

Ergonomia Cognitiva

Processamento da
Informação
IHC
Engenharia de
Sistemas Cognitivos
Erro Humano

Lia Buarque de Macedo Guimarães
organizadora

3ª edição

Série monográfica

Ergonomia

Série Monográfica Ergonomia

Ergonomia Cognitiva

3ª edição

Processamento da Informação, IHC, Engenharia
de Sistemas Cognitivos, Erro Humano

Editado por

Lia Buarque de Macedo Guimarães, PhD, CPE

Publicado por

FEENG - Fundação Empresa Escola de Engenharia da UFRGS

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção

Porto Alegre, RS



2006

E67 Ergonomia cognitiva: processamento da informação, IHC, engenharia de sistemas cognitivos, erro humano / editado por Lia Buarque de Macedo Guimarães. - 3. ed. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2006. - (Série monográfica ergonomia)

ISBN 85-88085-31-3

1.Ergonomia. I.Guimarães, Lia Buarque de Macedo, ed. II. Série.

CDU-65.015.11

2006 by Lia Buarque de Macedo Guimarães
Direitos em língua portuguesa para o Brasil adquiridos por

FEENG - Fundação Empresa Escola de Engenharia da UFRGS
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção

Praça Argentina, 9 - 2º andar
90040-020 Porto Alegre - RS - Brasil
Tel.: (0xx51) 3316 3490/3316 3948/3316 3491
fax: (0xx51) 3316 4007
e-mail: ergo@producao.ufrgs.br

Projeto Gráfico

Lia Buarque de Macedo Guimarães

Editoração Eletrônica

Denise Martins Chagas

Revisão

Simone Antunes da Silva e Lia Buarque de Macedo Guimarães

Ilustração da capa

Tarsila do Amaral, *Sol Poente*, 1929
óleo s/tela 54 X 65 cm
Coleção Jean Boghici



Ergonomia Cognitiva

- 1** **Introdução à Ergonomia Cognitiva ou Ergonomia de Software**
Lia Buarque de Macedo Guimarães
- 2** **Ergonomia Cognitiva: Aquisição do Conhecimento**
Francisco Antônio Pereira Fialho
- 3** **Detecção e Percepção de Sinais**
Lia Buarque de Macedo Guimarães
- 3.1** **Avaliação de Conforto e Desconforto**
Júlio Carlos de Souza van der Linden
- 4** **Memória e Atenção**
Lia Buarque de Macedo Guimarães
- 5** **Tomada de Decisão e Controle Cognitivo**
Lia Buarque de Macedo Guimarães
- 6** **Avaliação de Carga de Trabalho Mental**
Raimundo Lopes Diniz & Lia Buarque de Macedo Guimarães
- 7** **Interface Humano-Computador**
Lia Buarque de Macedo Guimarães
- 7.1** **Concepção de Projetos de Software: Questões que importam na Qualidade em Uso**
Rosimeire Sedrez Bitencourt & Lia Buarque de Macedo Guimarães
- 8** **Engenharia de Sistemas Cognitivos**
Lia Buarque de Macedo Guimarães
- 8.1** **A Complexidade do Erro, "Erro Humano" e Sistemas Complexos**
Lia Buarque de Macedo Guimarães
- 8.2** **Análise de Confiabilidade de Sistemas Humano-Máquina**
Daniela Fischer & Lia Buarque de Macedo Guimarães

1

Introdução à Ergonomia Cognitiva ou Ergonomia de Software

Lia Buarque de Macedo Guimarães

De início, durante a era da automação, as questões com que a Ergonomia mais se deparava diziam respeito à relação mais física entre o homem e seu trabalho. As análises focavam nas exigências físicas do ambiente de trabalho, e as questões mais frequentes envolviam conhecimentos de antropometria, biomecânica e fisiologia, que foram a base da 1ª fase da Ergonomia ou Ergonomia Física: Trabalhar sentado por oito horas causará problemas nas costas? Tal intensidade de ruído poderá causar perda auditiva? Tal *display* gera problemas de visão? Basicamente, o que estava em pauta era a saúde e segurança do trabalhador.

No entanto, a partir da década de 1970, o desenvolvimento da microinformática transformou radicalmente a relação humano-máquina: mudaram o trabalho e a máquina. Se na era industrial a produção se dava sobre objetos mecânicos, físicos (manipulação de controles de uma máquina, por exemplo), na era da informatização é a informação que é manipulada. Em outras palavras, o trabalhador não mais manuseia um determinado produto mas, sim, controla a máquina que está operando sobre esse produto. A diferença entre as máquinas da era da automação e as máquinas da era da informatização é bastante importante: aquelas atuam como extensões para ampliação da ação física do ser humano ao passo que estas atuam como extensões do cérebro. Na interface das máquinas industriais, os elementos perceptual e psicomotor estão onipresentes e os controles são analógicos: a manipulação ou operação dos controles, pedais ou alavancas de uma máquina, percepção de sinais, tais como ruído ou aquecimento do motor. Enquanto as máquinas industriais mecânicas têm comandos basicamente unifuncionais, exigindo ação sobre uma única tarefa, as máquinas computadorizadas têm caráter multifuncional e podem, teoricamente, ter um número infinito de aplicações.

As tarefas informatizadas apresentam maior carga na dimensão cognitiva pois a computadorização impôs uma interação digitalizada onde a operação é simbólica com ênfase na entrada e resgate de dados. Por exemplo, um telefone da era industrial servia como telefone e só telefone. Hoje, devido o advento do microprocessador, um telefone pode ser ao mesmo tempo máquina de fax, secretária eletrônica, máquina copiadora etc. Apesar da relação física que ainda existe entre o homem e o computador (acionando teclado, mouse, disquetes, botões) a relação é sobretudo cognitiva, já que o que mais está em atuação são os fatores relacionados aos processos cognitivos tais como atenção, memória, processamento de informação e tomada de decisão. É claro que estes fatores têm relação direta com a dimensão psíquica, mas se não originam conflitos é porque não há sobrecarga nesta dimensão e, portanto, o enfoque é mais cognitivo.

Sob um ponto de vista mais objetivo, não é difícil compreender o que se passa no cérebro. Lendo este texto, por exemplo, cujo corpo foi escrito com um tipo serifado (Times New Roman) destacado dos títulos em tipo sem serifa (Arial) para facilitar a leitura (veja no *Capítulo 3*), os fótons atingem a retina, sinais elétricos passam pelo nervo óptico até diferentes áreas no cérebro sendo que pode-se responder ao que se está lendo com expressão de interesse, ou até perplexidade. Existe sempre a questão subjetiva: quando você lê este texto, você tem consciência dele, fazendo com que as imagens e palavras sejam parte de sua vida mental. Você vê ou sente, forma um pensamento e tem emoções sobre o que experimentou. Tudo isto, junto, forma o consciente, a vida subjetiva, mais interior da mente.

Durante muito tempo, os estudiosos dividiam o que era cérebro e o que era mente. Isto porque a ciência, que deve se basear na objetividade, não tinha espaço para subjetividades, tal como a consciência. O movimento behaviourista ou comportamentalista na psicologia, dominante no começo do século XX, concentrava-se no comportamento exterior e não aceitava nenhuma abordagem quanto aos processos mentais internos. Só mais tarde, com o advento das ciências cognitivas, foi dada atenção aos processos que se dão dentro do cérebro. Nos últimos anos, um número cada vez maior de neurocientistas, psicólogos e filósofos rejeitaram a idéia de que a mente ou a consciência não pode ser estudada. Os pontos de vista destes estudiosos vão desde o reducionismo até o misticismo. Às teorias reducionistas consideram que a consciência pode ser explicada pelos métodos convencionais da neurociência e da psicologia. As teorias mais místicas consideram que a consciência nunca será compreendida. Pode-se buscar um meio termo

entre as duas posições: talvez as ferramentas atuais da neurociência não possam explicar a mente. No entanto, isto poderá ocorrer com o advento de uma nova teoria.

Neurose das telefonistas

É importante notar, no entanto, que apesar de hoje o conteúdo da tarefa ser predominantemente mental, os trabalhadores se queixam de perturbações físicas como dores nas costas, no pescoço, ardor nos olhos, dor de cabeça etc, devido, inclusive, à forte concentração mental. Wisner (1994) comenta que, já em 1952, um psiquiatra, Dr. Le Guillant, mostrou a importância das exigências cognitivas do trabalho das telefonistas e das reações a estas. A "neurose das telefonistas" consistia de cefaléias, zumbidos, pensamentos obsessivos de trabalho, alterações de sono, humor etc. Estas perturbações ocorriam não só durante o trabalho, mas também durante o descanso, nos dias de folga e início das férias. De lá para cá, detectou-se o mesmo tipo de problemas em outras situações de trabalho com alto esforço mental tais como, perfuradores de cartão, empregados em indústria eletrônica, operadores de computador.

em todo trabalho sempre vão existir ao menos três aspectos: o físico, o cognitivo e o psíquico. Na Ergonomia Cognitiva, atenta-se para a carga cognitiva

Fica claro, então, que em todo trabalho sempre vão existir ao menos três aspectos: o físico, o cognitivo e o psíquico (definido nos níveis de conflito, consciente ou inconsciente, entre a pessoa (ego) e a situação (a organização do trabalho) cada um deles podendo determinar uma sobrecarga. Estes aspectos estão inter-relacionados, tornando frequente, mas não necessário, que uma sobrecarga em um dos aspectos seja acompanhada por uma carga elevada nos outros dois (Wisner, 1987). A abordagem ergonômica vai depender de qual dos três aspectos tem maior ênfase.

o foco de interesse da Ergonomia Cognitiva saúde e segurança do processo

Para estudar este novo sistema humano-máquina da era da informação, que exige mais da capacidade mental dos trabalhadores, desenvolve-se a Ergonomia Cognitiva. As análises focam nas exigências cognitivas do ambiente de trabalho e as questões a serem respondidas são do tipo: Trabalhar sentado por oito horas causa redução de atenção? Tal intensidade de ruído poderá fazer com que o operador não perceba um determinado sinal? Tal display gera problemas de entendimento da informação?

desvio de atenção abate um avião

Exemplo típico de estudo na área cognitiva é o acidente do avião Lockheed L-1011, da Eastern Airlines 401, que, em 1972, caiu no Parque Nacional de Everglades da Florida, com 176 pessoas a bordo, das quais morreram 99. Conforme Wickens (1984), um desvio de atenção do painel de controle impossibilitou os três tripulantes de notarem que o

piloto automático estava desligado. A atenção estava concentrada na luz verde indicativa de trem de aterrissagem, piscando no painel. Esta situação de “alarme” fazia sentido porque a aterrissagem estava próxima e a tripulação entendeu que poderia haver uma falha no trem de pouso. A análise do acidente mostrou, no entanto, que a luz verde piscando no painel era apenas um mal contato. Basicamente, exemplos como este da Ergonomia Cognitiva mostra que o que está em pauta é a saúde e segurança do processo.

Psicologia Experimental, Psicologia da Engenharia, Engenharia Cognitiva

Para melhor caracterização do campo da Ergonomia Cognitiva, é importante conceitualizá-la frente a outras duas áreas de interface: a **Psicologia Experimental**, cujo enfoque é descobrir leis sobre comportamento humano com base em experimentos e não necessariamente tem orientação prática. A **Psicologia da Engenharia**, que especifica capacidades e limitações do ser humano com base em dados experimentais que podem ser úteis na seleção de alternativas projetuais mais favoráveis. O objetivo da **Ergonomia**, como ciência e estudo aplicado, é transpor o conhecimento sobre o comportamento humano para o projeto de sistemas compatíveis com a capacidade dos seres humanos, tomando como base os dados levantados na psicologia da engenharia, a qual pode ser considerada parte da Ergonomia. A disciplina que usa este conhecimento da Ergonomia Cognitiva e da Psicologia da Engenharia na solução de problemas de engenharia, que vem se tornando cada vez mais complexos com o desenvolvimento da tecnologia, é conhecida como **Engenharia Cognitiva**. Neste livro, tendo em vista a proximidade entre as disciplinas, pelas ferramentas de análise que usam e objetivos, entende-se que a Ergonomia Cognitiva, a Psicologia da Engenharia e a Engenharia Cognitiva são basicamente iguais.

breve histórico dos centros pioneiros em IHC

A Ergonomia tem caráter multidisciplinar, contando com estudiosos engenheiros, designers, médicos, psicólogos, entre outros, que objetivavam um mesmo gol. A polivalência da área torna difícil traçar um perfil exato da comunidade de pesquisa atuante no mundo mas, em linhas gerais, pode-se montar um breve histórico dos centros pioneiros desde o advento da tecnologia informatizada. O primeiro congresso sobre as questões referentes à interação entre o homem e o computador foi o “*IBM Scientific Computing Symposium on Man-Machine Communication*”, em 1965. Em 1970, foram fundados dois centros de pesquisa em Ergonomia cognitiva. O “*Research Group on Human Sciences and Advanced Technology*” (HUSAT) na Universidade de Loughborough, Inglaterra, e o “*Palo Alto Research Center*” (PARC) da Xerox Corporation, nos Estados Unidos.

O campo da Ergonomia Cognitiva evoluiu mais rapidamente nos Estados Unidos do que na Europa, devido ao apoio das empresas. Enquanto que na Europa a maior parte das pesquisas é desenvolvida nas universidades e agências governamentais, a pesquisa nos Estados Unidos acontece na Xerox e na IBM, além dos laboratórios militares. Duas sociedades importantes em Ergonomia, a *Ergonomic Society*, na Inglaterra, e a *Human Factors and Ergonomics Society*, nos Estados Unidos, são dois dos veículos de difusão das pesquisas em Ergonomia para todo o mundo.

Sempre considerando os fatores cognitivos envolvidos no sistema humano-máquina, desde a detecção de sinais até o processamento de informação, tomada de decisão e resposta, os estudos mais comuns na área cognitiva são as interfaces humano-máquina (principalmente *displays*), o comportamento de trabalho em grupo, trabalho em situações complexas, erros e acidentes, com vistas a maximizar o desempenho humano e reduzir perdas.

o impacto da informatização na complexidade da interação entre humanos e máquinas

Da mesma forma que na época das máquinas energizadas a vapor, eletricidade e petróleo, a ênfase na era da microeletrônica é dada ao funcionamento eficaz. O projeto de computadores, a implantação de centros de processamento de dados, a geração de sistemas de informação e programas aplicativos contemplam primordialmente o funcionamento - a capacidade e velocidade dos componentes, a conservação, a manutenção das máquinas, a rapidez no uso. A interação entre as máquinas e os seus usuários raramente foi uma consideração a priori e, no caso da informatização, nada mudou. Continua a concepção tecnocrata de projetos a partir de duas entidades separadas: de um lado, o ser humano (geralmente considerado a parte frágil do sistema) e do outro, a máquina (que geralmente é a parte "inteligente" e que vai compensar a incompetência humana). Porque um sistema não pôde ser eficiente se concebido desta forma, continuam os erros e os acidentes. Vicente (2004) apresenta o caso do controle do serviço de ambulâncias em Londres, na Inglaterra: o sistema foi concebido para ser gerido automaticamente, pois o computador iria receber as chamadas, identificar a ambulância mais próxima e enviá-la para o local necessitado. Tudo deu certo enquanto o número de chamadas era pequeno. Mas quando o número aumentou, o sistema não deu conta, os chamados foram se avolumando, inclusive em função de duplicação de chamadas, e o atendimento médio ficou em torno de três horas ao invés dos dezessete minutos projetados. O colapso deve-se à visão tecnocrata do projeto: os projetistas não previram tal acúmulo de demanda e a minimização/eliminação do ser humano do sistema não

permitiu recobrar os problemas e adaptar às situações de emergência. Exemplos como este mostram que por mais que se tente sanar as falhas humanas e eliminar o erro por meio de sistemas automatizados, de *expert systems* etc., não se consegue prescindir do ser humano como controlador e interveniente em situações de crise. A ele, por sua característica de adaptação (que a máquina não tem) cabe inclusive intervir e decidir nos momentos de pane total. O que se agrava a partir da informatização é o grau de complexidade e consequente comprometimento de algum tipo de falha no sistema humano-máquina.

Decisões erradas na usina química da Union Carbide

Os estudos de acidentes recentes permite compreender melhor a situação dos trabalhadores em sistemas complexos. As causas determinantes da catástrofe da usina química da Union Carbide em Bhopal, Índia, em 1984, foram decisões erradas no âmbito técnico e industrial que resultaram no desmantelamento do dispositivo humano e de segurança. Uma das conclusões de uma enquete do jornal americano New York Times, que o francês Le Monde reproduziu em 30 de janeiro de 1985 (Montmollin, 1986), foi que os empregados que descobriram o escapamento comunicaram-no a um contramestre, que lhes respondeu que verificaria o problema depois de tomar seu chá. Este mesmo contramestre declarou, no entanto, que apenas fora informado de um escapamento de água.

A Ergonomia mostra que as comunicações no interior de uma equipe de trabalho ou entre equipes de trabalho constituem um componente extremamente crítico dos sistemas industriais. Estudam-se as comunicações segundo seus aspectos acústicos - particularmente em ambientes ruidosos -, a partir do ponto de vista da semântica- para suprimir as ambigüidades e os erros de interpretação -, e de acordo com as características organizacionais - quem se comunica com quem.

