SHAME, 1999)

Assim como é necessário ao designer estar consciente das possibilidades e restrições do usuário em função de seus mecanismos perceptuais, a próxima seção estuda e discute os mecanismos humanos de memória. Nosso objetivo é possibilitar escolhas de design mais informadas pelo funcionamento de nossos mecanismos de memória.

AS BASES NEURAIS DA MEMÓRIA HUMANA

A literatura especializada da psicologia experimental define pelo menos três tipos diferentes de memória: a memória de informação sensorial (chamada MIV e MIA no MPIH), a memória de curta duração (chamada MCD ou MT no MPIH) e a memória de longa duração (MLD). O primeiro desses sistemas de memória mantém uma “fotografia” do mundo como ele é recebido pelos nossos órgãos dos sentidos. Balançando a caneta em frente aos olhos pode-se ver a imagem do rastro atrás do objeto em movimento. Esse rastro do movimento dura, aproximadamente, 250 ms e equivale ao conceito de tempo de desbotamento. Na memória de curta duração, a informação retida não é mais a imagem completa de eventos que acontecem ao nível

sensorial, mas a interpretação imediata desses eventos. Por exemplo, quando uma sentença é falada, não nos lembramos dos sons que formam a sentença, mas das próprias palavras. A informação pode ser mantida indefinidamente na memória de curta duração, através de repetição e sua capacidade é limitada. (5 ± 2 *chunks*). Na memória de longa duração não há limite prático para sua capacidade de armazenamento. Responda rapidamente: *O que você comeu no jantar do último sábado?* O cérebro tem aproximadamente 10 bilhões de neurônios capazes de armazenar informações.

Olhando para as estruturas cerebrais envolvidas no armazenamento e recuperação de informação, o cérebro humano é dividido em regiões que diferem anatomicamente e por isso possuem nomes diferentes. Dois hemisférios se destacam: o direito e o esquerdo, cada um composto de quatro lóbulos. A matéria cinza que compõe o cérebro é chamada de córtex cerebral, sendo responsável pelas suas funções mais sofisticadas – processamento de imagem visual, pensamento, linguagem, etc. A Figura 2.20 apresenta de forma diagramática as principais regiões do cérebro humano.

Mudanças estruturais e químicas devem ocorrer no cérebro, como resultado da aquisição de novo conhecimento. Descrição acurada e completa de como o sistema nervoso armazena informação não existe, ainda. Entretanto, é bem aceita a teoria de que as atividades correntes de pensamento, processos de consciência e memórias imediatas (armazenamento sensorial e MCD) são mediadas por atividades elétricas. O impulso elétrico carregado pelo neurônio viaja do corpo de uma célula para um outro corpo de célula, através do axônio. O local onde o axônio faz contato com o corpo da célula é chamado junção sináptica. Existem dois tipos dessas junções: as excitadoras e as inibitórias. As junções excitadoras tendem a fazer o novo neurônio “disparar”; isto é, responder com seu próprio impulso. As inibitórias tendem a prevenir (impedir) o disparo. No sistema nervoso, um grande número de impulsos chegando a conexões excitadoras pode ser requerido para fazer o corpo da célula “disparar” outro impulso. A Figura 2.21 ilustra esse processo.

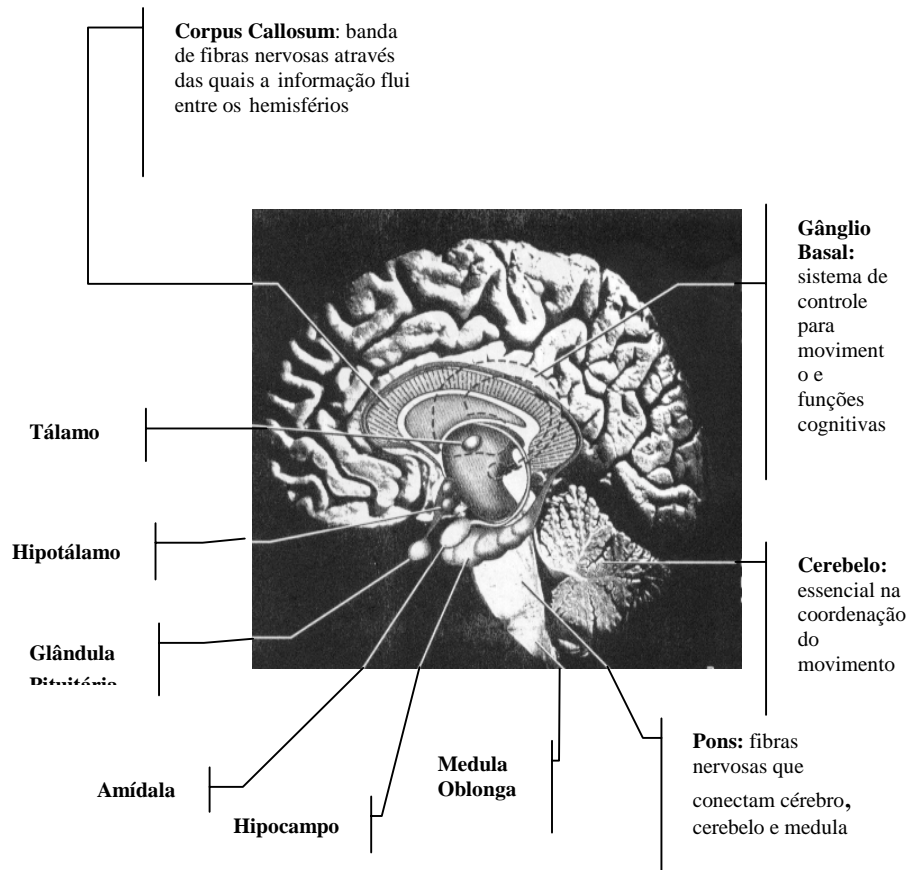


FIGURA 2.20 - ESTRUTURAS CEREBRAIS

Como a memória de uma entrada sensorial é mantida? Há pelo menos 3 teorias que explicam maneiras pelas quais o sistema nervoso poderia responder à presença da letra “A”, por exemplo. Na primeira delas, uma única célula codifica a presença de cada item e responde quando o item é reconhecido. Na segunda teoria, a presença do “A” é apontada por uma configuração única de células neurais, que responde. Na terceira teoria, o “A” é apontado por um padrão especial de disparos neurais. A “lembrança” de que o “A” ocorreu seria mantida por circuitos “reverberatórios”. O circuito mais simples que qualifica um circuito de memória é um *loop* fechado, como ilustra a Figura 2.22. Um sinal sensorial chegando inicia uma seqüência de eventos elétricos que persiste indefinidamente.