Por outro lado, a dificuldade dos operadores em estimar corretamente a duração dos processos físicos e químicos, e, conseqüentemente, o prazo de que dispõem, é uma constatação dos ergonomistas que estudam os processos contínuos.

A matéria do New York Times declara que os empregados disseram que, em desacordo com o regulamento, a direção da fábrica desativara uma unidade de resfriamento de gás, vários meses antes do acidente.

A Ergonomia demonstra que a realidade nunca se apresenta conforme os regulamentos. Assim, não se preconiza um refinamento suplementar dos regulamentos nem o recurso ilusório às sanções. É mais plausível centrar esforços numa organização e numa divisão de trabalho que for-

neçam aos trabalhadores conhecimentos que lhes possibilitem verificar, por si próprios, os fatores essenciais de segurança.

Em continuação, o New York Times afirma que o escapamento começou duas horas depois que um trabalhador - cuja formação não era adequada - recebeu a ordem de limpar uma tubulação cuja vedação não estava perfeita - contrariamente, mais uma vez, às normas de segurança. Os trabalhadores estimaram que a reação química que desencadeou a catástrofe provavelmente teve este fato como origem.

De acordo com os parâmetros da Ergonomia, a formação insuficiente dos trabalhadores encontra-se entre as principais causas de acidentes desse tipo. Não se trata somente da formação geral, escolar ou técnica, mas sobretudo da formação específica em relação direta com as características da tarefa a executar e do sistema a controlar. A partir da análise da tarefa, a Ergonomia permite determinar os temas sobre os quais deve-se desenvolver e melhorar as competências dos operadores.

Desastre nas usinas nucleares de Three Mile Island e Tchernobyl

Devido ao escapamento de gases tóxicos, pelo menos 2500 residentes em Bhopal morreram na madrugada de 3 de dezembro de 1984. Milhares de outras pessoas sofrem de problemas respiratórios e neurológicos. O depoimento do representante da Union Carbide sobre a tragédia serviu para mostrar seu pesar pelas vítimas e também o grau de entendimento sobre as reais causas do acidente: *"... nossas regras de segurança nos Estados Unidos são idênticas àquelas na Índia, no Brasil ou qualquer outro lugar. O mesmo equipamento, o mesmo design, o mesmo tudo"* (Casey, 1993).

Na usina nuclear de Three Mile Island, na Pensilvânia, em março de 1979, o desastre foi causado por erro de concepção do sistema de informações e de controle da central que não permitia fazer a tempo o diagnóstico das panes. Em Tchernobyl, a causa foi o modo de produção de eletricidade e os envoltórios de proteção. Estas catástrofes são uma boa ilustração de que a natureza das operações envolvidas nesse tipo de sistema são extremamente complexas, e nada comparável à simplicidade de ajustar um termostato do sistema de ar condicionado na sala de estar. A complexidade reside justamente no fato de que estas atividades sobrecarregam não a parte física do ser humano, mas a parte cognitiva, envolvendo processos sensoriais e psíquicos, que são responsáveis pelo processamento de toda a informação captada do meio ambiente.

Este livro pretende mostrar as bases da Ergonomia Cognitiva e sua

evolução desde os primórdios da computadorização, que levou à ênfase no paradigma do processamento da informação até a visão contemporânea da Engenharia dos Sistemas Cognitivos. As questões básicas em cognição, ou seja, a aquisição de conhecimento por meio da detecção de informação, alocação de atenção, memória e tomada de decisão são apresentadas nos *Capítulos 2, 3, 4 e 5* respectivamente. Este conhecimento é a base da interação humano-computador (IHC), que foi o desafio da 3ª fase da ergonomia, desde o surgimento do computador e sua utilização em massa a partir dos anos 80. O *Capítulo 6* aborda a avaliação da carga mental de trabalho tendo em vista a intensificação das exigências cognitivas em função da informatização dos postos de trabalho. A aplicação do conhecimento sobre cognição no projeto de interfaces computadorizadas é apresentada nos *Capítulos 7 e 7.1*. O *Capítulo 8* é dedicado à Engenharia de Sistemas Cognitivos que, segundo seus seguidores, amplia a visão simplificada dos seres humanos como um sistema de processamento de informação (que para eles é o que se propõe a Ergonomia Tradicional e a Cognitiva), para uma visão sistêmica entre atores, processos e relações que emergem nas interseções entre pessoas, tecnologia e trabalho. Esta abordagem foi oficialmente divulgada no início do século XXI (apesar de seus autores, Eric Hollnagel e David D. Woods, a terem formulado em 1983) tendo possibilitado uma nova visão sobre as circunstâncias de ocorrência de erros e falhas em sistemas complexos, que são os tópicos dos *Capítulos 8.1 e 8.2*.

À Engenharia de Sistemas Cognitivos, e dentro dela, à Ergonomia Cognitiva, interessa investigar todos os fatores que importam na relação entre o ser humano e seu trabalho. Uma série de fatores influenciam o desempenho humano em uma dada atividade. Por exemplo: condições de trabalho; design de equipamentos; treinamento; organização do trabalho; política de gerenciamento; incentivos; pressões; política em geral. A Ergonomia atual deve tratar e analisar questões bem mais variadas e complexas que são parte de um único elemento ou ambiente sociotécnico e os ergonômistas seriam, então, como “antropólogos tecnológicos” (como, conforme Vicente, 2004 p.15, ele foi intitulado, por uma jornalista).

REFERÊNCIAS

- CASEY, S. M. (1993) *Set phasers on stun and other true tales of design, technology, and human error*. Santa Barbara: Aegan. 221 p.
- MONTMOLLIN, M. de. (1986) *L'intelligence de la tâche: éléments d'ergonomie cognitive*. Berne: Peter Lang.

VICENTE, K. (2004) *The human Factor: revolutionizing the way we live with technology*: Vintage Canada.

WICKENS, C. D. (1984) *Engineering psychology and human performance*. Columbus, OH: Merrill. 513 p.

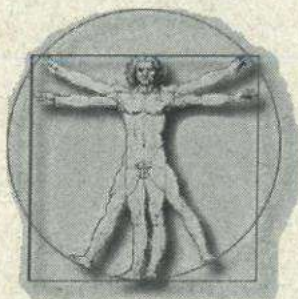
WISNER, A. (1987) *Por dentro do trabalho: Ergonomia: Método & Técnica*. São Paulo: FTD, Oboré. 189 p.

WISNER, A. (1994) *A inteligência no trabalho; textos selecionados em ergonomia*. São Paulo: Fundacentro.

2 Ergonomia Cognitiva:

Aquisição do Conhecimento

Francisco Antônio Pereira Filho



“O espírito e os princípios da ciência são uma mera questão de metodologia; não existe nada neles que impeçam a ciência de lidar com sucesso num mundo onde as forças são os pontos de partida de novos efeitos. A única coisa concreta que possuímos é a própria vida. A única categoria completa que nosso pensamento, nossos professores de filosofia ensinam é a categoria da personalidade, todas as outras categorias não passam de abstração dela. E essa negação sistemática da parte devida a personalidade na ciência como uma condição para os eventos, essa crença rigorosa de que a própria natureza essencial e interna de nosso mundo seja estritamente impessoal, quase que certamente, com o girar da roda do tempo, provará ser a grande deficiência de nossa tão aclamada ciência e nossos descendentes ficarão surpresos com a omissão, que aos olhos deles, nos caracterizarão como seres sem perspectiva e pequenos.”
(W. James, “Psychical Research” em *The Will to Believe and other Essays in Popular Philosophy*. New York: Longmans, Green and Co., 1897)

O CONHECIMENTO

Qual é a natureza do Conhecimento? Como este Conhecimento é utilizado no dia-a-dia das pessoas? Os psicólogos dedicados ao estudo de Sistemas de Conhecimento desejariam saber:

- a) Como os conceitos são estruturados na mente humana.
- b) Como tais conceitos se desenvolveram.
- c) Como os conceitos são empregados nos processos relativos à compreensão e ao comportamento.

Já o que os pesquisadores em Inteligência Artificial desejariam saber é:

- a) Como programar um computador de forma que ele possa entender e interagir com o mundo externo.

Para responder a estas, e outras, perguntas, devemos recorrer ao vasto cabedal de conhecimentos acumulados até o momento. Praticamente, empréstimos de diversas disciplinas serão necessários. Nos limitaremos, no entanto, por enquanto, aos saberes associados à Psicologia e à Informática.

FUNDAMENTOS DAS CIÊNCIAS COGNITIVAS

O primeiro movimento na formação do campo científico das ciências cognitivas ocorreu na década de 1945-55. A principal série de eventos que marcou o surgimento da cibernética foi a seqüência de 10 conferências promovidas pela Fundação Macy Jr., de 1946 a 1953. Eram encontros fechados de dois dias, reunindo pesquisadores como Gregory Bateson, sua esposa Margareth Mead, Warren Mc Culloch, que orientaria mais tarde, Humberto Maturana, John Von Neumann, Walter Pitts, Kurt Lewin, Heinz von Foster e Norbert Wiener, dentre outros.

Os conceitos de retroalimentação, redes de processamento não linear, homeostase, circularidade operacional, além da teoria da informação e da teoria de jogos, se originaram por essa época.

John von Neumann, Norbert Wiener e Warren Mc Culloch, os pais da cibernética desenvolveram um *modelo neuronal* para o cérebro, que era visto como funcionando como uma rede de conexões entre as células, e fechada em si mesma, e não de forma behaviorista, funcionando em razão de estímulos externos. A máquina digital de Neumann surge como uma metáfora para esta visão do cérebro humano.

Gregory Bateson, em oposição, desenvolve o *modelo ecológico*, em que sustenta que um sistema vivo não se sustenta somente com a

energia que recebe de fora, modelo defendido por Eugene Odum, mas fundamentalmente pela organização da informação. Vai ainda mais longe ao dizer que o ruído, informação não explicada pela cibernética, que a tenta eliminar, pode ser generativa, criando ordem e sustentabilidade. É o princípio da ordem a partir do ruído que mais tarde iria desembocar nas Teorias do Caos.

Humberto Maturana, discípulo de Mc Culloch, e Francisco Varela, seu aluno, desenvolvem a teoria da autopoiesis.

Auto-Organização, Complexidade e Dinamicidade formam a base das pesquisas mais recentes, tanto em Inteligência Artificial, como na compreensão da Cognição Humana.

As Ciências Cognitivas e a Inteligência Artificial começaram, portanto, a ser estudadas mais ou menos ao mesmo tempo, nos fins dos anos 50.

Através da Inteligência Artificial foram desenvolvidos formalismos para solução dos problemas. *Formalismos, Ferramentas e Programas* são as três áreas de desenvolvimento em Inteligência Artificial.

O casamento da Psicologia Cognitiva com a Inteligência Artificial permitiu que diversos desses formalismos relativos à Representação do Conhecimento e aos mecanismos inerentes ao processo relativo à aquisição desses conhecimentos fossem utilizados como Modelo Teórico para a Psicologia.

Uma *Teoria da Computação* específica 'o que' deve ser computado e 'porque'. Tais teorias justificam a posição de que, dado um problema, o mesmo, assim como os requisitos para sua solução, devam ser analisados. O objetivo da computação é especificado, assim como a natureza da entrada e as restrições sobre as soluções.

Uma *Teoria de Algoritmo* detalha os passos específicos realmente empregados para se realizar uma computação, dá os detalhes de 'como' a computação deve ser realizada e não o que 'é' a computação.

Modelos Computacionais podem ser feitos orientados para um processo. Tanto o pensamento como a aprendizagem e a percepção são processos. Modelos Computacionais podem ser construídos dependentes de um conteúdo como é o caso em Representação do Conhecimento podendo, além disso, serem orientados por Objetivos.

Por tudo isso, Modelos Computacionais parecem ser mais adequados que Modelos Matemáticos para servirem de linguagem para a Psicologia.

O FUNCIONAMENTO COGNITIVO

O funcionamento cognitivo deve ser considerado, de qualquer forma, como o funcionamento de um sistema. Podemos descrever esse sistema em vários níveis, desde o intracelular, passando pelo neurológico, até uma descrição de mais alto nível, funcional. No nível funcional, por sua vez, diversas descrições são possíveis.

Em um primeiro subnível, a descrição do sistema cognitivo pode se apresentar como a descrição das funções utilizadas no sistema e de sua organização. Se partirmos do paradigma clássico que vê o homem como um sistema capaz de transformar energias, *físico*, e processar informações, *mental*, esta descrição pode ser análoga àquela que se poderia fazer de um sistema artificial de tratamento da informação.

Em um subnível mais refinado, o sistema cognitivo seria descrito pelas atividades que realizam estas funções no homem. Este subnível definiria as particularidades do sistema humano de tratamento da informação.

Não trataremos, aqui, de forma mais aprofundada, do conjunto das atividades cognitivas. Nos centraremos, mais, naquelas que qualificamos de atividades mentais, as que envolvem atividades de mais alto nível, tais como resolução de problemas, compreensão e raciocínio. Geralmente estas capacidades são consideradas como atributos da consciência.

As atividades mentais são parte das atividades cognitivas. Situam-se além do tratamento de informações sensoriais, de origens ambientais ou lingüísticas, e precedem a programação motriz, a execução e o controle dos movimentos, que são a realização comportamental das ações. Ainda que não possam ser observadas diretamente, podem ser inferidas a partir dos comportamentos e verbalizações, podendo ser simuladas pelos modelos de tratamento da informação. Essas simulações apresentam características que nos permitem testar empiricamente nossas hipóteses sobre estas atividades.

Não pretendemos dar uma definição muito rigorosa do que é "mental". Este termo, reabilitado pelo cognitivismo, nos parece útil precisamente porque permite distinguir, no interior do domínio cognitivo, as atividades que tratam dos estímulos e que apelam principalmente a processos do tipo "*bottom up*", freqüentemente modulares, e as atividades que tratam de significados e decisões.

Conhecimento e Representação

O mental é uma parte do cognitivo. Os outros componentes são a percepção e a motricidade, entendendo por isto a programação e a execução do gesto e do movimento.

A noção de representação é a mais central em psicologia cognitiva. É sinônimo de compreensão. Entretanto, está longe de ser clara e, seguindo os autores que a discutiram, apresenta concepções bastante diferentes. Do ponto de vista de sua natureza, devem ser distinguidas dos conhecimentos ou crenças.

As representações são construções circunstanciais feitas num contexto particular e com fins específicos: numa situação dada e para fazer face às exigências de uma tarefa em curso, um texto que se lê, uma ordem que se escuta, um problema a resolver. Sua construção é finalizada pela tarefa e pela natureza das decisões a tomar.

As representações levam em conta o conjunto dos elementos da situação e da tarefa: são portanto muito particularizadas, ocasionais e precárias por natureza. É suficiente que a situação mude ou que um elemento não observado da situação seja levado em conta para que a representação seja modificada. Elas são, por natureza, transitórias. Uma vez terminada a tarefa, são substituídas por outras representações ligadas a outras tarefas.

Os conhecimentos são também construções, porém são permanentes e não são inteiramente dependentes da tarefa a realizar. São gravados na memória de longo termo e, enquanto não forem modificados, supõe-se que se mantêm sob a mesma forma.

Todos os psicólogos cognitivistas parecem de acordo com esta distinção. Os termos utilizados para exprimi-la variam um pouco. Certos autores adotam somente o termo representações e o qualificam: representações tipos, o que chamamos de conhecimentos e representações ocorrentes, o que chamamos de representações, ou, segundo outros autores, estruturas permanentes e circunstanciais.

Do ponto de vista do funcionamento cognitivo, a diferença entre conhecimento e representações é que os conhecimentos têm necessidade de serem ativados para serem eficientes, enquanto que as representações são imediatamente eficientes. Isto porque as representações constituem o conteúdo da memória operacional, a saber, as informações gravadas na memória de trabalho e as informações ativas da memória de longo termo. Os conhecimentos, ao contrário, são gravados na Memória de Longo Termo (MLT).

Arquitetura cognitiva

Entende-se por arquitetura cognitiva a descrição dos diferentes elementos que constituem o sistema cognitivo e suas relações. Trata-se de uma arquitetura funcional na medida em que, de um lado, não conhecemos as estruturas neuroanatômicas que correspondem a estes elementos e, de outro lado, é extremamente incerto que exista uma correspondência entre os elementos da arquitetura funcional e as estruturas neuroanatômicas que são seu suporte.

A arquitetura funcional é uma descrição estática das diferentes funções do sistema cognitivo, com o único fim de servir de base a uma descrição funcional. Como se tem feito para toda descrição desse gênero, utilizaremos "caixas" para designar as funções ou elementos do sistema e setas para designar as relações (*Figura 1*).

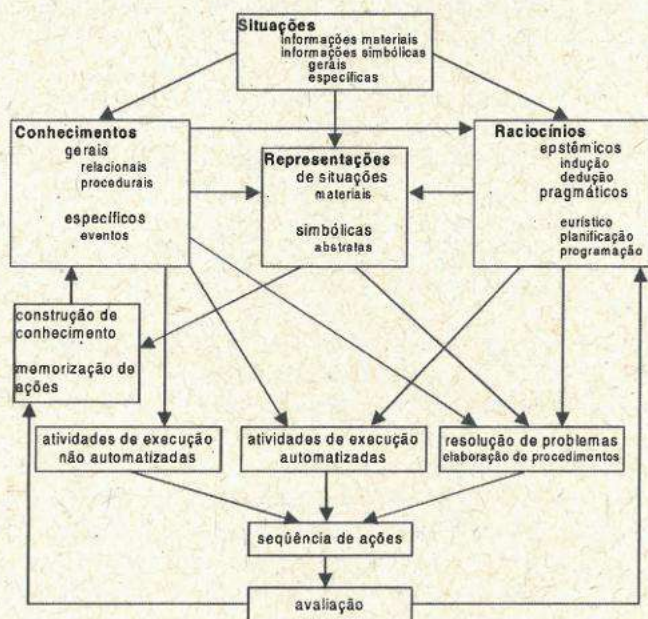


Figura 1
Esquema da
arquitetura
cognitiva
(Richard, 1974)

A descrição do funcionamento cognitivo consiste em precisar o significado destas setas, isto é, indicar as modificações suscetíveis de estarem contidas no sistema e as condições de desencadeamento e de uso destas modificações.