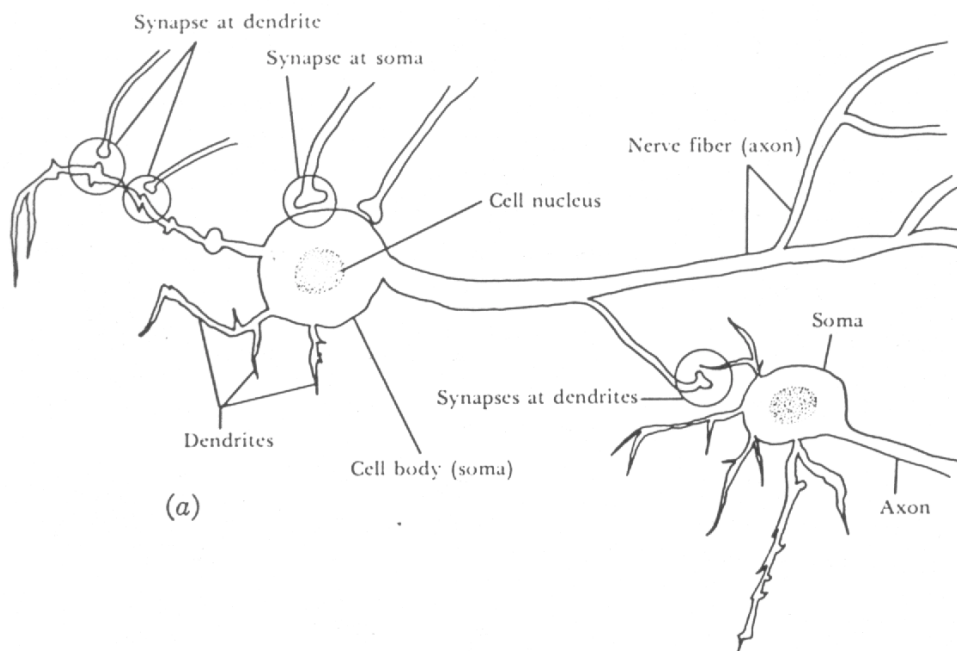


FIGURA 2.21 - ILUSTRAÇÃO DA BASE NEURAL (LINDSAY E NORMAN, 1972, P. 55)

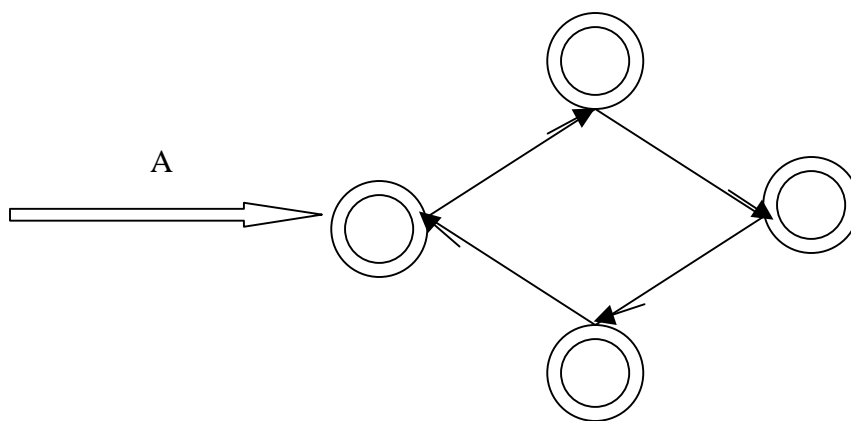


FIGURA 2.22 - MEMÓRIA PARA O EVENTO A

Mas, *o que pára a reverberação?* Entradas estranhas ao *loop* como, por exemplo: ocorrência de novos eventos, fadiga química nos neurônios ou nas sinapses, eventos anormais (pancada na cabeça, choque elétrico, etc.). A memória de curta duração consiste na ativação elétrica de um *loop* neural específico. É elétrica em sua operação, portanto.

E *como ela é representada?* Circuitos neurais específicos seriam construídos para memórias específicas. Atividade elétrica através desses circuitos representa uma ativação temporária deles.

A memória de longa duração é representada pela estrutura permanente dos circuitos neurais, que acontece através de um processo chamado consolidação. *Como aconteceria a consolidação?* Existem duas teorias principais: a primeira explica o processo de consolidação como uma codificação química na estrutura de moléculas de proteína em cada sinapse. Outra teoria explica a consolidação através do crescimento de novas junções sinápticas. Independentemente das teorias (mudança química ou crescimento neural), o resultado é que o efeito acontece nas sinapses.

Como seria a química da memória? As informações genéticas para cada organismo são armazenadas nas moléculas de DNA e transportadas por uma segunda molécula: o RNA. Portanto, há a possibilidade de processos químicos estarem envolvidos nos mecanismos da memória. Foi observado experimentalmente que ativação neural repetida e experiências de aprendizado têm efeitos mensuráveis na química do RNA. Experimento com ratos¹³ reportado em Lindsay e Norman (1972) mostrou que após experiência de aprendizado, análise bioquímica do reservatório de RNA do sistema de orientação no cérebro do rato, mostrou concentração de RNA acima do normal. *Conteria essa alteração, informação sobre a tarefa?*

Um segundo experimento com planarian¹⁴ (minhoca plana) – um animal com habilidade de regenerar dois corpos quando cortados na metade, reportado em Lindsay e Norman (1972) foi feito para investigar a hipótese de ser a memória codificada quimicamente ou ser retida em conexões neurais especiais. Foi ensinada determinada tarefa a uma planarian e logo após o animal foi cortado pela metade. Quando as duas metades estavam regeneradas, foi feito um teste sobre a tarefa aprendida. As duas responderam da mesma forma ao teste, indicando que o aprendizado foi retido. Esse resultado sugere que a memória (pelo menos desse animal) é codificada quimicamente, pois se fosse retida em conexões neurais

¹³ Hyden e Egyhazi, (1964)

¹⁴ McConnel, Jacobson e Kimble, (1959)

especiais na cabeça, o animal regenerado a partir da segunda metade (sem a cabeça) não conteria o conhecimento dos eventos aprendidos.

Os mesmos autores mostraram também que, no caso das planarian, há transferência de memória de um animal para outro. Esses animais são canibais. Uma planarian foi treinada em uma determinada tarefa, foi morta e dada como alimento a outra. Algum conhecimento sobre a tarefa que a primeira aprendeu parece ter sido transferido para a que a comeu. Forma similar de transferência foi reportada entre ratos e camundongos.

A memória de curta duração parece ser necessária para “segurar” a informação pelo período de tempo requerido para a consolidação. Durante o período de atividade elétrica que segue a ocorrência do evento, a memória para o evento torna-se consolidada em memória de longa duração. A aplicação de grande quantidade de correntes elétricas no cérebro interrompe a memória de curta duração. Desordens da memória após crises convulsivas ou acidentes com traumatismos cranianos ilustram e sustentam essa conceituação. Observações de pacientes pós-acidente relatam que *é como se houvesse uma linha de memória estendendo-se no tempo*. Os poucos minutos que antecedem imediatamente o acidente não são recuperados.

Algo mais do que a reverberação elétrica na memória de curta duração parece necessário para acontecer o armazenamento na memória de longa duração, entretanto. Casos de pacientes com anomalias pós-acidente mostram que não conseguem reter qualquer conhecimento novo, mesmo depois de repetição continuada da informação. Essas evidências sugerem que parece haver processos separados para retenção de memória antiga e aquisição de nova informação.

É bem aceita a hipótese de que memórias não estão em posições específicas, mas estão espalhadas através do cérebro. O cérebro é constituído de dois hemisférios que se comunicam por um conjunto de fibras nervosas chamado *corpus callosum* (ver figura 2.20). Cada órgão sensorial envia sua informação para ambas as metades do cérebro. Objetos à esquerda do ponto de fixação vão para a metade direita da retina e para a metade direita do cérebro. Analogamente acontece com os objetos à direita do ponto de fixação. Essa informação que chega nos dois hemisférios é coordenada para formar a percepção e memória correntes.

Nossos dois hemisférios parecem especializados. Evidências sugerem que o hemisfério esquerdo é especializado na linguagem, por exemplo. Observações reportadas em Lindsay e Norman (1972) dão conta de que em cirurgias onde o *corpus callosum* é seccionado (para eliminar sintomas da epilepsia, por exemplo), os sujeitos mostram-se incapazes de verbalizar ou escrever sobre qualquer coisa que a metade direita do cérebro esteja monitorando. Embora seja incapaz de *produção* de linguagem, a metade direita do cérebro, é capaz de *reconhecimento* de linguagem.

Em resumo, o cérebro dos organismos superiores parece consistir de dois sistemas de processamento ligados por um conjunto de linhas de comunicação. Cada sistema recebe somente parte da informação sensorial que chega dos vários receptores sensoriais. As fibras de comunicação do *corpus callosum* parecem ser usadas para transferir as partes que faltam da mensagem, de modo que cada metade tenha uma representação completa do ambiente. Pelo menos algumas das funções superiores do cérebro humano são governadas por redes dedicadas de neurônios. O mapeamento de regiões especializadas continua e a descrição de sua operação interna continua desafiando os neuro-cientistas.

O entendimento de nossos sistemas perceptuais, motores, cognitivos e de memória continuam um grande desafio, ainda nos dias de hoje. Literatura mais recente - *Nature*, *Science*, etc. continuam mostrando casos inexplicáveis em geral associados a anomalias encontradas em pacientes após diferentes tipos de acidentes ou doenças do sistema nervoso central, que mostram quão ignorantes ainda somos, neste início de milênio, a respeito de como “funcionam” nossos maravilhosos sistemas. Uma publicação mais popular, mas não menos interessante é o livro *Um antropólogo em Marte*, de Oliver Sacks (1995), neurologista, que registra casos intrigantes ocorridos com alguns de seus pacientes.

O conhecimento da memória humana tem deixado seu rastro na história dos computadores, a começar das idéias iniciais de Vannevar Bush (1945):

Man cannot hope fully to duplicate this mental process artificially, but he certainly ought to be able to learn from it.

A seleção por associação em vez do uso de indexação é apenas uma das idéias de Bush derivadas da analogia, presentes nas interfaces atuais, que retomaremos no Capítulo 5.

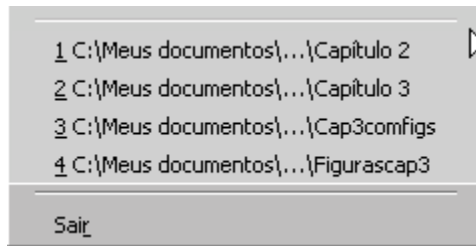
O conhecimento das limitações de nossa memória, especialmente de curta duração, tem levado alguns designers (embora poucos) a criar soluções inteligentes para interfaces. Muitas vezes, ao entrarmos em determinado sistema com nosso *password*, somos surpreendidos por uma mensagem que não o aceita. Repetimos a operação achando que a digitação rápida pode ter falhado. Recebendo uma segunda negativa, somos neuroticamente inclinados a pensar que o pessoal da administração do sistema alterou alguma coisa, sem avisar...

O *Eudora Pro* para *Macintosh* criou uma solução simples para esse problema freqüente. É comum nos esquecermos o “Caps Lock” ligado e demoramos até nos darmos conta (lembrarmos) disso! Como a maioria dos *password* é sensível a escolha maiúscula, minúscula, a mensagem na Figura 2.23 (*Fame*, 1999) serve de “lembança” dessa possibilidade.



FIGURA 2.23 - JANELA DO EUDORA PRO PARA MACINTOSH

Outra solução simples e interessante que nos ajuda a lidar com limitações de memória é o MRU (*Most Recently Used Files*), uma lista dos arquivos que acessamos mais recentemente (imagem ao lado). Esse é um recurso simples e interessante, presente em algumas aplicações, que nos poupa de atravessar a hierarquia de diretórios e arquivos, lembrando caminhos, nomes, etc.



A operação de inserção de figuras em algumas aplicações, vem acompanhada de *preview*, poupando-nos de lembrar que figura está associada a qual nome de arquivo, ou da demorada operação de carregar a figura para poder vê-la. A Figura 2.24 mostra esse recurso no *Microsoft Office2000*.