As entradas do sistema cognitivo são as situações. No que nos concerne, estas são as informações que são o resultado dos tratamentos dos sistemas sensoriais. Estas informações são de duas ordens: as de natureza espaço-temporal referentes aos objetos e eventos e as de

natureza simbólica (lingüísticas ou icônicas) que veiculam significados e são interpretadas no interior dos sistemas de sinais e do contexto da situação.

As saídas do sistema cognitivo são movimentos, gestos e produções lingüísticas. Ao que nos interessa, as saídas são, para as ações, as decisões de ação e, para as produções lingüísticas, os conteúdos semânticos a transmitir.

A programação e a execução do gesto e do movimento, a colocação em forma sintática, a tradução fonética ou gráfica, a colocação em forma vocálica e prosódica são processos cognitivos que não relacionamos entre as atividades mentais.

Distinguimos seis grandes funções (Richard, 1992):

- conservação de estruturas cognitivas permanentes: conhecimentos, crenças;
- elaboração de decisões de ação para tarefas;
- construção das representações (estruturas cognitivas transitórias);
- produção de inferências com fins epistêmicos (representações) ou pragmáticos (decisões de ação);
- construção de conhecimentos;
- regulação e controle da atividade.

A *Figura 1* apresenta o esquema da arquitetura cognitiva. Notar-se-á que a função de controle não é representada por uma caixa. Isso porque ela é parte integrante das outras funções, tanto pela definição dos objetivos cognitivos, como pelo caminho dos raciocínios, e pela reutilização das representações.

Temos os conhecimentos e crenças relacionados ao ambiente físico, os estereótipos e as representações sociais assim como as normas e os valores. Ao dizer conhecimentos, não lhes atribuímos simplesmente um caráter de verdade: eles são verdadeiros ou falsos dependendo do referencial e, portanto, as crenças entram no que chamamos de conhecimentos.

Consideramos que o caráter de verdadeiro ou falso dos conhecimentos ou crenças é secundário do ponto de vista psicológico. O que é importante é que elas estejam na memória do indivíduo, que elas tenham sua

adesão e que, de fato, possam tornar-se eficientes. Da mesma forma, as representações sociais referem-se ao que denominamos conhecimentos.

Os conhecimentos podem ser gerais ou específicos.

Os conhecimentos gerais se referem às classes de objetos, de acontecimentos, de situações ou de ações. São de duas formas: conhecimentos relacionais (declarativos) ou procedurais.

Os primeiros descrevem os objetos, precisando seus componentes elementares e a natureza das relações existentes entre estes componentes.

Por exemplo, quando digo que “*Karen é bonita*”, estou ‘declarando’ que o indivíduo (pode ser uma pessoa, um cão, um golfinho) chamado Karen, possui a qualidade de ser bonita. Esta qualidade, em conjunto com outros qualificativos, vai constituir a minha compreensão do que seja a Karen. Linguagens declarativas, como o PROLOG e LISP nos permitem construir um banco de dados capaz de concentrar todos os tipos de crença que determinado especialista tenha a respeito do mundo que o cerca.

Os conhecimentos procedurais, como “Receita de Bolo”, “Como fazer chá” etc., descrevem organizações de ações que permitem atingir um objetivo dado e se referem, em AI, a Linguagens Algorítmicas como o C e o PASCAL, que são empregadas para a representação, em computador, destes conhecimentos.

Os conhecimentos específicos se referem aos objetos, situações, acontecimentos ou seqüências de ações particulares, que foram objeto de uma experiência singular dentro de um contexto bem definido.

Os conhecimentos gerais constituem a memória semântica, os conhecimentos específicos constituem a memória episódica.

As decisões de ação constituem as produções do sistema cognitivo. Sua elaboração corresponde a três tipos de tarefas para o sistema cognitivo:

- tarefas de resolução de problemas, isto é, situações de elaboração de procedimentos nos quais esta elaboração depende da representação da situação;
- tarefas de execução não automatizadas, que correspondem a situações para as quais existem procedimentos gerais na memória que devem ser adaptados ao caso particular;

- tarefas de execução automatizadas, as quais consistem na utilização de procedimentos específicos, já internalizados ao nível corporal.

Estas três tarefas correspondem a níveis diferentes de elaboração das decisões e se diferenciam pelo papel maior ou menor que os conhecimentos estocados na memória desempenham nesta elaboração.

As representações são os conteúdos do pensamento, aos quais se refere o termo compreender. São construções que constituem o conjunto das informações levadas em conta pelo sistema cognitivo na realização da tarefa. É o resultado da episteme do olhar, do pensar e do explicar, os quais estão condicionados aos aspectos históricos, estéticos e afetivos e pela biologia de quem observa.

Elas desempenham, então, um papel central na elaboração de decisões, visto que são as únicas informações referentes à situação e à tarefa a partir das quais são elaboradas as decisões de ação. Correspondem a um estado quântico, a um colapso de ondas que faz com que, dentre as várias possíveis formas de se compreender uma determinada situação, se venha a escolher uma delas.

As informações de onde são elaboradas as representações são, por um lado, elementos de natureza material e/ou simbólica (notadamente textual) provenientes da situação que é o objeto da representação e, por outro lado, inferências. Portanto, por um lado, são atribuições de significados aos elementos da situação e interpretações do conjunto da situação e, por outro lado, inferências que produzem as informações faltantes para construir estas interpretações.

Tanto as atribuições de significado, como as inferências, recorrem aos conhecimentos. A construção das interpretações visa estabelecer uma coerência entre os diferentes elementos de informação, aqueles que procedem da situação e aqueles que são inferidos, e visa garantir a compatibilidade com as informações contidas na memória.

Vejo um campo de futebol, uma bola, e um indivíduo com o pé orientado em direção à mesma. Os significados que atribuí aos diferentes objetos (porque um campo de futebol e não simplesmente uma área verde) derivam de um conhecimento prévio. Pode-se passar por um mangue, ou uma duna, sem enxergar. A partir desses significados, utilizo o raciocínio para deduzir que o homem chutará a bola. Esta é a representação que construo para a cena.

As inferências, portanto, consistem na produção de novas informações a partir das informações existentes na memória, a saber: os conhecimentos, e as informações procedentes da situação. Elas são de dois tipos. Algumas têm por finalidade a compreensão: contribuem para as representações. As outras têm uma finalidade pragmática: produzem objetivos de ação, planos ou séries de ações.

A função *Construção de Conhecimentos* garante a evolução do sistema cognitivo ao lhe permitir se enriquecer pela experiência. Existem dois modos de construção dos conhecimentos que, em geral, contribuem para a aprendizagem. Os conhecimentos podem se construir a partir de informações simbólicas veiculadas pelos textos ou se construir pela ação a partir da resolução de problemas.

O primeiro modo produz principalmente (mas não exclusivamente) conhecimentos relacionais, o segundo sobretudo conhecimentos procedurais. Um corresponde a uma aprendizagem por instrução e, o outro, a uma aprendizagem por descoberta.

Regulação e Controle são funções difíceis de serem representadas num esquema estático, porque estão ao mesmo tempo na entrada e na saída das outras funções. Convém distinguir dois componentes na Regulação. O primeiro é o que chamamos a regulação da atividade e consiste em selecionar as tarefas a realizar e em ordená-las no tempo. A tarefa é a unidade que permite decompor e analisar o trabalho cognitivo em componentes que têm uma certa autonomia. Uma tarefa é caracterizada por um resultado a ser atingido, por condicionantes na obtenção deste resultado e por um domínio de conhecimentos específicos.

Uma tarefa pode ser decomposta em subtarefas que são estreitamente ligadas à tarefa principal e que não podem ser separadas sem perder seu sentido. Estas últimas não são, pois, unidades.

Entre as tarefas, em compensação, não existe ligação muito estreita. É esta escolha das tarefas assim entendida que definimos sob o termo regulação.

A escolha das subtarefas faz parte da realização da tarefa e realça, portanto, os processos de construção das representações e de elaboração das decisões.

O segundo componente é o controle. Este último se refere à realização da tarefa e seu bom desenvolvimento e apresenta ele mesmo um duplo aspecto. Antes da realização, o controle garante a planificação; depois

dela, garante a avaliação dos resultados da ação. Neste sentido, a ação de controle pode ser a origem de uma reorientação da atividade para o restabelecimento da representação da situação ou pode dar lugar à formulação de novos objetivos, como a recuperação de erros ou de incidentes.

As atividades cognitivas são definidas a partir de três componentes: seus produtos; os objetos sobre os quais elas atuam; seus modos de realização e de funcionamento. A descrição destas atividades responde, pois às seguintes questões:

- Com qual propósito? (Produtos)
- A partir de quê? (Objetos sobre o qual se opera)
- Como? Ou, por meio de quê? (Modo de realização)

Consideramos que há três classes de atividades mentais dentro das quais convém fazer subdivisões em função dos critérios enunciados a seguir:

- compreender,
- raciocinar,
- avaliar.

As diferentes atividades que fazem parte destas três classes são suficientes para a ativação das seis funções descritas no parágrafo precedente.

O produto desta atividade é a representação da situação e da tarefa. Esta representação é a base de informação que é utilizada nos tratamentos posteriores: construção de conhecimentos, elaboração de hipóteses de ação, tomada de decisão. As modificações desta representação passam, portanto, pela atividade de compreensão.

**Compreender:
construir
interpretações**

A construção das interpretações é orientada pela tarefa. Esta última pode ser de ordem epistêmica, compreender para entender, ou pragmática, compreender para agir. Distinguiremos, pois, diferentes atividades de compreensão:

- compreender para aprender, isto é, construir uma rede de relações gravando-a na memória com o objetivo de restituí-la, ou ainda para modificar uma rede de conhecimentos existente (enriquecê-la, reestruturá-la);

- compreender para agir, isto é, construir um programa de ação para obter um resultado dado.

O produto da interpretação é, por sua vez, a interpretação de conjunto da situação e da tarefa e a atribuição, aos diferentes elementos, de significados compatíveis, tanto com suas acepções semânticas próprias quanto com a interpretação de conjunto.

Os objetos que suportam esta atividade são os elementos da situação, fornecidos pela situação física ou pelos textos, incluindo na situação, por sua vez, o seu estado atual e o estado para o qual é preciso fazê-la evoluir (o objetivo).

Os meios a partir dos quais se constróem as interpretações são de três tipos:

- as estruturas de conhecimento existentes na memória que servem de contexto interpretativo;
- as inferências referentes à existência de objetos, à atribuição de propriedades a estes objetos, à existência de relações entre eles e à realização das ações;
- as atividades de avaliação que permitem verificar a adequação das ações realizadas às exigências da tarefa e que podem levar a questionar uma interpretação.

A natureza dos conhecimentos na memória, utilizados para compreender um texto ou uma situação, nos permitirá distinguir diferentes processos de compreensão.

Compreender pode ser particularizar um esquema, construir uma rede relacional utilizando conhecimentos muito gerais relativos às classes de situações a tratar (por exemplo: o que é uma narração? o que é um problema?), os quais determinam o tipo de informações que deve conter a interpretação e o tipo de condicionantes às quais deve satisfazer a interpretação a construir.

Pode ser, ainda, construir uma situação singular que seja compatível com o conjunto das informações, de caráter geral, que são fornecidas.

Pode ser, enfim, construir uma estrutura relacional ou uma estrutura de procedimentos por analogia a uma estrutura existente, modificando-a para adaptá-la.

Existe uma grande variedade de processos de compreensão. O termo compreensão é, pois, um termo genérico que convém especificar com base no tipo de processo através do qual essa compreensão se realiza.

Raciocinar

Raciocinar é produzir inferências. A natureza destes produtos permite distinguir duas classes de raciocínios do ponto de vista de suas finalidades: raciocínios com fins epistêmicos e raciocínios com fins pragmáticos.

Os resultados dos raciocínios com fins epistêmicos são utilizados para construir interpretações. Estes são tipicamente os raciocínios que intervêm no diagnóstico, na pesquisa de causas, na identificação de responsabilidades.

Os resultados dos raciocínios com fins pragmáticos são utilizados para atingir objetivos de ação, definir planos de ação, ou produzir seqüências de ações.

Se se considera a relação entre o grau de generalidade das conclusões e o grau de generalidade das premissas, pode-se distinguir, ainda, duas outras formas de raciocínio: os raciocínios cujas conclusões são mais gerais que as premissas e os cujas conclusões são mais específicas que as premissas.

Os primeiros produzem generalizações, os segundos, particularizações. Os primeiros são orientados para a construção de conhecimentos, os segundos, para a aplicação de conhecimentos existentes a conteúdos particulares.

Encontra-se estes dois movimentos, ascendente e descendente, por sua vez, nos raciocínios com fins epistêmicos e nos com fins pragmáticos.

No caso dos primeiros, a distinção envolve a diferença entre raciocínio indutivo e dedutivo. No caso dos segundos, a distinção não tem sido tão claramente evidenciada.

A maioria dos raciocínios com fins pragmáticos são, incontestavelmente, raciocínios de particularização, contudo, podemos citar diversos exemplos de raciocínios pragmáticos que conduzem a uma generalização.

Os elementos de informação a partir dos quais são feitos os raciocínios são, de um lado, informações contidas no estado momentâneo da representação e, de outro lado, conhecimentos na memória. Denominamos estado da representação o conjunto de informações presentes

nela durante sua construção. Pode-se ter, neste estado, informações que não estão integradas em uma interpretação de conjunto.

Os raciocínios produzem inferências, por um lado, por meio de regras que definem as condições de passagem das informações conhecidas às conclusões, e por outro lado, utilizando conhecimentos na memória referentes a esquemas pragmáticos de raciocínio.

As regras que estão na base dos raciocínios não são exatamente aquelas que a lógica clássica utiliza para definir as condições de validade dos raciocínios. Isto significa que os raciocínios não servem somente para demonstrar, servem, também, para formar hipóteses e desenvolver heurísticas de pesquisa.

Em muitos casos, a validade não é a qualidade primária de um raciocínio. A partir das informações que se tem não se pode deduzir mais nada de válido. A qualidade de um raciocínio é também de ser produtivo. É orientar a pesquisa ou a ação para os caminhos cuja validade, ainda que não esteja garantida, têm melhores chances de se aproximar da solução.

Um computador, talvez, parasse o processamento e dissesse que se trata de um problema incompleto, incerto, ou com dados contraditórios. O Sistema de Processamento Humano é capaz de nada fazer, na espera de novas informações, ou de fazer não importa o quê se, de qualquer modo, é preciso fazer alguma coisa.

Avaliar

Os produtos das atividades de avaliação são julgamentos que exprimem como se situa um objeto, uma situação, sobre uma escala ou em relação a uma norma.

As informações utilizadas pelas atividades de avaliação são, por um lado, as informações sobre os objetos, as situações e, por outro lado, as normas ou critérios a levar em conta para esta avaliação.

As avaliações procedem por categorização de objetos em escalas correspondentes a cada um dos critérios de avaliação e, em seguida, pela combinação das avaliações obtidas para cada um dos critérios.

Os julgamentos de avaliação têm um lugar relevante nos estudos sobre a decisão, nos quais essa decisão consiste em escolher entre acontecimentos, quer sejam objetos (decisões de compras, por exemplo), quer sejam ações, das quais se pode avaliar as conseqüências.

Ocupar-nos-emos, apenas, com um dos aspectos das atividades de avaliação: a avaliação dos resultados da ação, especialmente o desvio do objetivo, que é um elemento importante da atividade de controle na resolução de problemas e, mais genericamente, em todas as atividades de execução que têm um objetivo bem definido.

Um aspecto da atividade de avaliação que nos parece muito importante, embora não se fale muito dele, é a detecção dos incidentes e dos impasses, ou seja, situações a partir das quais atingir o alvo é impossível. Com efeito, a detecção dos incidentes permite diagnosticar um erro no procedimento e, então, iniciar um processo de correção. A detecção dos impasses está na base do questionamento das representações, na medida em que ela manifesta que o estado no qual se acha é um estado já atingido e que, portanto, não houve progresso.

As diferentes formas que podem tomar as atividades de compreensão, de raciocínio e de avaliação em função da natureza de seus produtos, das informações tratadas e dos processos graças aos quais estas atividades se realizam são suficientes, em nosso ponto de vista, para dar conta do modo como as seis funções anteriormente descritas são empregadas.

A construção de representações utiliza as atividades de compreensão e de raciocínio. A produção de inferências se confunde com o raciocínio. A elaboração de decisões de ação é o produto dos raciocínios com fins pragmáticos.

A construção de conhecimentos pode ser analisada sem fazer intervir outras atividades, exceto a construção de interpretações e o raciocínio.

A aprendizagem pelo texto é constituída pelas atividades de compreensão finalizadas por uma tarefa de memorização. A aprendizagem pela ação e o resultado das atividades de memorização e de raciocínio que consistem em formar hipóteses, testá-las, generalizar observações e modificar representações.

A função de controle é assegurada por um grande número de atividades. Não há instância geral de controle que desempenhe o papel de supervisor. Na orientação da atividade, o controle apresenta dois componentes: conhecimentos muito gerais sobre classes das situações e elementos de informações próprios à tarefa, a saber objetivos e planos de ação. O primeiro depende da recuperação dos conhecimentos e da manutenção das informações na memória, o segundo depende das atividades de compreensão e de raciocínio.

No que se refere ao aspecto de avaliação e correção, o controle é garantido pelas atividades de avaliação dos resultados da ação, mas, também, pelo questionamento das representações, e das atividades de memorização.

As atividades de memorização

É importante agora falar das atividades de memorização (estocagem) e da recuperação das informações na memória. Estas são atividades cognitivas que, em sua essência, não são mentais.

No que concerne à memorização, muito se fala das atividades conscientes que facilitam a fixação da informação, como a repetição mental, a categorização ou a procura de relações. Estas atividades são uma parte importante da metacognição. Estes efeitos existem, mas constituem apenas aspectos indiretos da memorização, em relação aos dois fatores essenciais que são a valência da situação e o que é chamado de "grau de elaboração cognitiva".

A valência da situação refere-se, por sua vez, aos aspectos positivos da situação, a memorização do contexto no qual um objetivo foi atingido, e aos aspectos negativos, a memorização dos impasses ou situações insolúveis.

O grau de elaboração cognitiva é uma noção ligada à idéia de que a memorização de uma informação depende dos tratamentos dos quais esta informação foi objeto.

Estes dois fatores só intervêm pelo viés dos mecanismos de ativação. Os tratamentos cognitivos ativam nós da rede semântica.

A construção de novas ligações ocorre em situações em que o reforço das ligações existentes depende do nível de ativação e do valor motivador da situação, os quais contribuem, igualmente, para elevar o nível de ativação.

A metacognição pode ser vista como uma competência particular na análise dos resultados da ação, que pode conduzir a observar uma relação entre a lembrança de ter operado certos tratamentos e a melhoria do desempenho.

As atividades mentais não são os únicos determinantes dos tratamentos cognitivos complexos de compreensão de textos ou de resolução de problemas.

Uma outra categoria de determinantes é constituída pelas operações cognitivas que não são mentais: memorização e recuperação na memó-

ria de longo termo, manutenção e recuperação das informações na memória de trabalho, transferência de informações da memória de trabalho para a memória de longo termo.

Os mecanismos que regem estas operações constituem condicionantes para o exercício das atividades cognitivas propriamente mentais. Estas últimas atividades não podem atuar sem que ocorra a recuperação de informações da memória de longo termo e da memória de trabalho, ou sem que aconteça a estocagem, na memória de trabalho, das informações que são o resultado dos tratamentos efetuados e que devem ser utilizadas como dados em outros tratamentos.

Desta forma, as condições de funcionamento das operações de memorização e recuperação na memória constituem condicionantes para o exercício das atividades mentais.

Isto também é verdade para as outras operações cognitivas elementares: identificação dos objetos, dos termos léxicos, julgamento de pertinência a uma categoria, inferências perceptivas imediatas. As referidas operações cognitivas determinam o funcionamento das atividades mentais de três maneiras:

- pela natureza dos resultados de seus tratamentos, que são as informações sobre as quais trabalham as atividades mentais;
- pela rapidez de execução destes tratamentos;
- pelo fato de haver ou não concorrência entre estas operações, isto é, pelo fato de que várias destas operações podem atuar simultaneamente ou não.

A rapidez de execução dos tratamentos, assim como o fato de poderem ou não ser conduzidos em paralelo, intervém na demora com a qual os resultados dos tratamentos chegam na memória de trabalho e, pois, influenciam indiretamente na conservação das informações na memória.

As condicionantes do funcionamento das operações elementares de tratamento constituem uma parte importante dos processos de atenção.

No momento, existem discontinuidades importantes no nosso saber quanto à seqüência dos tratamentos.

Se se tomam os estudos sobre a linguagem, por exemplo, os pesquisadores que trabalham sobre a compreensão consideram que a informação elementar a partir da qual se faz a compreensão de um texto é a proposição semântica.

Eles se questionam, ainda, sobre o modo pelo qual a interpretação de um texto é construída a partir dos significados associados às proposições, mas não se ocupam do modo pelo qual o significado é atribuído a uma proposição.

No contexto das pesquisas sobre a percepção da linguagem, o segmento mais complexo que foi objeto de estudos aprofundados é a identificação da palavra, que é abordada nos estudos sobre o acesso léxico. Há um salto enorme entre a palavra e a proposição semântica.

Pode-se admitir que o nível propriamente semântico começa no enunciado, na medida em que a acepção de um termo só é fixada no contexto de um enunciado e, portanto, a atribuição de significados só se faz a partir do nível do enunciado, o que se pode comprovar facilmente no caso dos verbos.

Pode-se, por outro lado, admitir que o enunciado mínimo é o predicado (a estrutura predicado-argumento que caracteriza a proposição semântica).

Pode-se dizer que o nível semântico começa com a proposição semântica e que o acesso léxico é um nível de tratamento pré-semântico.

Enquanto não houver informação sobre a passagem da palavra à proposição semântica, não existirão meios de articular os estudos sobre a compreensão com os estudos sobre os processos de percepção da linguagem.

PROCESSOS E MECANISMOS

Quando observamos a manifestação da consciência, estamos registrando uma série de eventos ocorrendo no mundo real, a parte observável de um comportamento. O resultado dessa observação é a descrição de um processo. Nosso objetivo é o de construir uma teoria, um mecanismo, um conjunto de regras que nos explique porque 'estamos observando o que estamos observando'.

Em um determinado nível de análise, o mecanismo é o conjunto de regras de funcionamento de um sistema, tal que se possa descrevê-lo neste nível de análise, que não é, necessariamente, o mesmo de seu funcionamento material. Um processo, nesse caso, seria a série de acontecimentos e de estados desenvolvidos pelo mecanismo para um tipo de entrada dada.

Um programa informatizado é um mecanismo, a execução desse programa para dados particulares desenvolve um processo, que é todo o

conjunto de operações que, a partir de uma ou mais entradas, produz uma ou mais saídas.

No caso de um modelo, o conjunto de regras que o definem é o mecanismo. A simulação do modelo para uma dada situação e um dado tipo de indivíduo, e portanto para valores definidos de parâmetros, é o processo desenvolvido pelo modelo para este caso particular.

Pode-se dizer que o mecanismo é uma descrição estática de um sistema, enquanto o processo representa o aspecto dinâmico.

Isto é inteiramente exato, mas essa diferença envolve uma diferença muito mais fundamental. Há entre processo e mecanismo uma relação de particular à geral: o processo é um caso particular de realização do mecanismo em um dado contexto. O mecanismo representa, potencialmente, um grande número de processos.

Se se adota o ponto de vista das relações entre dois níveis de análise, a oposição processo-mecanismo envolve a distinção função-uso.

A função aquecimento pode ser descrita como uma modificação do estado térmico sem que seja precisado o meio para produzir esta modificação: eletricidade, gás, óleo, carvão, energia solar etc.

Tal descrição pode se apresentar como a descrição de uma fase de um processo, visto que um processo define a série de acontecimentos e de transformações de estado que os sucedem. Ou seja, eu posso ter um mecanismo só para explicar determinada fase. Este mecanismo, no caso, teria a potencialidade de descrever como essa fase poderia ser realizada.

Se se descreve o funcionamento de uma máquina de lavar, por exemplo, temos o aquecimento da água como uma fase do processo de lavagem.

Temos um mecanismo que descreve o conjunto dos processos de lavagem que podem se verificar. Podemos descrever esse mecanismo como o conjunto de funções do tipo colocação da roupa, colocação da água, aquecimento da água, rotação do tambor etc.

Se nos interessa o modo como cada fase do processo é realizado, precisamos de um mecanismo que descreva um grau de análise mais detalhado. Falaremos, então, do mecanismo de aquecimento, do mecanismo de rotação do tambor etc.

Se se descreve a rotação do tambor, descreve-se um processo: a partida do motor, a transmissão do movimento pela correia e polias etc, que

é desenvolvido por um mecanismo. Afinal temos um mecanismo para explicar as diversas formas de se partir um motor, de se transmitir o movimento para as correias etc.

As noções de processo e de mecanismo consideradas deste ponto de vista são, então, relativas. Elas se referem às relações entre dois níveis de análise. Há, então, entre elas uma relação de função à utilização.

As noções de processo e mecanismo não têm, em psicologia cognitiva, um significado diferente daquele que têm na análise dos sistemas mecânicos, eletrônicos, de tratamento automatizado de informação. O sistema cognitivo é um sistema particular de tratamento da informação.

Encontra-se, em psicologia, os dois pontos de vista que nós distinguimos. Procura-se quais são as regras às quais obedece um dado processo comportamental. Define-se, para isso, um sistema que seja capaz de engendrar-las e que permita prevê-las. Por outro lado, interessa-se pelos segmentos deste processo e procura-se como estes segmentos são produzidos em um nível mais elementar. Faz-se, neste caso, uma análise causal. A investigação dos mecanismos nervosos e bioquímicos faz parte dessa tentativa.

A existência deste duplo caminho faz com que a palavra explicar tenha um duplo sentido. Pode-se explicar um processo observado fazendo-o parecer como um caso particular de um mecanismo geral que define suas condições de produção. Pode-se, por outro lado, explicar a produção de cada um dos elementos do processo por mecanismos mais elementares.

Estas duas tentativas de explicação são complementares. A explicação pelos mecanismos elementares pode parecer mais fundamental e englobar a outra, daí a atração do reducionismo. Isso vem, sem dúvida, do privilégio que tem o modelo mecânico, onde toda explicação, para parecer interessante, deve se situar no nível material.

Isso não acontece igualmente para os sistemas de tratamento de informação. Para tomar um exemplo simples, quando se descreve o funcionamento de uma calculadora, não precisamos discutir toda a teoria eletrônica. Ao nos situarmos no nível funcional, que está bem distante do nível do funcionamento material, obtemos uma descrição mais do que necessária para a compreensão.

Na maioria dos casos, não há a necessidade da descrição do funcionamento no nível material, ainda que este seja o único verdadeiramente real, simplesmente porque ele não é pertinente.

Quando se passa a um nível mais elementar de descrição, ganha-se em profundidade mas se perde em inteligibilidade funcional. Uma descrição que se situe em um grau de resolução mais fino não faz, necessariamente, desaparecer o interesse de uma descrição mais global e não a absorve.

A compatibilidade das descrições funcionais com as descrições mais elementares é um critério importante de avaliação do interesse das diferentes descrições funcionais que se pode dar de um sistema, mas isso não significa que a descrição material contém a descrição funcional, no sentido de que esta seria diretamente dedutível daquela.

Um melhor conhecimento dos mecanismos neurofisiológicos que realizam as operações elementares dos tratamentos cognitivos fornecerá condicionantes mais fortes sobre as descrições funcionais que podem ser pertinentes às tarefas, mas não dispensará a busca de tais descrições.

Por enquanto, a psicologia cognitiva está investigando as descrições funcionais que sejam suficientes para explicar os comportamentos observados no grau de detalhe exigido pela análise comportamental. Isso implica que estas descrições sejam completas. A única maneira conhecida de verificar que elas o são é de simulá-las e de comparar seus resultados com os comportamentos observados.

Utilizaremos a distinção processo-mecanismo geralmente no primeiro sentido. Um processo é uma realização particular de um mecanismo dentro de um contexto dado.

Nesta perspectiva, a tentativa metodológica da psicologia cognitiva pode se resumir da seguinte maneira: Descrever os processos significa:

- escolher um nível de descrição comportamental que permita identificar, nos observáveis, os resultados de tratamentos;
- interpretar os observáveis como sinais de operações de tratamento da informação;
- inferir as etapas do processo que são puramente mentais, para as quais não corresponde nada observável;
- uma vez que se reconstituiu o conjunto do processo de realização da tarefa para um certo número de indivíduos, buscar um modelo do qual estes processos sejam realizações particulares. Estes processos correspondem aos valores particulares dos parâmetros que caracterizam os indivíduos e às diferenças do ambiente experimental.

**ERROS
COMUNS
VERIFICADOS
EM UMA
DESCRIÇÃO
DE
PROCESSOS**

A reconstituição do conjunto do processo é o objetivo da análise dos protocolos individuais. A elaboração de um modelo e sua simulação visam definir um mecanismo funcional e mostrar que ele é suficiente para explicar os processos observados e inferidos.

A conduta de verificação de uma hipótese consiste em pesquisar casos que, se for verdadeira, confirmam diretamente a hipótese testada, ao invés de se pesquisar os casos que invalidem a hipótese alternativa. Esta conduta se observa também para relações onde, como no caso de implicação, a única estratégia pertinente é a de pesquisar se existem casos que, se presentes, invalidam a hipótese e que, se ausentes, a confirmam indiretamente.

Tomaremos, como exemplo, uma situação muito conhecida de Watson (Johnson-Laird e Watson, 1977). Em uma das versões, se mostra aos indivíduos quatro cartas com um "A", um "D", um "4" e um "7" em cada uma. Quando se estabelece para os indivíduos a seguinte regra: "Se existe uma vogal de um lado, existe um algarismo par do outro lado" e se pede que eles indiquem somente as cartas que, segundo seu juízo, são necessárias e suficientes para se saber se elas respeitam ou não a regra.

Nesta situação, a única estratégia pertinente consiste em se perguntar que cartas poderiam negar a regra. A única eventualidade que invalidaria a regra seria uma carta que tivesse uma vogal de um lado e um número ímpar do outro: seria conveniente virar o "A" e o "7". Menos que 10% dos estudantes que foram testados procederam assim.

Que escolha fez a maioria? Retornam ou a carta "A" somente, ou as cartas "A" e "4". Estas são as cartas para as quais se tem chances de verificar a co-ocorrência dos termos implicados na relação. Assim, verificar uma relação se assemelha a pesquisar os casos de co-ocorrência dos termos da relação.

Este comportamento se justifica quando o erro de co-ocorrência, num caso de invalidação, (a escolha da carta A): não é justificado quando não é um caso de invalidação de hipótese (caso da carta 4).

Assim, dentro da verificação de uma relação, a confirmação direta levada pela realização da co-ocorrência dos termos da relação, apresenta um caráter privilegiado e traz um grau de convicção maior que o que seria obtido pela confirmação indireta obtida pela invalidação da hipótese alternativa.

Os erros de raciocínio são devido ao fato de que o indivíduo não constrói as diversas interpretações da situação que sejam compatíveis com as informações recebidas, de maneira que a interpretação sobre a qual ele raciocina é muito particular. Esta posição se refere à noção de modelo mental de Johnson-Laird (1980).

Argumentaremos em favor desta idéia a partir dos temas:

- os procedimentos de raciocínio por exclusão;
- as inferências feitas a partir da implicação: os silogismos condicionais;
- as inferências fundamentadas na inclusão: os silogismos categóricos.

**Os
procedimen-
tos de
raciocínio
por exclusão**

O raciocínio por exclusão é uma forma de dedução que consiste em concluir sobre a verdade de um enunciado demonstrando a falsidade de todas as outras alternativas possíveis. Equivale em demonstrar a veracidade de uma proposição demonstrando a falsidade de seu complemento. Esta possibilidade de demonstrar o verdadeiro pela negação do falso se fundamenta exclusivamente sobre a complementaridade do verdadeiro e do falso.

Não há simetria, nem do ponto de vista lingüístico, nem do ponto de vista cognitivo, entre o verdadeiro e o falso. De um ponto de vista lingüístico, negar uma proposição pressupõe que alguém pode tê-la por verdadeira. Do ponto de vista cognitivo, como diz Piaget, vence o verdadeiro sobre o falso.

Consideremos por exemplo o problema seguinte:

Um rei tem 3 prisioneiros. Ele os faz tirar ao acaso um "cartão" entre 5, dos quais eles sabem que 2 são pretos e 3 são brancos. Os prisioneiros têm os olhos vendados e não vêem o "cartão" sorteado. Cada um põe o seu "cartão" nas costas, o rei os faz ficarem em fila indiana e eles tiram suas vendas. O rei promete a cada prisioneiro libertá-lo se ele adivinhar a cor do seu "cartão". Aquele que é o terceiro na fila e vê os "cartões" dos dois outros diz: "Eu não posso saber". Aquele que é o segundo e que vê o "cartão" do primeiro diz: "Eu não posso saber". Aquele que está na frente e não vê nada diz: "Eu sei a cor do meu "cartão". Como isto é possível? O problema está representado na *Figura 2*.

Parece a primeira vista estranho que aquele que vê menos saiba mais. É significativo que isto pareça paradoxal. O raciocínio que explica este

enigma não é visivelmente intuitivo. Chamemos A, B, e C os prisioneiros na ordem da fila.

Se C não pode saber, é que é falso que se esteja no caso em que se poderia saber, ou seja, o caso em que A tem um “cartão” preto e B também tem um preto. Se B não pode saber, é que é falso que se esteja no caso em que B poderia saber, isto é, o caso em que o “cartão” de A é preto.