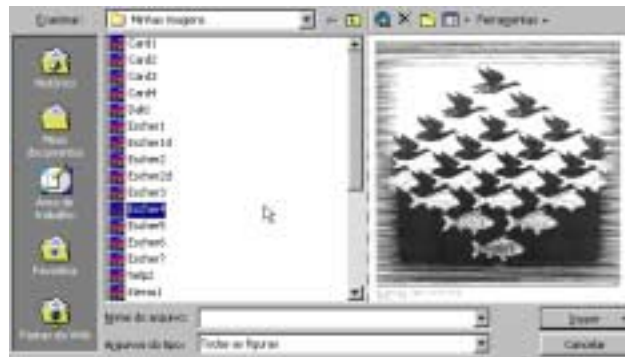


FIGURA 2.24 - JANELA NO *MICROSOFT OFFICE2000*

Conforme ilustramos, conhecendo os mecanismos humanos de memória, principalmente a capacidade de nossa memória de curta duração, pode-se criar recursos na interface que nos poupem de ter que lembrar detalhes necessários à interação, ao mesmo tempo em que nos liberem para ocupar a memória com informação relevante.

Estudado o modelo de processamento de informação humano (MPIH) e tendo olhado mais de perto os mecanismos da percepção e memória humanos, voltamos a apresentar um dos mais conhecidos conceitos em IHC, derivados do MPIH: o modelo GOMS.

O MODELO GOMS

A motivação para o GOMS foi fornecer um modelo de engenharia para a performance humana, capaz de produzir previsões quantitativas a priori ou em um estágio anterior ao desenvolvimento de protótipos e teste com usuários. Ele prevê tempo de execução, tempo de aprendizado, erros, etc. identificando partes da interface associadas a essas previsões, de forma a orientar o re-design. *GOMS é atualmente o mais maduro dos modelos de engenharia em IHC [...] e pode ser realmente útil no desenvolvimento de sistemas no mundo real* (John e Kieras, 1996a, p.289).

GOMS baseia-se na premissa de que nosso entendimento sobre o desenvolvimento de sistemas pode ser melhorado se levarmos em conta as atividades cognitivas e de

processamento da informação do usuário. O modelo é consequência direta dos princípios números 8 e 9 do MPIH: o princípio da racionalidade e o princípio do espaço do problema. O acrônimo GOMS representa os componentes de um modelo GOMS: metas (G), operadores (O), métodos (M) e regras de seleção (S).

Com base na premissa de que “os usuários agem racionalmente para conseguirem alcançar as metas”, quatro componentes básicos compõem, portanto, o modelo: (1) um conjunto de metas, (2) um conjunto de operadores, (3) um conjunto de métodos para alcançar as metas, (4) um conjunto de regras para seleção dos métodos.

Metas constituem uma estrutura simbólica que define o estado de coisas a serem alcançadas e determina o conjunto de métodos possíveis. A função dinâmica da meta é prover um “ponto de memória” para o qual o sistema pode retornar no caso de falha ou erro. Além disso, as metas carregam informação sobre o que é desejado, métodos disponíveis, o que já foi tentado, etc. Metas expressam o que o usuário deseja realizar com o software. Normalmente as metas formam uma hierarquia de submetas.

Operadores são atos elementares – perceptuais, cognitivos e motores - cuja execução é necessária para mudar aspectos do estado mental do usuário ou afetar o ambiente da tarefa. Operadores são as ações que o software possibilita ao usuário realizar. Embora possam ser definidos em diferentes níveis de abstração, os modelos GOMS os definem em termos concretos como o pressionar de um botão, o selecionar de um item de menu, etc.

Métodos são procedimentos necessários para conseguir realizar a meta. Relacionam-se à maneira como o usuário armazena conhecimento sobre a tarefa, e à sequência condicional de submetas e operadores que usa na realização da tarefa; envolvem testes no conteúdo da memória de curta duração do usuário e no estado corrente do ambiente envolvido. Métodos são seqüências bem aprendidas de submetas e operadores que permitem realizar a tarefa.

Regras de seleção são requeridas quando há mais de um método disponível para a realização da mesma meta. Seleção refere-se à estrutura de controle usada no processo, em geral regras *se-então*. São as regras pessoais que o usuário escolhe para decidir que método usar.

Juntos, os componentes do modelo GOMS descrevem o conhecimento procedimental que um usuário requer para realização de determinada tarefa no computador. Mostraremos sucintamente o modelo GOMS aplicado à tarefa de edição de um texto marcado, ilustrado pela Figura 2.25.

In order to understand GOMS models that have arisen in the last decade and the relationships between them, an analyst must understand ~~each of~~ the components of the model (goals, operators, methods, and selection rules), the concept of level of detail, and the different computational forms that GOMS models take. In this section, we will ^{define} each of these concepts; in subsequent sections we will categorize existing GOMS models according to these concepts.

FIGURA 2.25. - TEXTO MARCADO PARA EDIÇÃO (JOHN E KIERAS 1996B, P. 322)

Quando o usuário começa a edição tem uma meta geral: *editar-manuscrito*. Ele, então, segmenta a tarefa em unidades de tarefa, como por exemplo: *mover-texto*, *deletar-frase*, *inserir-palavra*, etc., como ilustrado a seguir:

Goal: editar-manuscrito

- *Goal: editar unidade de tarefa {repetir até que não haja mais unidades de tarefas}*
 - *Goal: adquirir unidade de tarefa {se tarefa não é lembrada}*
 - ...
 - *Goal: executar unidade de tarefa {se a unidade tarefa foi encontrada}*
 - *Goal: modificar-texto*
[Select: Goal: mover-texto
Goal: deletar-frase
Goal: inserir-palavra]
Verificar-edição

Em resumo, o modelo GOMS possui uma estrutura de pilha onde metas e sub-metas são “empilhadas” e “desempilhadas” quando completamente realizadas ou abandonadas. Um operador é uma ação realizada a serviço de uma meta. Operadores podem ser atos cognitivos, motores, perceptuais ou uma composição destes.

Operadores podem mudar um estado mental interno do usuário ou um estado do ambiente externo. Tempo de execução é um parâmetro importante dos operadores. Assim, a interação com o mundo físico aparece definida por um efeito específico e por uma duração específica. No exemplo da Figura 2.25, são operadores: *mover o mouse*, *clicar o botão do mouse*, *shift-clicar no botão do mouse* e *pressionar a tecla delete*. Operadores definem a granularidade da análise. Englobam uma mistura de mecanismos psicológicos básicos e comportamento organizado aprendido. Quanto mais fina a granularidade da análise, mais os operadores refletem os mecanismos psicológicos básicos.