De fato, se o “cartão” de A fosse preto e C não pudesse saber, B poderia inferir que o seu e o de A não podem ser os dois pretos, portanto poderia deduzir que o seu é branco. A pode então concluir que o seu “cartão” é branco.

O caráter pouco natural, e para muitas pessoas pouco convincente deste raciocínio, se deve ao fato de que a cada etapa, a única coisa segura, é uma eventualidade que se sabe que é falsa e que se deve então raciocinar por exclusão. O caráter paradoxal da idéia de que o verdadeiro pode ser demonstrado por exclusão do falso, explica a dificuldade que há para se compreender o sentido das provas que consistem em demonstrar uma proposição mostrando que sua negação conduz a contradições.

RESPOSTA DO PRISIONEIRO - RACIOCÍNIO FEITO PELO PRISIONEIRO



Figura 2 O problema dos prisioneiros

As inferências feitas a partir de implicações: os silogismos condicionais

Uma outra forma de raciocínio dedutivo mostra a dificuldade de inferir o verdadeiro a partir do conhecimento do falso: são os silogismos condicionais. Em um silogismo da forma "modus ponens" (onde as premissas são: se p então q , q é verdadeiro), quase todos as pessoas concluem que q é verdadeiro. Isto não é o caso na forma "modus tollens" (se p então q , q é falso): somente dois terços das pessoas adultas concluem que p é falso (Evans, 1982).

Tudo se passa como se as pessoas baseassem suas inferências sobre a consideração dos casos que confirmam a relação. É interessante, portanto, relacionar que as inferências feitas no silogismo condicional com os resultados das experiências que indicam, em quais casos, os indivíduos consideram uma implicação como verificada.

As inferências fundamentando-se na inclusão

Os dados relativos às inferências fundamentando-se na inclusão provém de dois tipos de pesquisas. As primeiras concernem a quantificação da inclusão, questão sobre a qual Piaget foi o primeiro a pesquisar e que suscitou inúmeros estudos. As segundas concernem aos silogismos categóricos. As premissas fornecem duas das relações existentes entre três grupos e a conclusão consiste em deduzir a terceira ou determinar se ela não pode ser decidida. As relações possíveis são a inclusão, restrita ou não, e a exclusão.

Um silogismo categórico comporta duas premissas quantificadas tendo um termo comum. Cada uma enuncia uma relação de conjunto entre dois termos (o primeiro e o segundo, o segundo e o terceiro), e a conclusão consiste em determinar a relação entre o primeiro termo e o terceiro. Por exemplo:

- premissas: todos os A são B, todos os C são B,
- conclusão: não podemos concluir nada sobre a relação entre A e C.

Em um silogismo categórico, cada uma das premissas pode ser caracterizada por:

- sua quantidade: universal (todos os A são B, nenhum A é B) ou particular (alguns A são B, alguns A não são B);
- sua qualidade: afirmativa (todos os A são B, certos A são B) ou negativa (nenhum A é B, certos A não são B).

Johnson-Laird (1978, 1980, 1987) contribuiu para esta questão, propondo a idéia muito interessante, de que as pessoas não raciocinam utili-

zando regras de dedução, senão regras muito elementares, mas procedem através da construção de modelos mentais.

Vamos ao seguinte exemplo, modificado de Johnson-Laird.

Todos os elefantes são gordos

Todos os gordos são chatos

Que podemos dizer acerca de elefantes chatos

Sem recorrer aos círculos de Euler ou aos diagramas de Venn, podemos imaginar um grupo de atores que representassem a cena, sob a forma de um *'tableau'*; alguns deles representando elefantes, outros gordos e outros chatos. Para representar a primeira premissa todo ator que estivesse representando um elefante é instruído a representar também um gordo e, desde que a primeira premissa é consistente com o fato de que possam existir gordos que não sejam elefantes, esse papel (o de gordos que não são elefantes) é atribuído a outros atores aos quais se diz que é incerto se eles existem ou não. Resumindo, o nosso *tableau* ficaria assim:

elefante = gordo

elefante = gordo

elefante = gordo

elefante = gordo

(gordo)

(gordo)

Nesse exemplo temos 4 atores que representam o papel de elefantes e gordos e 2 atores que representam o papel de gordos que não são elefantes. O parêntese é uma notação que introduzimos para representar o fato de que esses atores podem ou não existir.

Vamos representar agora a segunda premissa: Todos os gordos são chatos.

Agora os atores que representam gordos são instruídos a representar o papel de chatos e um número arbitrário de novos atores são introduzidos para representar o papel de chatos que não são gordos, um tipo que, como da vez anterior, pode ou não existir:

elefante = gordo = chato

elefante = gordo = chato

elefante = gordo = chato

elefante = gordo = chato

(gordo)=(chato)

(gordo)=(chato)

(chato)

(chato)

(chato)

Neste ponto, representado todo o espetáculo, você é perguntado se todos os elefantes são chatos. Por mera inspeção no *tableau* pode-se concluir que tal afirmativa é verdadeira. Tudo que tivemos que fazer foi externalizar e combinar a informação contida nas duas premissas.

Uma parte da dificuldade dos silogismos categóricos vem do fato de que na apresentação destes silogismos se utilizam termos de linguagem natural para designar os quantificadores e que a aceitação destes termos no quadro da lógica não é a mesma da linguagem natural. Dentro do contexto da lógica, o termo “alguns” aplicado aos elementos de um grupo significa “existe ao menos um elemento...” e se aplica então ao caso onde se quer falar a respeito de todos os elementos.

No uso habitual da linguagem, o termo “algum” tem um significado restritivo: ele significa “certos elementos porém não todos”. Com efeito, em virtude das máximas da conversação, é suposto que o locutor está fornecendo todas as informações pertinentes que ele dispõe: se visa todos os elementos, não deve dizer “alguns” (o que é aceitável na concepção lógica), deve dizer “todos” (Politzer, 1986).

Os processos envolvidos no raciocínio dedutivo de pessoas não treinadas ao raciocínio lógico não envolve, geralmente, a utilização de regras formais do raciocínio.

As pessoas utilizam muito poucas regras de dedução gerais, quer dizer, regras que sejam independentes de conteúdos semânticos (Johnson-Laird, 1983). Quase não há dedução do tipo *modus ponens* (se *p* então *q*, *p* é verdadeiro, logo *q* também o é) que seja utilizada corretamente de maneira geral. Vimos, em particular, que as inferências que repousam sobre a inclusão são dependentes do domínio do conhecimento. Portanto, esta noção é uma das mais precocemente adquiridas.

A idéia de que os processos envolvidos no raciocínio dedutivo não são diferentes daqueles que são usados pela compreensão, a resolução de problema e o raciocínio indutivo é contracorrente de uma longa tradição psicológica, na qual o raciocínio lógico é concebido como o produto de uma atividade específica e em conseqüência é estudado isoladamente das outras atividades psicológicas. Segundo Richard, esse ponto de vista sobre o raciocínio está em via de ser mudado e esta mudança será tão rápida quanto maior for a força dada ao estudo dos raciocínios em situação.

Os estudos sobre os raciocínios dos especialistas nas situações de diagnóstico, de supervisão, de recuperação e de incidentes mostram que estes raciocínios podem ser fortemente complexos e que, além disso, são muito dependentes do domínio do conhecimento e das tarefas que exercem habitualmente estes especialistas.

Quando as pessoas raciocinam fora do seu domínio de competência, elas têm apenas à sua disposição modos de inferência cuja validade não é assegurada mas que têm uma utilização geral.

Estes processos de produção de inferências não garantem a validade dos raciocínios mas são produtivos: são eficazes para formar hipóteses e fazer escolhas cujas conseqüências permitirão fazer as correções necessárias.

Se o indivíduo humano parecê dispor de poucas regras para fazer raciocínios que sejam válidos na primeira tentativa, dispõe de meios de correção a posteriori que explicam o fato de que cometa poucos erros nos domínios que lhe são familiares porque, dentro desses domínios, conseguiu operar as correções necessárias. Estas competências, no entanto, não são transferíveis facilmente. Daí a importância da aprendizagem na condução dos raciocínios.

MODELAGEM ESTATÍSTICA E MODELAGEM DOS PROTOCOLOS INDIVIDUAIS

A exigência de explicitação que condiciona o desenvolvimento da modelagem cognitiva impõe que sejamos capazes de definir o funcionamento cognitivo no nível de um protocolo individual, isto é, dar uma interpretação do protocolo que explique por quais processos são engendrados os diferentes acontecimentos que o constituem (ações e verbalizações).

Isto supõe que consideremos, como pertinentes, todos os acontecimentos que intervieram e que não nos contentemos com uma codificação em classes. Isto supõe, ainda, que o desenvolvimento temporal seja levado em conta e considerado como uma variável a explicar.

Este modo de ver difere fundamentalmente da aproximação estatística. Esta opera agrupamentos no nível intra-individual e no nível inter-individual e faz sobre estes agrupamentos descontos que constituem o material de base para a análise estatística.

Fazer agrupamentos implica, de fato, que consideremos que as coisas observáveis contenham uma parte de ruído e uma parte de acaso, os quais seria inútil se pretender explicar.

De fato, para encontrarmos regularidades, precisamos nos situar em um nível mais geral que o detalhe dos dados.

A análise dos protocolos individuais e a modelagem que a acompanha partem de uma outra opção metodológica. A coerência existe no nível do detalhe do protocolo, evidenciá-la passa pela identificação de processos susceptíveis de engendrar a integralidade do protocolo e que uma verdadeira análise do funcionamento cognitivo supõe uma descrição dos processos em jogo, neste nível de detalhe.

De acordo com Bateson, como vimos, o ruído pode ser generativo e o acaso, parte do comportamento humano, exatamente aquilo que pretendemos explicar.

Distinguimos três componentes nos modelos cognitivos. São os elementos da arquitetura cognitiva tal como a representamos na execução de uma tarefa particular. Seus três componentes são:

- O estado da representação e dos conhecimentos sobre a tarefa;
- Os processos que modificam o estado da representação ou dos conhecimentos sobre a situação;
- Os processos de decisão e de controle da atividade.

Estado da representação e dos conhecimentos sobre a situação

Este nível diz respeito a todas as informações que intervêm na escolha da ação ou da elaboração do conteúdo da resposta. As informações podem ser:

- informações discretas sobre o estado da situação;
- conhecimentos sobre as possibilidades de ação;
- objetivos momentâneos da ação;
- regras gerais de ação;
- conhecimentos gerais utilizados na situação.

Os mecanismos que modificam o estado da representação ou dos conhecimentos sobre a tarefa

Nesta categoria distinguiremos:

- os mecanismos de construção da interpretação do problema ou da tarefa;
- as regras de produção dos objetivos que engendram objetivos intermediários a partir do objetivo geral da tarefa e do estado da situação;
- as regras de memorização seletiva de fatos que intervêm no curso da resolução;
- as regras de aprendizagem que permitem construir novos conhecimentos sobre a situação e, mais geralmente, as regras de evolução que permitem trocar o estado do sistema.

Os mecanismos de decisão e controle da atividade

Estes se subdividem em cinco categorias:

- regras de seleção das ações, que procedem na escolha da ação a realizar de acordo com as informações que constituem o estado da representação;
- regras de avaliação dos resultados da ação por confrontação do estado da situação e dos objetivos perseguidos;
- regras de antecipação, permitindo levar em conta o resultado de ações consideradas mas não efetuadas;
- regras de exploração dos elementos da situação;
- regras que asseguram a gestão dos processos de nível ii, que garantem, por exemplo, em quais condições podem ser iniciados.

Este quadro nos serve para construir diferentes modelos e para facilitar a comparação entre eles. Mostra o conjunto dos componentes a partir dos quais podemos descrever um modelo.

Nenhum dos modelos existentes comporta todos os componentes descritos. Isto provém do fato que, até agora, só fizemos modelos locais, o que permite deixar implícito certos processos (os processos de interpretação, por exemplo). Além disso, existem certos modelos relativos a situações que não são evolutivos e que eventualmente não comportam retroalimentação.

CONCLUSÃO

A ferramenta cognitiva apresenta-se como uma ponte natural entre o mundo platônico das idéias (onde pairam as ciências ditas humanas) e o mundo dos fenômenos (onde as idéias relativas a Planejamento Estratégico, Teorias Japonesas de Administração, Automação, Controle

de Processos, se transformam em sucesso ou fracasso). Mais e mais reafirma-se a tendência holística da abordagem sistêmica de problemas, ressaltando-se o aspecto psicológico da organização.

Uma coisa que Piaget descobriu foi (invertendo a lei biogenética) que "a filogênese é uma recapitulação da ontogênese", isto é, a humanidade (os cientistas como coletividade) evoluem do mesmo modo que as crianças imitando as explicações que a criança dá para acaso, probabilidade, lei, necessidade lógica etc. (a criança explica o Homem, segundo Piaget).

Desde Aristóteles, por exemplo, todo mundo supõe que a vida mental procede da Percepção. Piaget demonstrou que essa afirmativa é falsa. A vida mental é uma dublagem da ação. Primeiro o estímulo, depois a resposta, dizem os psicólogos. Para Piaget, primeiro vem a resposta. É a resposta que busca por um estímulo. A neurobiologia vem suportar os experimentos bem sucedidos de Piaget. O estímulo só estimula se o organismo (mente) estiver preparado (necessidade) para recebê-lo.

A Modelagem Cognitiva de Sistema traz enfoques novos e promissores a todas as áreas do Conhecimento.

Em particular, permite fazer a distinção importante entre uma Lógica de Funcionamento, como o projetista imagina que seu produto ou sistema será utilizado, e uma Lógica de Utilização. Como ele é, de fato, utilizado.

Ao estudarmos os processos, identificando todas as caixas e todos os arcos apresentados na *Figura 1*, estamos, de fato, descobrindo as Leis que definem a Lógica de Utilização. Estas leis nos permitem explicar o porque de acidentes e má utilização de sistemas e equipamentos.

Ao construirmos mecanismos capazes de explicar os processos observados podemos pensar em agir de forma preventiva, impedindo acidentes.

Em síntese, o objetivo do Ergonomista Cognitivo é o de contribuir, com o seu saber, para diminuir a distância entre a Lógica de Funcionamento e a Lógica de Utilização.

REFERÊNCIAS EVANS, J. St. B. T. (1982) *Thinking and reasoning, psychological approaches*. Londres: Routledge Kegan Paul.

JOHNSON-LAIRD, P. N. (1980) Mental models in cognitive science. *Cognitive Science*, 4, 71-115.

JOHNSON-LAIRD, P. N. (1988) How to Reason Silogistically. In: COLLINS, Allan; SMITH, Edward E. (Ed.) *Readings In Cognitive Science, A Perspective From Psychology And Artificial Intelligence*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.

JOHNSON-LAIRD, P. N.; WASON, P. C. (1980) *Thinking: Readings in Cognitive Science*. New York: Cambridge University Press.

RICHARD, J. F. (1974) *Attention et apprentissage*. Paris: PUF.

ABBOT, V.; BLACK, J. B. et al. The representation of scripts in memory. *Journal of Memory and Language*, 24, 179-199.

**BIBLIOGRAFIA
RECOMENDADA**

ANDERSON, J. R. (1988) Aquisition of Cognitive Skill. In: COLLINS, Allan; SMITH, Edward E. (Ed.) *Readings In Cognitive Science, A Perspective From Psychology And Artificial Intelligence*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.

ANDERSON, J. R. (1988) A Spreading Activation Theory of Memory. In: COLLINS, Allan; SMITH, Edward E. (Ed.) *Readings In Cognitive Science, A Perspective From Psychology And Artificial Intelligence*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.

ANZAI, Y., SIMON, H. A. (1979) The theory of learning by doing. *Psychological Review*, 86, 124-140.

AUDIGIER, M. N. et al. (1979) *Enquête sur l'enseignement des mathématiques à l'école élémentaire 1 - comportements des élèves, 2 - opinion des maîtres*. Paris: INRP.

AUSUBEL, A. D. (1968) *Educational psychology, a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart.

BADDELEY, A. D. (1966) The influence of acoustical and semantic similarity on long term memory for word sequence. *Quart. J. Exp. Psychol.* 18, 302-309.

BARTLETT, F. (1932) *Remembering: a study in experimental and social psychology*. Londres: Cambridge Univesity Press.

BASTIEN, C. (1984) Réorganisation et construction de schèmes dans la résolution de problème. In : *Psychologie Française*. 29, 3/4, 243-246.

BASTIEN, C. (1987) *Schèmes et stratégies dans l'activité cognitive de l'enfant*. Paris: PUF.

- BERGSON, H. (1939) *Matière et Mémoire*. Presses Universitaires de France.
- BISSERET, A. (1970) Mémoire opérationnelle et structure de travail. *Bulletin de Psychologie*, XXIV, 280-294.
- BISSERET, A.; ENARD, C. (1970) Le problème de la structuration de l'apprentissage d'un travail complexe. *Bulletin de Psychologie*, XXIV, 280-294.
- BLACK, J. B. (1983) Understanding and remembering stories. In: ANDERSON, J. R.; KOSSLYN, S. M. (Ed.) *Tutorials in learning and memory*. São Francisco: Freeman.
- BLACK, J. B.; BOWER, G. H. (1980) Story understanding as problem-solving poetics special issue. VAN DIJK, T. A. (Ed.), 9, 1-3, 223-250, traduit In: DENHIÈRE G., *Il était une fois*. Presses Universitaires de Lille, 1984.
- BODER, A. (1982) *Le rôle organisateur du schéma familial en situation de résolution de problème*. Thèse de doctorat de Psychologie, Université de Genève.
- BONNET, C.; GHIGLIONE, R.; RICHARD, J. F. (1989) *Traité de psychologie cognitive*. Tome 1, Perception, action, langage. Paris: Dunod.
- BOURNE, L. E. Jr. (1967) Learning and utilization of conceptual rules. In: KLEINBMUTZ, B. (Ed.) *Concepts and the structure of memory*. New York: Wiley, 1-32.
- BROADBENT, D. E. (1975) The magic number seven after fifteen years. In: KENNEDY, E.; WILKES, A. (Ed.) *Studies in long term memory*. New York: Wiley.
- BROADBENT, D. E. (1978) *Perception and communication*. Londres: Pergamon Press.
- BROOKS, L. R. (1968) Spatial and verbal components of the act of recall. *Canadian Journal of Psychology*, 22, 349-368.

BROWN, J. S.; VANLEHN, K. (1988) Repair Theory: A Generative Theory of Bugs in Procedural Skills. In: COLLINS, Allan; SMITH, Edward E. *Readings In Cognitive Science, A Perspective From Psychology And Artificial Intelligence*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.

BROWN, R. (1977) *A First Language: The Early Stages*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

BROWN, J. W. (1980) Language, brain, and the problem of localization. In: CAPLAN, D. (Ed.) *Biological Studies of Mental Process*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

BRUNER, J. S. et al. (1956) *A study of thinking*. New York: L. Willey.

CARBONNEL, J. G. (1983) Learning by analogy: formulation and generalizing plans from past experience. In: MICHALSKI, R. S.; CARBONNEL, J.; MITCHELL, T. M. (Ed.) *Machine learning*. Tiago Palo Alto. Berlin: Springer Verlag, 137-16.

CARON, J. (1987) Une méthode d'analyse de protocole verbal obtenu en situation d'apprentissage par l'action. *Actes du Colloque Les apprentissage: perspectives actuelles*. Saint-Denis: Université de Paris VIII.

CARPENTER, T. P.; HIBERT, J.; MOSER, J. M. (1981) Problem structure and first-grade children's initial solution processes for simple addition and subtraction problems. *J. for Recherche in mathematics education*, 12, 27-39.

CARROLL, J. M.; MACK, R. L. (1985) Metaphors, computing systems and active learning, *Int. J. Man machine Studies*, 22, 39-57.

CAUZINILLE, E. et al. (1979) Traitement et recherche d'information dans la résolution de problèmes d'indentification par des enfants. *Bulletin de psychologie, n. spécial l'intelligence*, XXXII.

_____. (1980) *Recherches sur le raisonnement expérimental chez des élèves de 6. e 5. et chez des étudiants débutants en sciences humaines*. Rapport d'ATP CNRS, Université de Paris VIII.

CAUZINILLE, E.; MATHIEU, J. (1985) Apprendre à jouer à l'hexapion. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 5, 2, 127-147.

CAUZINILLE, É.; MATHIEU, J.; WEIL-BARAIS, A. (1983) *Les savants en herbe*. Berne: Peter Lang.

DELEUZE, G. (1968) *Différence et Répétition*. Presses Universitaires de France.

DELORME, J. (1985) *Étude de la compréhension de problèmes additifs chez des enfants en difficulté en mathématique*. Paris: mémoire de DEA, Université de Paris VIII.

DENHIÈRE, F. N.; DESCHÈNES, A. J. (1985) Connaissances initiales et acquisition d'informations nouvelles à l'aide de textes. Première partie: Aspectes théoriques et méthodologiques. Deuxième partie: Études empiriques et problèmes à résoudre. *Rapport de recherche CEPCO*. n. 39 et 40.

ESCARABAJAL, M. C.; RICHARD, J. F. (1986) Le transfert analogique de procédures dans l'interprétation et la résolution d'un problème d'inclusion de classes chez des adultes. *Archives de Psychologie*, 54, 39-64.

EVERT, P. H.; LAMBERT, J. F. The effects of verbal instructions upon the formation of a concept. *J. of General Psychology*, 6, 400-413.

EYSENCK, M. W. (1982) *Attention and arousal*. Berlin: Spinger Verlag.

EYSENCK, M. W.; KEANE, M. T. (1993) *Cognitive Psychology: A Students Handbook*. London: LEA Publishers.

FAEZON, P. (1983) Understanding a technical language: a schema-based approach. *Rapport Recherche INRIA*, Rocquencourt, n 237.

_____. (1987) *Langages opératifs et compréhension opérative*, Thèse de Doctorat de 3 cycle, Université de Paris V.

FAUST, R. (1992) *Contribuições da semiótica e psicologia cognitiva à construção de software: uma investigação*. Projeto de bacharelado em Ciências da Computação pela UFSC. Florianópolis.

GENARO, S. (1988) *Sistemas Especialistas, o conhecimento artificial*. São Paulo.

GENTNER, J. (1975) Evidence for the psychological reality of semantic components: the verb of possession. In: NORMAN, D. A.; RUMELHART, D. R. (Ed.) *Explorations in cognition*. São Francisco: Freeman.

GENTNER, D.; GENTNER, D. R. (1983) Flowing waters or teeming crowds: mental models of electricity. In: GENTNER, D.; STEVENS, A. L. (Ed.) *Mental Models*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum.

GENTNER, D.; STEVENS, A. L. (Ed.) (1983) *Mental Models*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum.

GRECO, P. (1980) Comment ça marche? *Bulletin de psychologie*, XXXIII, 633-637.

GREENO, J.G. (1974) Hobbits and ores: acquisition of sequential concept. *Cognition Psychology*, 6, 270-294.

GRIGGS, R. (1976) Logical processing of set inclusion relations in meaningful text. *Memory and Cognition*, 4, 730-740.

GRUMBACH, A.; NGUYEN-XUAN, A. et al. (1984) Un modèle d'apprentissage par l'action: la course à 20. Orsay: *Actes du Colloque de l'ARC*.

GUIFORD, J. P. (1967) *The nature of human intelligence*. New York: Mc Graw Hill.

HADAMARD, J. (1975) *Essai sur la psychologie de l'invention dans le domaine mathématique*. Paris: Gauthiers-Villars.

HARMON, P.; KING, D. (1988) *Sistemas Especialistas*. Rio de Janeiro: Campus.

HARRIS, G. J.; FLEER, P. B. (1974) High speed memory scanning in mental retardates: evidence for a central processing deficit. *J. of Exp. Child Psychology*, 17, 452-459.

HAYES, J. R.; SIMON, H. A. (1974) Understanding written problem instructions. In: GRECCO, L. W. (Ed.) *Knowledge and cognition*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum.

HOC, J. M.; LEPLAT. (1986) Evaluation of different modalities of verbalisation in a sorting task. *Int. J. Man-Machine Studies*, 18, 3, 293-306.

HOC, J. M.; NGUYEN-XUAN, A. (1987) Les modèles informatiques de la résolution de problème. In: PIAGET, J.; MOUNUD, P.; BRONCKART, J. P. (Ed.) *Psychologie*. Paris: Encyclopédie de la Pléiade, Gallimard.

HOFFMAN, R. R. (1987) The problem of Extracting the Knowledge from the Perspective of Experimental Psychology. *AI Magazine*, p.53-66, Summer.

HOFSTADER, Douglas R. (1980) GÖEDEL, ESCHER, BACH: *An Eternal Golden Braid*, Vintage Books.

HOFSTADTER, D. R.; DENNETT, D. C. (Ed.) (1983) *The Mind's I*. New York: Basic Books.

HOLLAND, J. H. et al. (1993) *Induction: Process of Inference, Learning and Discovery*. Massachusetts: MIT Press.

INHELDER, B.; PIAGET, J. (1976) *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent*. Paris: PUF.

_____ (1979) Procédures et structures. *Archives de Psychologie*, XLVII, 181, 165-176.

KINTSCH, W.; VAN DIJK, T. (1978) Toward a model of text comprehension and production. *Psychological Review*, 85, 363-394.

LEPLAT, J. (1985) Les représentations fonctionnelles dans le travail. In: EHRLICH, S. (Ed.) *Les représentations, Psychologie Française*, 30, 3, 4, 269-275.

LEPLAT, J.; CUNY, X. (1977) Caractéristique et fonctions des représentations dans une situation de contrôle de processus. *Rapport du Laboratoire de Psychologie du Travail*. Paris: E. P. H. E.

LEPLAT, J.; HOC, J. M. (1983) Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 3-1, 49-63.

LESGOLD, A. M. (1983) Acquiring expertise. In: ANDERSON, J. R.; KOSSLYN, S. M. (Ed.) *Tutorials in learning and memory*. São Francisco: Freeman and Co.

- LEVINE, M. (1966) Hypothesis by humans during discrimination learning. *J. Exper. Psychol.*, 71, 331-338.
- LURIA, A. R.; TSVETSKOVA, L. S. (1967) *Les troubles de la résolution de problèmes, analyse neuropsychologique*. Traduction R. L'HERMITTE. Paris: Gauthiers-Villars.
- McCLELLAND, J. L.; RUMELHART, D. E. (1981) An interactive model of context effects in letter perception: Part I; An account of basic findings. *Psychological Review*, 88, 375-407.
- McCLELLAND, J. L.; RUMELHART, D. E.; HINTON, G. E. (1988) The Appeal of Parallel Distributed Processing. In: COLLINS, Allan; SMITH, Edward E. (Ed.) *Readings In Cognitive Science, A Perspective From Psychology And Artificial Intelligence*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.
- MILLER, G. (1956) The magical number seven or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- MINSKY, M. (1975) A framework for representing knowledge. In: WINSTON, P. (Ed.) *The psychology of computer vision*. New York: McGraw Hill, 211-277.
- MINSKY, M. (1988) A Framework for Representing Knowledge. In: COLLINS, Allan; SMITH, Edward E. (Ed.) *Readings In Cognitive Science, A Perspective From Psychology And Artificial Intelligence*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.
- MITCHELL, T. M.; KELLER, R. M.; KEDAR-CABELLI, S. T. (1988) Explanation-Based Generalization: A Unifying View. In: COLLINS, Allan; SMITH, Edward E. (Ed.) *Readings In Cognitive Science, A Perspective From Psychology And Artificial Intelligence*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.
- NEWELL, A.; SIMON, H. A. (1972) *Human problem solving*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall.
- NEWELL, A.; SIMON, H. A. (1988) The Theory of Human Problem Solving. In: COLLINS, Allan; SMITH, Edward E. (Ed.) *Readings In Cognitive Science, A Perspective From Psychology And Artificial Intelligence*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.

NEWELL, A.; SIMON, H. A. (1988) GPS, a Program that Simulates Human Thought. In: COLLINS, Allan; SMITH, Edward E. (Ed.) *Readings In Cognitive Science, A Perspective From Psychology And Artificial Intelligence*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.

NGUYEN-XUAN, A. et al. (1987) L'apprentissage de la déduction en géométrie. In: COLOMB, J.; RICHARD, J. F. (Ed.) *Résolution de problèmes en mathématique et physique*, INRP, Rapports de Recherche, 12.

NICHOLSON, R. I. (1982) Cognitive factors in simple reaction: a developmental study. *J. Motor Behavior*, 14, 69-80.

NIELSEN, G. D.; SMITH, E. E. (1973) Imaginal and verbal representation in short term recognition of visual forms. *J. Exper. Psychology*, 101, 375-378.

NIETZSCHE, F. *La Genealogie de la Moral*, Alianza.

NISBETT, R. E.; WILSON, T. D. (1977) Telling more than we can know. *Psychological Review*, 84, 231-259.

NOIZET, G.; PICHEVIN, C. (1966) Organisation paragrammatique et organisation syntagmatique du discours. *Année Psychologique*, 66, 91-110.

NORMAN, D. A.; RUMELHART, D. E. (1975) Memory and knowledge. In: NORMAN, D. A.; RUMELHART, D. E. (Ed.) *Explorations in cognition*. São Francisco: Freeman and Co.

_____. (1975) *Explorations in cognition*. São Francisco: Freeman and Co.

OCHANINE, D. (1981) *L'image opérative*. Actes d'un séminaire in memoriam. Université de Paris V.

OSHERSON, D. N.; SMITH, E. E. (1981) On the adequacy of prototype theory as a theory of concepts. *Cognition*, 9, 35-58.

PAIGE, J. M.; SIMON, H. A. (1976) Cognitive processes in solving algebra word problems. In: KLEINMUTZ, B. (Ed.) *Problem solving, research and method*. New York: Wiley.

- PAILHOUS, J. (1970) *La représentation de l'espace urbain*. Paris: PUF.
- PAILLARD, J. (1987) L'ordinateur et le cerveau: un contraste saisissant, *AFCET, Interfaces*, 57, 4-9.
- _____. (1987) Système nerveux et fonctions d'organisation. In: PIAGET, J.; MOUNOUD, P.; BRONKART, J. P. (Ed.) *Psychologie*. Paris: Encyclopédie de la Pléiade, Gallimard.
- _____. (1987) Aspects neurologistiques des fonctions d'utilisation du milieu. In: PIAGET, J.; MOUNOUD, P.; BRONKART, J. P. (Ed.) *Psychologie*. Paris: Encyclopédie de la Pléiade, Gallimard.
- PIAGET, J. (1974) *Réussir et comprendre*. Paris: PUF.
- _____. (1974) *La prise de conscience*. Paris: PUF.
- PIÉRAUT-LE BONNIEC, G. (1982) From rhythm to reversibility. In: FOREMAN, G. E. (Ed.) *Action and thought*. New York: Academic Press.
- PIÉRAUT-LE BONNIEC, G.; RAPP DUCHER, E. (1982) Le périmètre du carré: exemple d'une coordination. *Archives de psychologie*, 50, 285-301.
- PYLYSHYN, Z. W. (1988) The Imagery Debate: Analogue Media Versus Tacit Knowledge. In: COLLINS, Allan; SMITH, Edward E. (Ed.) *Readings In Cognitive Science, A Perspective From Psychology And Artificial Intelligence*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.
- PYLYSHYN, Z. W. (1976) What the mind's eye tells the mind's brain: a critique of mental imagery. *Psychological Bulletin*, 80, 1-24.
- QUILLIAN, M. R. (1988) Semantic Memory. In: COLLINS, Allan; SMITH, Edward E. (Ed.) *Readings In Cognitive Science, A Perspective From Psychology And Artificial Intelligence*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.
- RASMUSSEN, J. (1983) Skills, rules and knowledge: signals, signs and symbols and other distinctions in human performance models, IEE Transactions on Systems. *Man and cybernetics*, vol. SMC-13, 3, 257-266.

RATCLIFF, R.; Mc KOON, G. (1981) Does activations really spread? *Psychological Review*, 88, 454-462.

RICHARD, J. F.; POITRENAUD, S. (1988) Problématique de l'analyse des protocoles individuels d'observations comportementales. In: CAVERNI, J. P.; BASTIEN, C.; MENDELSON, P.; TIBERGUIEN, G. (Ed.) *Psychologie Cognitive: concepts et méthodes*. Grenoble: PUG.

ROSCH, E. (1977) Human categorization. *Advances in cross-cultural psychology*. Londres: Academic Press.

RUMELHART, D. E.; HINTON, G. E.; WILLIAMS, R. J. (1988) Learning Internal Representations by Error Propagation. In: COLLINS, Allan; SMITH, Edward E. (Ed.) *Readings In Cognitive Science, A Perspective From Psychology And Artificial Intelligence*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.

SACERDOTI, E. D. (1977) *Astructure for plans and behavior*. New York: Elsevier Computer Library.

SANTA, J. L. (1977) Spatial transformation of words and pictures. *J. of Exper. Psychology: Human Learning and Memory*, 3, 418-427.

SCHANK, R. C.; ABELSON, R. P. (1988) Scripts, Plans, Goals and Understanding. In: COLLINS, Allan; SMITH, Edward E. (Ed.) *Readings In Cognitive Science, A Perspective From Psychology And Artificial Intelligence*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.

SÉBILLOTTE, S. (1976) Découverte du critère de partition et de la propriété caractéristique d'une classe. *Mémoire de maîtrise*. Université de paris VIII.

SELLS, S. B. (1936) The atmosphere effect: an experimental study of reasoning. *Archives of Psychology*, n. 200, 29, 3-72.

SHEPARD, R. N.; METZELER, J. (1971) Mental rotation of three dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.

SHEPARD, R. N.; METZELER, J. (1988) Mental Rotation of Three-Dimensional Objects. In: COLLINS, Allan; SMITH, Edward E. (Ed.) *Readings In Cognitive Science, A Perspective From Psychology And Artificial Intelligence*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.

SIMON, H. A. (1978) Information-processing theory of human problem solving. In: ESTES, K. W. (Ed.) *Handbook of learning and cognition processes*, vol. 5, human information processing. New York: Wiley.

SIMON, H. A.; HAYES, J. R. (1976) Understanding complex instructions. In: KLAHR, D. (Ed.) *Cognition and instruction*, 271-285.

SPERLING, G. (1960) The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs*, n. 498.

SPRINGER, S. P.; DEUTSCH, G.. (1985) *Left Brain, Right Brain*. San Francisco, Calif.: W. H. Freeman, revised edition.