Métodos são procedimentos já aprendidos; não são planos criados durante a realização da tarefa. Constituem a expressão da familiaridade e habilidade do usuário. Refletem a estrutura detalhada da tarefa no ambiente e o conhecimento da seqüência exata de passos requeridos pela ferramenta para a realização da tarefa. No exemplo citado, um método para a meta *deletar-frase* seria: *mover mouse para o início da frase*, *pressionar botão do mouse*, *mover mouse para o final da frase*, *soltar botão do mouse*, *pressionar tecla Del* (método marca e deleta).

A estrutura de controle no GOMS é a seleção. A essência do comportamento habilidoso pressupõe que as seleções acontecem suavemente, sem a problemática da busca que caracteriza comportamento de resolução de problemas. No exemplo o usuário poderia ter selecionado como método o *posicionar o mouse no início da frase e pressionar o delete tantas vezes quantas for o número de caracteres da frase a deletar* (método deleta caracteres). Seleção de métodos pelo usuário pode se dar pela experiência na tarefa ou por treinamento. O usuário poderia ter uma regra para o *deletar-frase* como a seguinte: se a frase tem mais de oito caracteres, usar método *marca e deleta*; caso contrário, usar método *deleta caracteres*.

Associando-se tempo a cada operador, tal modelo fornecerá previsão de tempo total para realização da tarefa. O modelo não é apropriado se erros ocorrem, uma vez que a detecção e correção de erros são rotineiras em comportamento habilidoso.

A Figura 2.26, extraída de John e Kieras (1996, p. 330), mostra um exemplo da expansão da meta *mover-texto*, para o exemplo citado anteriormente. O texto é movido através do uso do *cut* e *paste*. Para tal, o texto é primeiramente selecionado e então o *cut* é acionado. A seleção do texto pode ser feita de duas maneiras dependendo do tamanho do texto a ser selecionado. A meta *paste* requer posicionar o cursor no ponto de inserção e então acionar o *paste*.

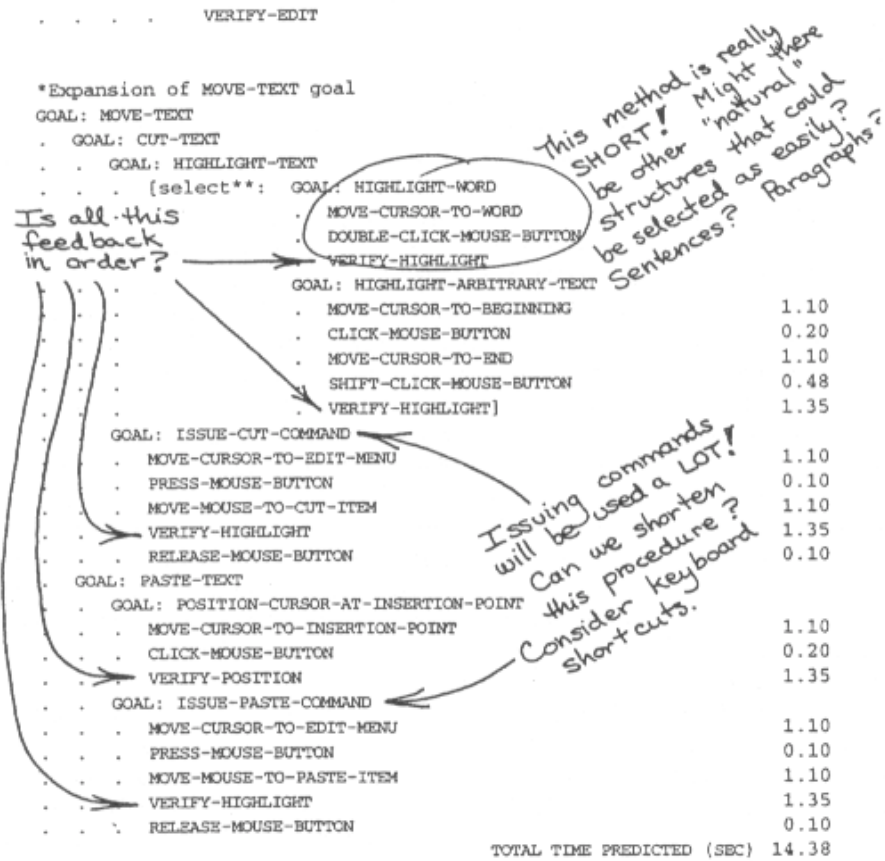


FIGURA 2.26 - ANÁLISE GOMS DA META MOVER-TEXTO (JOHN E KIERAS 1996B, P. 330)

Quantitativamente o método possibilita uma previsão da seqüência de operadores utilizados e tempo de execução requerido. Qualitativamente focaliza a atenção nos métodos necessários para a realização das metas. A Figura 2.26 mostra também, a título de ilustração, resultados apontados por um analista. É possível verificar, por exemplo, métodos similares, métodos muito grandes ou muito pequenos, pontos de feedback ao usuário, etc.

Atualmente existe na literatura uma família de modelos GOMS, definindo níveis de granularidade para a análise. Além da versão original, mais três variantes existem: o KLM (Keystroke Level Model), o NGOMSL (Natural GOMS Language) e o CPM GOMS (Cognitive Perceptual Motor GOMS).

KLM é uma simplificação do modelo original onde o analista lista a seqüência de operadores e o tempo de execução deles. São definidos 6 operadores diferentes: K para o pressionar de tecla ou botão, P para apontar um alvo na tela com o mouse, H para posicionar a mão sobre o periférico, D para desenhar segmento de reta, M para preparar mentalmente para uma ação e R para esperar tempo de resposta do sistema. Quantitativamente, o modelo fornece a previsão de tempo de execução para a tarefa. Qualitativamente o analista pode usar o modelo para identificar procedimentos recorrentes que poderiam ser combinados ou encurtados, por exemplo.

NGOMSL é uma notação em linguagem natural estruturada para representar modelos GOMS. O analista constrói o modelo realizando expansão *top-down* e em largura de metas, em métodos, até que os métodos contenham apenas operadores primitivos. Dessa forma a estrutura de metas fica explicitamente representada. Além de obter a seqüência de operadores e seu tempo de execução, o modelo também representa explicitamente o uso da MCD e MLD, estimando quanto de carga cognitiva o design exige e o tempo de aprendizado envolvido.