STERNBERG, R. J. (1977) *Intelligence, information processing and analogical reasoning*. Hillsdale N. J.: Lawrence Erlbaum.

STEVENS, A.; COUPE, P. (1978) Distortions in judged spatial relations. *Cognitive Psychology*, 10, 422-437.

TERRACE, H. S. (1980) *Nim: A Chimpanzee Who Learned Sign Language*. New York: Knopf.

TVERSKY, A. (1988) Features of Similarity. In: COLLINS, Allan; SMITH, Edward E. *Readings In Cognitive Science, A Perspective From Psychology And Artificial Intelligence*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.

VAN DIJK, T. A.; KINTSCH, W. (1983) *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.

VAN LEHN, K.; BROWN, J. S. (1980) Planning nets: a representation for formalizing analogies and semantic models of procedural skills. In: SNOW, R. E.; FREDERICO, W. E.; MONTAGNE, W. E. (Ed.) *Aptitude learning and instruction*. LEA, Hillsdale N.J.: Lawrence Erlbaum.

VERGNAUD, G. (1985) Données d'observation sur l'utilisation d'une consigne écrite; l'atomisation de l'action. *Le travail humain*, 48,2, 161-172.

VEZIN, L. (1986) *Communication des connaissances et activite de l'élève*. Saint-Denis: Presses Universitaires de Vincennes.

WASON, P. C. (1977) On the failure to eliminate hypotheses, a second look. In: JOHNSON-LAIRD, P. N., WASON, P. C. (Ed.) *Thinking: readings in cognitive science*. Open University.

WASON, P. C.; JOHNSON-LAIRD, P. N. (1972) *Psychology of reasoning, structure and content*. Londres: Batsford.

WASON, P. C.; EVANS, J. (1975) Dual processes in reasoning, *cognition*, 3, 141-154.

WATERMAN, D. A. (1986) *A guide to expert systems*. Reading, MA, Addison Wesley.

WOODS, W. A. (1988) What's in a Link: Foundations for Semantic Networks. In: COLLINS, Allan; SMITH, Edward E. *Readings In Cognitive Science, A Perspective From Psychology And Artificial Intelligence*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.

3

Detecção e Percepção de Sinais

Lia Buarque de Macedo Guimarães

Na Segunda Guerra Mundial, a metade dos bombardeiros fabricados para atacar o exército alemão caíram, não em função do ataque inimigo mas, sim, durante o primeiro ano de treinamento. Isto era dramático porque os aviões de última geração eram caros, a capacidade de reposição da indústria americana era limitada e era difícil repor a tripulação em tempo hábil devido ao prazo necessário para treinamento. Uma investigação quanto as causas destes desastres concluiu que a maior culpa era dos altímetros, os quais foram desenhados com superposição de escalas, o que induzia a erros de leitura. O estudo de Fitts e Jones (1947¹ e 1947² *apud* Murrell, 1965) permitiu o redesenho de melhores altímetros, e contribuíram para aumentar o conhecimento científico sobre percepção.

¹FITTS, P. M.; JONES, R. E. (1947) *Analysis of factors contributing to 460 "pilot error" experiences in operating aircraft controls*. U.S.A.F. Air Material Command Memo Rept. No. TSEAA-694-12.

²FITTS, P. M.; JONES, R. E. (1947) *Psychological aspects of instrument display. I. Analysis of 270 "pilot error" experiences in reading and interpreting aircraft instruments*. U.S.A.F., Air Material Command, Wright-Patterson A.F. Base. Memo Rept. No. TSEAA-694-12A.

O termo percepção diz respeito à captação, por parte do sujeito, das informações que importam para uma dada ação. Isto inclui a leitura de medidores, a recepção de sinais auditivos etc. As dificuldades perceptivas não podem ser subestimadas, pois aumentam o esforço mental necessário e, às vezes, a ansiedade causada pela incerteza da compreensão do sinal. As mensagens verbais ou não verbais, transmitidas oralmente ou por intermédio de um dispositivo de transmissão, podem ser deformadas ou parcialmente encobertas. O problema das mensagens transmitidas oralmente é acentuado quando o ouvinte não está familiarizado com a linguagem do locutor. Outras questões podem dificultar a leitura de indicadores: A vibração, por exemplo, torna difícil visualizar a informação em um painel. Da mesma forma, problemas de iluminação interferem na percepção visual. Todos estes exemplos apontam para os produtos mais importantes de nossos tempos: a comunicação e a informação.

O ser humano dispõe de vários canais sensoriais que podem servir como receptores de informação:

- visão
- audição
- tato
- vibração mecânica, senso de rotação, gravidade, movimento
- dor
- temperatura
- olfato
- paladar

A seleção do canal depende:

- do tipo de informação a ser transmitida
- da forma de usá-la
- da localização do sujeito
- do ambiente em que atua
- da natureza do canal sensorial

INFORMAÇÃO AUDITIVA

Fisiologia da audição

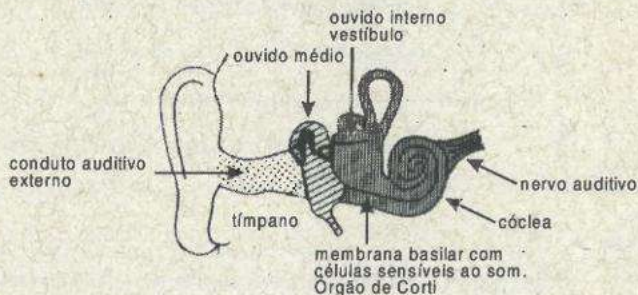
A seguir, será feita uma breve revisão das bases fisiológicas da audição e visão, por serem os canais mais usados no dia-a-dia. A revisão foi baseada em Guyton (1973) e Grandjean (1998). Para maiores informações, o leitor deve consultar estes autores, entre outros.

Os sons chegam por vibrações do ar, ao ouvido, que é dividido em três partes: ouvido externo, ouvido médio, ouvido interno. As vibrações são captadas pelo ouvido externo, transformam-se em vibrações mecânicas no ouvido médio e em pressões hidráulicas no ouvido interno. Estas pressões são captadas por células sensíveis no ouvido interno e transformadas em sinais elétricos que se transmitem ao cérebro, onde o som é "ouvido".

As ondas sonoras fazem a membrana do tímpano vibrar e estas vibrações são transmitidas ao ouvido interno pelo sistema ossicular auditivo, constituído do martelo, bigorna e estribo. A pressão na face interna do tímpano é mantida igual à pressão atmosférica graças à entrada de ar desde a nosofaringe através das trompas de Eustáquio. Assim, o movimento oscilatório atua como único mecanismo a deslocar a membrana timpânica. A passagem do som do ouvido médio para o ouvido interno se dá pela pressão do estribo contra a endolinfa da cóclea, através da janela oval. A cóclea, que tem o formato de um caracol, possui três partes distintas: a escala vestibular, a escala média e a escala timpânica. Ali, fluídos transmitem as vibrações ao longo da

cóclea e daí de volta à janela oval. Entre a escala média e a escala timpânica está a membrana basilar, dividindo a cóclea longitudinalmente em duas câmaras. Ao longo de toda a cóclea, a membrana basilar tem cerca de 20000 fibras, fixas na extremidade junto do modíolo e livres na extremidade distal, o que permite que vibrem como se fossem a palheta de uma harmônica. As fibras basilares da base da cóclea são finas e curtas, e vibram com sons de alta frequência, enquanto que as fibras basilares do ápice da cóclea são compridas e grossas e vibram com sons de baixa frequência. A vibração da membrana e das fibras basilares ocasiona o deslocamento dos bastonetes de Corti e da lâmina reticular, onde se encontram as células ciliares internas e externas que são células sensíveis que convertem as pressões sonoras em impulsos nervosos. Cada célula no órgão de Corti é sensível a uma faixa de frequência, que soa em uma dada altura e passa o estímulo a uma única fibra nervosa, que transmite ao cérebro. As células no ápice da cóclea são estimuladas por sons de baixa frequência, enquanto que aquelas da base da cóclea respondem às altas frequências. Um esquema da anatomia do ouvido humano está representado na *Figura 1*.

Figura 1
Anatomia do ouvido humano. Na parte sombreada em cinza está a cóclea responsável pela detecção do som, e o vestibulo que percebe aceleração.



Até chegar no órgão de Corti, as transmissões são eminentemente mecânicas e, a partir daí, são transformadas em fenômenos elétricos que se transmitem pela enervação auditiva até chegar ao córtex cerebral, pela medula, passando por duas sinapses (conexões nervosas). Entre estas sinapses, as fibras nervosas contactam o sistema reticular e daí o córtex cerebral, de forma que qualquer excitação por parte de sinais acústicos é percebida pelo indivíduo, perturbando o sono, reduzindo a concentração etc. No córtex, os impulsos independentes advindos dos nervos auditivos são localizados e integrados, gerando a impressão do som. É importante frisar que "ouvir" é um fenômeno do cortex e que o ouvido interno e todo o sistema auditivo são apenas um mecanismo de transmissão, isto é, a interface entre o som atmosférico e a percepção consciente no nível cortical.

Funções da audição

As funções principais da audição são as de veicular uma informação específica como base de comunicação entre as pessoas; e como alarme, já que esta característica tem um papel importante para manutenção de estado de alerta e chamada de atenção, imprescindíveis em situação de perigo. Em projetos de *displays*, por exemplo, é comum veicular informação visualmente, reservando a sinalização sonora para chamar a atenção em situações de emergência, perigo, crise etc. Sinais acústicos têm vantagens sobre os visuais, pois são multidirecionais e contornam obstáculos, favorecendo a segurança em determinadas situações. Por outro lado, um ruído de fundo pode prejudicar a comunicação e transmissão de informações comprometendo a segurança. Ouvir constantemente o funcionamento de uma máquina, por exemplo, pode causar a não identificação de um risco em potencial.

Como os ouvidos podem receber informações provenientes de todas as direções, a forma auditiva de comunicação é recomendada:

- para sinais de alarme e emergência
- para mensagens simples e curtas
- quando trata de eventos no tempo
- quando velocidade é importante
- se a pessoa está em constante movimento
- se está sujeita a anoxia ou aceleração positiva

INFORMAÇÃO VISUAL
Fisiologia da visão

O olho é o órgão receptor da visão. A pupila, uma abertura na íris, permite a entrada maior ou menor de luz. Atrás da pupila está o cristalino, que é uma lente através da qual os raios de luz são transmitidos e focalizados. O foco da lente é acertado pela musculatura ciliar, que provoca alterações na curvatura da lente. No fundo do olho fica a retina, onde estão as células fotossensíveis, os cones e bastonetes. Estas células sensíveis à luz e, no caso dos cones, também à cor, transformam os estímulos luminosos em sinais elétricos, que são conduzidos pelo nervo óptico ao cérebro, onde se produz a sensação visual. Quando a luz que chega à retina é inferior a $0,01 \text{ cd/m}^2$, ocorre estimulação dos bastonetes. Quando é maior que 50 cd/m^2 , ou seja, alto nível de luminância, há estimulação dos cones. No nível entre $0,01$ e 50 cd/m^2 , os dois tipos de receptores são estimulados. Os cones são cerca de 6 a 7 milhões, concentrados no fundo da retina, isto é, na fóvea central. À medida que se afasta da fóvea, os cones aparecem misturados com bastonetes. Na periferia eles desaparecem, deixando lugar apenas para os bastonetes. Os bastonetes são cerca de 130 milhões, estando mais

concentrados na periferia. São sensíveis a baixos níveis de iluminação distinguindo apenas tons de cinza. Os cones só são estimulados a altos níveis de iluminação, e são responsáveis pela percepção de cores. As cores são um importante estímulo visual, mas sua utilização exige cuidado devido ao número de pessoas, principalmente homens (em torno de 8% da população masculina), que tem alguma dificuldade de percepção de cor, conforme mostra a *Tabela 1*.

Tabela 1
Dificuldade de percepção de cor (Silverstein, 1987)

Designação			Incidência na população (%)	
Por número de componentes	Por tipo	Discriminação de cor possível	Homem	Mulher
tricromatismo (normal ou deficiência de visão a cor)	normal	C-E, Y-B, R-G	-	-
	protanomia	C-E, Y-B, R-G	1,0	0,02
	deuteranomalia	fraco C-E, Y-B, R-G	4,9	0,38
dicromatismo (cegueira parcial para cor)	protanopia	C-E, Y-B	1,0	0,02
	deuteranopia	C-E, Y-B	1,1	0,01
	tritanopia	C-E, R-G	0,002	0,001
monocromatismo (total cegueira para cor)	total cegueira para cor, congênito	C-E	0,003	0,002

C-E
Y-B amarelo-azul
R-G vermelho-verde

CARACTERÍSTICAS DA VISÃO

Acuidade visual

É a capacidade para discriminar pequenos detalhes. Depende da iluminação e do tempo de exposição. Dentro dos níveis de iluminamento normal, a acuidade varia linearmente com o aumento logarítmico da intensidade luminosa. Entretanto, luzes muito fortes prejudicam a acuidade porque provocam contração da pupila.

Acomodação

É a capacidade do olho em focalizar o mesmo objeto. A menor distância é de 10cm. Os olhos percebem os objetos de ângulos diferentes e formam duas imagens diferentes que são integradas no cérebro, dando a impressão de profundidade.

Ofuscamento

O ofuscamento é a condição visual que ocorre quando a faixa de luminâncias no campo visual é muito ampla. Ocorre quando fontes muito brilhantes, como luminárias, janelas ou suas reflexões caem no campo de visão, resultando em uma perturbação do processo de adaptação visual. É uma fonte de desconforto, distração e, em casos extremos, de prejuízo visual (redução da acuidade). O ofuscamento pode ser direto ou refletido e aumenta com a luminância e o tamanho do objeto no campo visual. Tapos de mesas muito reflexivos e até papéis de alta luminância também podem ser considerados como fontes de ofuscamento. Para minimizar o ofuscamento é necessário minimizar a diferença de claridade no campo visual.

Adaptação à luz e à penumbra

Quando se passa de um ambiente escuro para o claro, há ofuscamento temporário, que dura 1 ou 2 minutos, até que os cones comecem a funcionar normalmente. No sentido inverso, do claro para o escuro, a adaptação é mais demorada. Os cones deixam de funcionar para aumentar a sensibilidade dos bastonetes. O tempo de adaptação ao escuro pode durar 30 min ou mais e varia de indivíduo para indivíduo. Para tanto, pessoas que precisam trabalhar em ambientes mal iluminados devem iniciar o processo de adaptação pelo menos meia hora antes, usando óculos escuros. O olho adaptado à penumbra torna-se mais sensível do que aquele adaptado à luz. Na visão diurna, os bastonetes não ficam desativados, mas são responsáveis pela visão periférica, principalmente percepção de movimento.

Funções da visão

A visão é o sentido mais importante do ser humano, pois os olhos são a maior fonte de contato entre o homem e seu meio ambiente. Tarefas de controle, vigilância, inspeção dependem basicamente do sentido da visão, cuja eficiência vai depender do nível de iluminamento adequado para execução do trabalho e do grau de exigência que a tarefa impõe sobre o trabalhador. Muitos dos trabalhos executados com base na tecnologia informatizada exigem operação diária sobre uma tela de raios catódicos, e a maioria dos problemas observados com estes trabalhadores advém da má qualidade do monitor, do tipo de caracter utilizado (com baixa legibilidade, por exemplo) e da iluminação local (existência de reflexo, por exemplo). Problemas visuais são, também, constantes na indústria têxtil e eletrônica.

As dificuldades na percepção visual contribuem para aumentar a sobrecarga mental e reduzir a eficiência do trabalhador. Grandjean (1998) comenta sobre a sobrecarga mental em trabalhadores do controle de qualidade de uma empresa de polimento de lentes oftálmicas. O trabalho não estava satisfatório e os empregados estavam ansiosos por não conseguirem executar a tarefa. A solução para minimizar o estresse foi colocar a cada vinte lentes uma lente “padrão” que apresentasse os defeitos máximos aceitáveis para uma peça. A lembrança destes reduzia o esforço de memória e mantinha o nível de detecção de sinal.

O sistema visual pode detectar detalhes de sinais e, portanto, os meios visuais são recomendados:

- para recepção de sinais complexos ou abstratos;
- para mensagens longas;
- quando a mensagem detém orientação espacial ou se locali-

za em pontos no espaço;

- se não há urgência na transmissão da mensagem;
- se o ambiente não é silencioso;
- se o sujeito fica fixo em um posto.

A supremacia da comunicação visual sobre os demais meios deve-se:

- ao seu caráter atemporal;
- à universalidade das imagens pictográficas;
- à riqueza de atributos (forma, cor, movimento).

Meios de comunicação visual

A escrita

A imagem e a palavra têm sido a principal ponte de comunicação entre os seres humanos. São elos de ligação entre a mente e o mundo físico. A primeira forma de comunicação visual é pré-histórica, como é o caso das pinturas rupestres (*Figura 2*).



Figura 2 Pintura
Rupestre, pré-
história

A primeira informação impressa (*Figura 3*) foi a bíblia de Gutemberg (1439 - 1444), sendo que foi a imprensa quem concretizou a possibilidade de educação em termos universais. A percepção das palavras ou de qualquer imagem consiste em estimulação, preparo para uma resposta a resposta e depende de fatores *bottom-up* (deteção, legibilidade, clareza de sinal) e *top-down* (interpretação, semântica, contexto).