CPM GOMS não se restringe à seriação dos operadores, mas permite modelar algum grau de paralelismo na atividade do usuário. A análise chega ao nível em que operadores primitivos são atos perceptuais, cognitivos e motores, podendo ocorrer paralelismo de alguns. Usa diagramas PERT para representar operadores e suas dependências. A seqüência de operadores que produz o caminho mais longo é chamada de “caminho crítico”. A soma dos operadores nesse caminho estima o tempo total da tarefa.

O modelo GOMS e seus derivados estão relacionados à abordagem geral de análise de tarefas. Como tal, enfatizam os procedimentos que o usuário deve aprender e realizar para usar bem o sistema. A descrição desses procedimentos possibilita quantificar o tempo a ser gasto na realização da tarefa e no seu aprendizado. Além disso, tal descrição possibilita antever implicações de escolhas de design. Ao contrário de serem radicalmente diferentes, os modelos GOMS ocupam diferentes espaços na análise de diferentes arquiteturas de sistemas computacionais, produzindo previsões quantitativas e qualitativas para como as pessoas usarão determinado sistema. Uma discussão bastante abrangente dos modelos GOMS e de sua aplicação em design e avaliação de interfaces pode ser encontrada em John e Kieras (1996 a, b).

A comparação entre alternativas de design é o uso mais óbvio para técnica baseada em GOMS. Documentação do sistema e *help online* também podem beneficiar-se diretamente de descrições do modelo GOMS. Kieras (1997) mostra, usando NGOMS, o resultado da comparação do PC-DOS com o Macintosh, para a tarefa de mover e deletar arquivos e diretórios. Os sistemas são comparados quanto ao número de métodos requeridos para o conjunto de metas, comprimento dos métodos e tipo de operações realizadas (perceptual, cognitiva, motora). Como resultado da análise o autor mostra que uma vantagem relevante do Mac é o tempo de

treinamento requerido comparado com linguagens de interfaces de comando. Enquanto o PC-DOS usa 12 métodos, com um comprimento total de 72 linhas, o Mac usa 3 métodos generalizados, com comprimento total de 15 linhas. O uso de poucos métodos generalizados para cobrir as metas mostra a consistência e o fator de facilidade de uso da interface do Mac.

Esse resultado mostra também a essência da manipulação direta. Enquanto o Mac usa essencialmente operadores perceptual-motores (localizar ícone é busca visual, mover cursor é movimento guiado visualmente), o PC-DOS usa operadores que demandam maior esforço cognitivo do usuário: recuperar informação da MLD para nomes de comandos, mantê-la na MCD; além disso, a estrutura dos métodos para entrar e executar comandos é complexa. Embora, a grosso modo, essa comparação seja justa, há esforço cognitivo envolvido também no “localizar ícone”, pois, como veremos no próximo capítulo nem tudo que chamamos de ícone realmente o é; sinais gráficos codificados simbolicamente exigem esforço cognitivo de interpretação do usuário.

Enquanto os modelos GOMS e MPIH são aproximações razoáveis para modelar aspectos quantificáveis da interação com computadores, muito mais entendimento é necessário para captar os processos de pensamento humano subjacentes à interação com sistemas computacionais, conforme veremos na próxima seção.

MODELOS MENTAIS

“If the organism carries a “small-scale model” of external reality and of its own possible actions within its head, it is able to try out various alternatives, conclude which is the best of them, react to future situations before they arise, utilize the knowledge of past events in dealing with the present and future, and in every way to react in a much fuller, safer, and more competent manner to emergencies which face it.” (Craik, 1943, p.57, apud Preece *et al.* 1994)

O que é um modelo mental? Modelos mentais (MM) são explicados pela Psicologia Cognitiva com respeito a sua estrutura e função no raciocínio humano e no entendimento de linguagem. São representações analógicas, ou combinações de representações analógicas e proposicionais; são relacionados a imagens, embora diferentes destas. Ingenuamente poderia ser feita a seguinte analogia: enquanto uma imagem é uma tomada (um quadro) num filme, um modelo mental seria um pedaço desse filme. Stagers e Norcio (1993) acreditam que objetos nos modelos mentais são relacionados a entidades perceptuais. Norman (1983) considera o MM como uma representação dinâmica sobre qualquer sistema ou objeto, que evolui naturalmente na mente de um sujeito.

Modelos mentais são acionados quando nos é requerido fazer inferências ou previsões a respeito de determinado assunto. Tente responder *quantas janelas tem sua casa* e observe o processo que você usa para responder. Não parece provável que tenhamos um conhecimento específico armazenado, de quantas janelas tem nossa casa. O que normalmente fazemos é uma “execução” de um modelo mental, imaginando-nos em cada cômodo da casa, ou percorrendo a casa pelo lado de fora, contando as janelas...

Interagindo com o ambiente, com outros e com artefatos tecnológicos, as pessoas formam modelos mentais delas próprias e das coisas com as quais estão interagindo. As concepções espontâneas de fenômenos físicos, são também modelos mentais que as pessoas usam para explicar fenômenos da natureza. O entendimento das pessoas sobre os artefatos com os quais interagem é fraco, especificado imprecisamente e cheio de inconsistências, “buracos” e artimanhas idiossincráticas. Modelos mentais são incompletos. A habilidade das pessoas para “executar” seus modelos mentais é limitada pelos mecanismos perceptual e cognitivo. Modelos mentais são instáveis pelas próprias restrições e interferências da memória: as pessoas esquecem detalhes do sistema que estão usando, artefatos e operações similares são confundidos. Modelos mentais não são “científicos”: as pessoas mantêm comportamento supersticioso em seus modelos e freqüentemente fazem operações físicas extras em vez de planejamento mental que possibilite evitar essas ações (Norman, 1983). Chandra e Blockley (1995) argumentam que mesmo nas raízes das teorias científicas e sistemas axiomáticos, há uma camada que é primitiva no sentido de que não é explicada ou justificada explicitamente dentro dos sistemas.

Usuários interagindo com artefatos tecnológicos, desenvolvem dois tipos principais de modelos mentais: estrutural e/ou funcional. Se pensarmos, por exemplo, num mapa de metrô (o de Londres é um exemplo típico), o mapa provê uma estrutura que passageiros regulares aprendem a internalizar e usam para responder “*como ir de A para B*”. Ao mesmo tempo, há conhecimento necessário para “*como usar o sistema*”: o passageiro deve comprar o bilhete certo, no local certo, deve saber o que fazer com o bilhete, como entrar e sair dos trens, etc. para isso há a necessidade de um modelo funcional do sistema.

No modelo mental estrutural (MME) é assumido que o usuário internalizou, na memória, a estrutura de como o artefato funciona. MMEs são usados para descrever a mecânica interna de uma máquina ou sistema em termos de suas partes componentes. O MME atua como substituto da coisa real. Ao explicar como a máquina ou sistema funciona o usuário tem a possibilidade de prever os efeitos de seqüências de ações. Tais modelos são extremamente úteis quando a máquina “quebra” ou ocorre um erro na interação com o sistema. *Será que as pessoas, de um modo geral, desenvolvem naturalmente esse tipo de modelo?* Podemos pensar no carro que usamos todo dia, na TV, no telefone, etc.

No modelo mental funcional (MMF) o usuário internaliza conhecimento procedimental sobre como usar a máquina ou sistema. Nesse modelo as pessoas em vez de desenvolverem o “manual na cabeça” simplesmente desenvolvem um modelo de “como fazer”. O MMF se desenvolve a partir de conhecimento anterior de um domínio similar; parece haver um mapeamento tarefa-ação.

Como modelar o MM de determinada pessoa sobre determinado sistema?

Considere t um sistema-alvo, $C(t)$ o modelo conceitual de t , $M(t)$ o modelo mental do usuário sobre o sistema t e $C(M(t))$ nossa conceituação sobre um modelo mental. Sujeitos são convidados a “pensar alto” enquanto interagem com o sistema t . São feitos registros da interação (observação, vídeos, gravações, etc.). Os protocolos gerados da descrição do sujeito para suas ações e atividades fornecem pistas do modelo mental desse sujeito para o sistema ou artefato com o qual está interagindo. A literatura acadêmica tem mostrado que a atividade de programar requer acesso a algum tipo de MM (Mayer, 1981; Du Boulay e O'Shea, 1981; Cañas *et al.* 1994). Exemplos bastante interessantes de MM de sujeitos novatos aprendendo a programar ilustram de forma simples o conceito de modelo mental.

Rocha (1991) analisa as dificuldades no aprendizado de programação e propõe representações computacionais auxiliares a esse processo. A partir da análise dos modelos mentais que as pessoas constroem sobre como o código de um programa controla as operações do computador propõe um modelo conceitual cujas componentes são as mais relevantes na formação de um correto modelo mental do funcionamento de um computador. Define que a natureza dos modelos mentais de programação é o de modelo substituto: como um aeromodelo, que permite simular o sistema objetivo e pode ser usado para responder perguntas sobre seu funcionamento. A característica básica é o fato de poderem ser executados.

Resultados de observação de novatos aprendendo a programar em Prolog mostram que, em geral, os novatos usam um MM inicial do sistema que é baseado no discurso da língua natural e em formalismos de outras linguagens de programação. Os exemplos a seguir, mostram concepções de novatos aprendendo a programar em Prolog, como um reflexo de seus modelos mentais do sistema.

Através da lógica o computador responde perguntas, como se ele estivesse pensando (impossível), mas parece... (Baranauskas 1995, p. 100)

... considere o problema de procurar o n-ésimo elemento de uma lista, e a solução apresentada:

Elemento([X],I,X).

Elemento([X|Y],N,Z):- preciso escrever algo para “caminhar” na lista, só que “aqui” eu não sei como “caminhar” na lista. Como “eu pego” um elemento nessa lista? (Baranauskas 1995, p. 103)

O mesmo trabalho anterior mostra, ainda, como os $M(t)$ s evoluem em direção ao $C(t)$, à medida que o processo de aprendizagem da linguagem evolui. O uso de um $M(t)$ baseado no paradigma procedimental é um dos grandes responsáveis pela dificuldade de novatos no aprendizado de linguagens baseadas no paradigma da lógica e no paradigma funcional (Baranauskas, 1991). Suspeitamos que o mesmo resultado também explique a dificuldade de novatos com o paradigma orientado a objetos.

A observação de MMs, deve considerar fatores externos que influenciam $M(t)$ e $C(M(t))$. Norman (1983) cita, por exemplo, o sistema de crenças: o $M(t)$ de uma pessoa reflete seu sistema de crenças sobre o sistema físico t . Esse sistema de crenças é construído pelo sujeito através de observação, instrução ou inferência. Também, deve haver uma correspondência entre os parâmetros e estados do MM e aspectos e estados do sistema físico que o sujeito pode observar. O objetivo do MM é permitir à pessoa entender e antecipar o comportamento de um sistema físico podendo executar “mentalmente” o seu modelo.

Porque Modelos Mentais?

As Ciências Cognitivas podem nos ajudar a entender as estruturas incompletas, indistintas e confusas que as pessoas têm a respeito dos artefatos tecnológicos. Como designers é nossa obrigação desenvolver sistemas para o usuário final que o ajude a construir modelos mentais adequados à sua interação com o sistema. Assim, conceituar o conhecimento do usuário em termos de modelos mentais pode ajudar o designer a desenvolver interfaces apropriadas.

A operação de qualquer artefato seja ele uma garrafa de cerveja a ser aberta, uma planta nuclear ou um sistema computacional, será mais simples se tiver um bom modelo conceitual. É tarefa do designer, com base nos princípios apresentados, construir um modelo conceitual para o artefato, adequado ao uso. Norman (1986) distingue 3 tipos de modelos associados ao artefato: o modelo do designer, o modelo do usuário e a imagem do sistema (Figura 2.27). Os modelos do designer e do usuário são modelos mentais. Conforme discutido anteriormente, as pessoas formam modelos mentais de si próprias, das coisas e das pessoas com as quais interagem. Esses modelos provêm poder de predição e explicação, necessários para condução da interação.

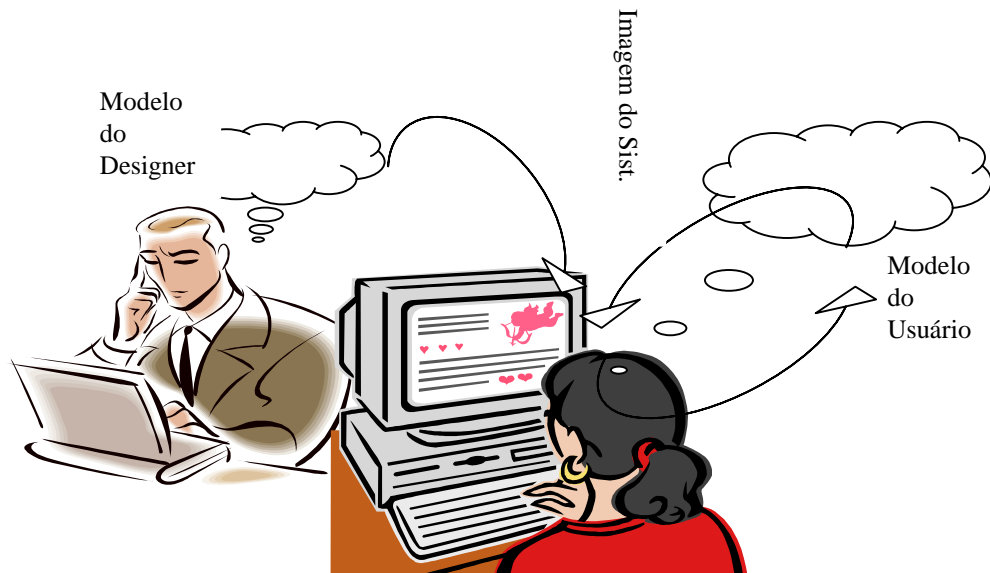


FIGURA 2.27 - TRÊS ASPECTOS DE MODELOS MENTAIS

O Modelo do Designer é a conceituação que o designer tem em mente sobre o sistema. O Modelo do Usuário é o que o usuário desenvolve para entender e explicar a operação do sistema. A aparência física, sua operação e a forma como responde, somados ao *help online* de manuais de instrução formam a “Imagem do Sistema”. O designer deve assegurar que a imagem do sistema seja consistente com seu modelo conceitual, uma vez que é através da imagem do sistema que o usuário forma seu modelo mental. Idealmente, ambos Modelo do Designer e Modelo do Usuário deveriam coincidir.

Em ambientes de programação já temos visto esforços, no sentido de tornar visíveis ao usuário, certas operações do sistema. Gentner e Stevens (1983) postulam que os modelos mentais são formados pela estruturação de analogias e metáforas, especialmente em domínios não familiares. Como já introduzido no capítulo anterior, as metáforas desempenham um papel importantíssimo no processo de facilitar ao usuário a construção de um modelo mental adequado à interação com o sistema. No Capítulo 3 voltaremos ao assunto abordando métodos sistemáticos que incorporam metáforas ao design de interfaces.

REFERÊNCIAS:

- Baranauskas, M.C.C. (1991) Procedure, Function, Object or Logic?, *Proceedings of the Eighth International Conference on Technology and Education*, Toronto, Canadá, p. 730-731.
- Baranauskas, M.C.C. (1995) Observational Studies about Novices Interacting in a Prolog Environment based on Tools, *Instructional Science an International Journal of Learning and Cognition*, 23(1-3): 89-109.
- Cañas , J.J., Bajo, M.T. Gonzalvo, P. (1994) Mental Models and Computer programming. *Int. J. Human-Computer Studies*, 40,795-811.
- Card, S. K. ,Moran, T.P. e Newell A. (1983) *A Psicologia da Interação Humano-Computador*, Hillsdale, NJ: Laurence Erlbaum Ass..
- Carrol, J.M. e Olson, J.M., (1988a) Mental Models. Em *Handbook of Human-Computer Interaction*, M. Helander (ed), Amsterdam:North Holland.
- Carrol, J.M. e Olson, J.M.,(1988b) Interface Metaphors and User Interface Design. Em *Handbook of Human-Computer Interaction*, M. Helander, (ed), Amsterdam:North Holland.
- Chandra, S. Blockley, D.I. Cognitive and Computer Models of Physical Systems. *Int. J. Human-Computer Studies*, 43,539-559.
- Du Boulay, B., O'Shea, T. (1981). Teaching Novices Programming. Em *Computing Skills and the User Interface*, M. Coombs e J. Alty (eds). London: Academic Press.
- Fame (1999) *Hall of Fame*. <http://www.iarchitect.com/mfame.htm>. Consulta em 4/4/2000.
- Gentner, D. Stevens, A.L. (1983) *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum
- Hutchins, E.(1990) the Technology of Team Navigation . Em *Intellectual Teamwork* J. Galegher, R.E. Kraut e C. Edigo (eds) Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Ass..
- John, B.E., Kieras, D.E. (1996a) Using GOMS for User Interface Design and Evaluation: Which Technique? *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 3(4):287-319.
- John, B.E., Kieras, D.E. (1996b) The GOMS Family of User Interface Analysis Techniques: Comparison and Contrast. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 3(4):320-351.

Johnson-Laird P.N.,(1989) Mental Models. *Em Foundations of Cognitive Science* M.I. Posner (ed), Cambridge, MA: MIT Press.

Kieras, D. (1997) A Guide to GOMS Model Usability Evaluation using NGOMSL. *Em Handbook of Human-Computer Interaction*, M. Helander, T.K.Landauer, P. Prabhu (eds) Elsevier Science, p. 733-766.

Laurel, B. (1990) *The Art of Human-Computer Interface Design*. Reading, Mass.:Addison-Wesley.

Lakoff, G. e Johnson, M.(1980) *Metaphors we Live By*. Chicago:University of Chicago Press.

Lindsay, P.H. e Norman, D.A.(1972) *Human Information Processing An Introduction to Psychology*, Academic Press Inc..

Mayer, R.E. (1981) The Psychology of how Novices Learn Computer Programming. *Computing Surveys*, 13,121-141

Norman, D.A. (1983) Some Observations on Mental Models. *Em Mental Models*, D. Gentner e A.L. Stevens (eds), Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Norman, D. A. (1993) *Things that make us Smart*, Addison Wesley Publishing Company.

Preece, J., Rogers, Y., Sharp, H., Benyon, D., Holland, S., Carey, T.(1994) *Human-Computer Interaction*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.

Rocha, H. (1991) *Representações Computacionais Auxiliares ao Processo de Ensino/Aprendizagem de Conceitos de Programação*, Tese de Doutorado, FEEC, Unicamp.

Sacks, O (1995) *Um Antropólogo em Marte*, SP:Companhia das Letras.

Shame (1999) *Hall of Shame*. <http://www.iarchitect.com/mshame.htm>. Consulta em 4/4/2000.

Staggers, N., Norcio, A.F. (1993) Mental Models: Concepts for Human-Computer Interaction Research. *International Journal of Man-Machine Studies*, 38,587-605.

Suchman, L. (1999) From Interactions to Integrations, *Atas do II Workshop sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais, IHC'99* Campinas, SP p. 3.