Figura 3 Bíblia de Gutemberg; primeira forma de comunicação impressa

Movimentos sacádicos

O olhar está em constante movimento. A captação da informação visual se dá durante as pausas de fixação entre os movimentos sacádicos. O tempo das pausas depende do montante de processamento cognitivo. Fixa-se mais nos contornos do que em áreas homogêneas pois aqueles carregam mais informação. Alguns objetos chamam mais atenção do que outros e o olhar é sempre desviado para sinais mais salientes. Por exemplo, movimento sempre atrai atenção.

Além disso, alguns objetos carregam mais sentido do que outros. A intenção e motivação podem alterar a maneira da pessoa olhar. Um exemplo clássico mostra maneiras diferentes de olhar uma mesma radiografia. O médico experiente tem uma estratégia para localizar um tumor desenvolvida com base nos locais mais comumente afetados. O

iniciante ainda não adquiriu este conhecimento, mas aprende com o tempo, como mostram as Figuras 4 e 5.

Figura 4 A: sem
treinamento;
B: com estratégia

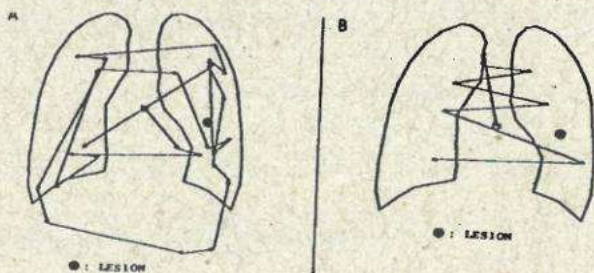
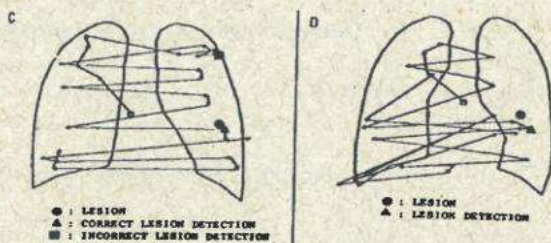


Figura 5 Mesmo
sujeito após
treinamento



A leitura

Adultos lêem a uma taxa média de 250 a 300 palavras/min. A leitura dá-se durante as pausas de fixação. As fixações, com duração média de 1/2 segundo ou 1/4s, representam 94% do tempo de leitura.

Às vezes, os olhos regredem ao começo da frase. Estas pausas de regressão auxiliam a corrigir uma percepção incorreta,

A leitura normal dá-se entre 30 - 35cm. A esta distância, a fóvea (local de visão mais nítida na retina) subentende um ângulo de aproximadamente 70 minutos. Apenas 4 letras de tamanho normal em um texto caem na região da fóvea, fora da qual a acuidade decai gradualmente. O campo de visão periférica varia de pessoa para pessoa, mas a precisão de reconhecimento é boa para 12-15 letras a partir do ponto de fixação. Palavras longas são mais legíveis que as curtas (Erdmann e Dodge, 1898³ *apud* Spencer, 1968). As palavras curtas são mais reconhecíveis no campo periférico (Korte, 1923⁴ *apud* Spencer, 1968).

³ ERDMANN, B.;
DODGE, R. (1898)
*Psychologische
Untersuchungen
über das Lesen, auf
experimenteller
Grundlage*. Halle:
Max Niemeyer.

⁴ KORTE, W.
(1923) Über die
Gestaltfassung
im indirekten
sehen. *Z. Psychol.*
93, pp. 17-83.

⁵ CATTILL, J. McK (1885) Über die Zeit der Erkennung und Benennung von Schriftzeichen, Bildern und Farben. *Phil. Stud.* 2, pp. 635-50.

Outro dado importante é que se percebe as palavras como um todo. Cattell (1885⁵ *apud* Spencer, 1968) mostrou que se lê uma palavra inteira tão rápido quanto uma única letra. As palavras são percebidas com exatidão sem que todos os detalhes da imagem estejam perfeitamente claros. O reconhecimento de uma palavra familiar acelera o processo de leitura. Familiaridade baseia-se na forma geral e comprimento da palavra. Detalhes são menos importantes.

Familiaridade

*Em uma única
fixação é possível
ler 30 letras de
palavras com
sentido.*

ao amanhecer, as luzes são mais brilhantes

*Mas a percepção
cai para 3 a 4
letras para
palavras sem
sentido*

oa recehnama, sa sezul oas siam setnahlib

*Um texto sem
sentido é lido mais
devagar*

sol mosca frase radio porta trenzinho

*do que um texto
com sentido
(Cattell, 1885)*

é fácil ler quando há sentido no texto

Legibilidade

⁶ JAVAL, E. (1878) Hygiène de la lecture. *Bulletin de la Société de médecine publique*, p. 569.

Quanto mais legíveis as letras, mais legível a palavra e o texto. Javal (1878⁶ *apud* Spencer, 1968) considerou que os alemães sofriam de miopia devido à péssima legibilidade do tipo gótico bastante difundido na imprensa.

**et spiritus in omni regie
bre quibus cum impo
pambulare in unum
cunt qd unpreant ed n
nullus d'elug ut cordi**

*A bíblia de
Gutenberg é um
bom exemplo de
má legibilidade.*

A legibilidade da metade superior das palavras é maior que a metade inferior

a legibilidade da

a legibilidade da

A razão é que o desenho da parte superior é mais diferenciado do que da parte inferior.

As letras dominantes são as que projetam para cima da linha média.

f h i j l m n r t u

As letras mais favoráveis são as que combinam linhas verticais e curvas

b d p q

Texto em caixa baixa é mais legível do que um texto em caixa alta

legibilidade

LEGIBILIDADE

texto em tipo com serifa é mais fácil de ler do que texto em tipo sem serifa, pois a serifa diferencia mais as letras

texto em tipo com serifa

texto em tipo sem serifa

A leitura de um texto em preto sobre um fundo branco é considerada mais confortável do que a leitura de um texto em branco sobre fundo preto

A leitura de um texto em preto sobre um fundo branco é considerada mais confortável do que a leitura de um texto em branco sobre fundo preto

A leitura de um texto em preto sobre um fundo branco é considerada mais confortável do que a leitura de um texto em branco sobre fundo preto

Teorias de percepção visual: forma, cor, movimento, o que percebemos? como percebemos?

No começo do século XX, a teoria mais forte com relação à percepção era a abordagem atomista ou associacionista, que considera que os dados sentidos, isto é, as sensações, somam para formar o todo que percebemos. Sob esta perspectiva, a percepção é o resultado da adição de várias sensações elementares, pois começa com a detecção de bits elementares de informação, que se somam para formar um todo mais complexo. O conhecimento destas unidades elementares é o caminho para explicar o processamento das formas mais complexas. A percepção é um processo de baixo para cima (*bottom-up*).

Teoria Holística da Percepção

Esta teoria foi veementemente atacada pela escola gestaltista, que teve início em 1919. Os psicólogos desta escola consideravam que uma imagem não é fruto da experiência de diversos pontos estimulando a retina e daí transportados para a mente (Koffka, 1935). No caso de um quadrado, por exemplo, a localização e o tamanho da imagem podem ser alterados a tal ponto que são produzidas diferentes sensações na retina, no entanto, a percepção que se tem ainda é de um quadrado. Os gestaltistas afirmavam que os vários pontos do quadrado não são uma seqüência de impressões na retina, mas interação de forma a produzir o quadrado como um todo. A forma é uma experiência que não existe em seus componentes: o todo não é igual à soma de suas partes. Como Wertheimer enfatizava, a percepção começa a partir do todo (a parte superior das formas mais complexas) que é subsequentemente dividido em suas partes. A percepção é um processo de cima para baixo (*top-down*).

Segundo a Gestalt, a teoria atomista de que a percepção de formas é resultado da soma de sensações isoladas não podia explicar o fenômeno da ilusão de ótica. Para os associacionistas, a luz incide na retina e aí inicia uma mensagem que se propaga até o cérebro. A forma é dada posteriormente, por um processo de associação dessas sensações, que se dá a partir da experiência, isto é, o indivíduo aprende a associar as sensações. No entanto, segundo a Gestalt, ninguém aprende a ver, mas simplesmente vemos as coisas como vemos por causa de uma organização (forças internas) que se desenvolve a partir do estímulo (forças externas). O que acontece no cérebro não é o mesmo que acontece na retina. A excitação cerebral não se dá em pontos isolados, mas por extensão. Não há dois estágios, um de percepção e outro de associação, mas de imediato a sensação já é de forma, já é global e unificada.

Para a nossa percepção, que é resultado de uma sensação global, as partes são inseparáveis do todo, pois todo o processo consciente, toda forma psicologicamente percebida, está estreitamente relacionada com as forças integradoras do processo fisiológico cerebral. A hipótese

da gestalt para explicar a origem destas forças integradoras é atribuir ao sistema nervoso central um dinamismo auto-regulador que, para manter sua estabilidade, tende a organizar as formas em "todos" coerentes e unificados. Estas organizações, originárias da estrutura cerebral são espontâneas, não arbitrárias, independentes de nossa vontade e de qualquer aprendizado. A teoria da Gestalt enfatiza que as forças de organização podem destruir o valor da experiência. No entanto, aceita que o indivíduo pode aprender a ver de determinada maneira e é possível que o treino deturpe a percepção original. Mas mesmo assim, existirá sempre uma percepção espontânea da forma que obedece aos padrões de organização, independentemente de qualquer aprendizado.

A ênfase que a Gestalt dava ao todo era embasada principalmente na evidência introspectiva: os psicólogos observavam sua própria experiência perceptual e concluíam que já que tinham mais conhecimento sobre o todo do que das especificidades das partes, o mecanismo de percepção deveria ser holístico. Em outras palavras, já que o objeto é visto como um todo, a informação deve também ser adquirida como um todo. Os gestaltistas consideravam que deveriam haver algumas regras que geriam como as partes se organizam em um todo. Koffka (1935) propôs que o sistema nervoso deveria ter propriedades para impor uma estrutura à informação. A partir de experimentos, os gestaltistas precisaram certas constantes nestas forças internas, quanto à maneira como se ordenam ou se estruturam as formas psicologicamente percebidas.

Leis de
organização
perceptual da
Gestalt

São denominados padrões, fatores, princípios básicos ou leis de organização da forma perceptual (*Figura 6*). O **princípio geral** é o da **pregnância da forma** ou força estrutural que impele ao sentido da clareza, da unidade, do equilíbrio, da boa gestalt. As **forças mais simples** são as que regem a **segregação e unificação**. A primeira em função da desigualdade de estímulos, a segunda, em função da igualdade de estímulo. **Outras forças** são: **fechamento** pois existe a tendência de unir e estabelecer ligações; **seqüência ou boa continuidade** pois toda unidade tende a se prolongar na mesma direção e com mesmo movimento; **proximidade** pois elementos próximos tendem a constituir unidade; **grupamento** pois a semelhança de elementos iguais tendem a constituir unidade.

SEM GRUPAMENTO



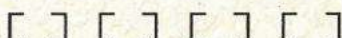
GRUPAMENTO SOB LEIS DE GESTALT



PROXIMIDADE



SIMILARIDADE



FECHAMENTO

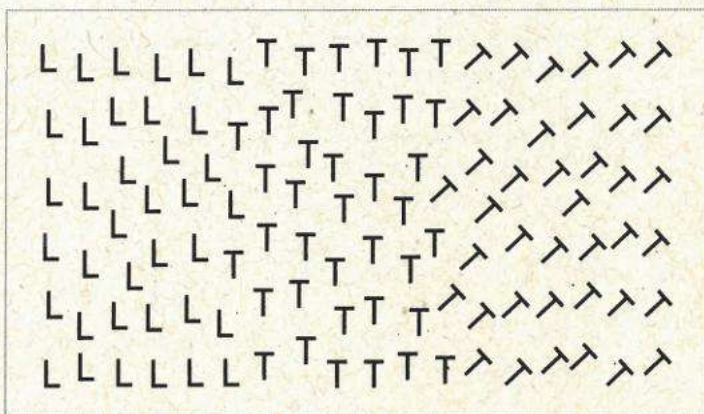


BOA CONTINUIDADE

Figura 6 No desenho superior, não há elementos que forcem à segregação ou agrupamento. Nos demais, fica evidente o agrupamento de acordo com as leis da Gestalt: proximidade, similaridade, fechamento e boa continuidade.

Apesar da escola ter enfatizado que o princípio da similaridade é uma base forte para grupamento, estudos recentes demonstraram que nem tudo que é similar produz grupamento. Beck (1966a,b) concluiu que a similaridade de figuras é menos importante do que sua orientação. Ele mostrou que a letra T na vertical é julgada similar a um T inclinado, no entanto nunca são agrupadas. Se a orientação da figura muda de 45° para 135°, fica mais acirrado o grupamento de figuras verticais e horizontais: os Ts verticais formam um grupo separado dos Ts inclinados, mas os Ts verticais e os Ts deitados ficam num mesmo grupo. A *Figura 7* ilustra alguns destes experimentos.

Figura 7 Estudos de Beck (1966a,b) mostraram que a similaridade entre figuras (T de pé e T inclinado) não é razão para agrupamento, como defendia a Gestalt, mas sim, a orientação das linhas. Apesar de não ser igual a um L, os Ts de pé tendem a se misturar com os Ls, e desagrupar dos Ts inclinados que formam um grupo à parte.



Navon (1977) desenvolveu pesquisas para determinar se o todo era percebido antes de suas partes ou vice versa. Os sujeitos deveriam discriminar grandes letras (como um "H") feito por pequenas letras (como "h" ou "s"). Em alguns casos, as letras eram as mesmas, isto é, a letra grande, global, (como o "H") era formada por letras pequenas, locais, de mesmo tipo (como "h"). Em outras situações, as letras usadas eram conflitantes, isto é, a letra grande, global, (como o "H") era formada por letras pequenas, locais, de outro tipo (como "s") (veja *Figura 8*). A hipótese era de que se o todo tem primazia sobre as partes, como enfatizava Gestalt, então as letras globais devem ser identificadas mais rapidamente que as locais. Se as partes são mais importantes que o todo, então o oposto é verdadeiro. Os resultados confirmaram a proposta gestaltista, pois a informação em nível mais global ("H") foi identificada antes da informação local ("h" ou "s"). Foi também observado que, no caso de haver conflito entre letras locais e global, as letras locais não atrapalhavam a nomenclatura da letra global, ao passo que a letra global atrapalhava a nomenclatura das locais. O processamento da informação "s" sofria influência do processamento anterior de "H". Em consequência, Navon ponderou que *"o processo perceptual se dá de forma mais global e daí para uma análise mais detalhada. Em outras palavras, uma cena é decomposta ao invés de ser construída"* (Navon, 1977, p.354) também citado por Treisman (1986, p.35-43).

No entanto, a partir de experimentos com mesmo tipo de estímulos, Hoffman (1980) concluiu que os resultados dependem do tamanho das letras utilizadas e da visibilidade da informação em nível local e global. Isto sugere que o processamento é holístico ou analítico em função da estratégia do sujeito ou da natureza da tarefa, e não um processo guiado unicamente pelo sinal, isto é, passivo.

Figura 8 Estudos de Navon (1977) defendem a precedência do todo sobre as partes: não existe dificuldade em nominar a forma global (H ou S) mas no entanto, é difícil nominar as letras locais ("h" ou "s") quando há conflito entre letras locais e globais.



Os defensores da abordagem gestalista geralmente utilizam como argumento em favor da primazia do todo o “efeito da superioridade do objeto”, que é o caso das figuras emergentes. Estas podem ser globais, isto é, não estar localizáveis, como é o caso dos vértices resultantes das interseções de segmentos de linhas (*Figura 9*). As figuras emergentes são relações entre elementos mais simples as quais são mais salientes à percepção humana do que os próprios elementos.

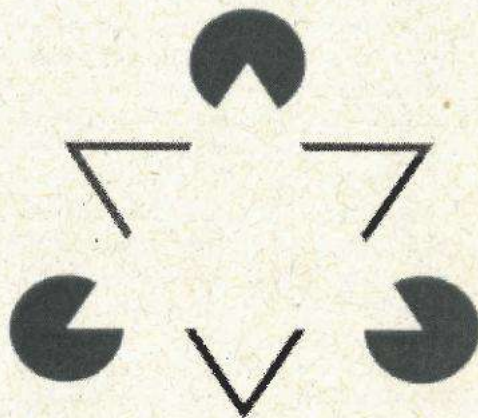


Figura 9
Triângulo de
Kanizsa

Figuras emergentes

Shepard (1964) foi um dos primeiros teóricos a notar que algumas dimensões fisicamente distintas são perceptualmente difíceis de separar. É o caso das dimensões matiz, saturação e luminância, que formam uma dimensão unitária denominada cor. Outros tipos de estímulos, denominados analisáveis, têm suas dimensões variando independentemente, como no caso do tamanho e da forma de um círculo. Garner e Felfoldy (1970) elaboraram esta idéia propondo mais tarde o conceito de um contínuo no qual as dimensões físicas interagem para formar as dimensões perceptuais. No extremo deste contínuo estão as dimensões integrais (dimensões que correspondem a um único código perceptual, como é o caso da cor), ou seja, os estímulos unitários de Shepard, e as dimensões separáveis (atributos físicos que estão cada um associados a distintos códigos perceptuais, como é o caso da forma e da cor do círculo), ou seja, os estímulos analisáveis de Shepard. No meio destes dois extremos está uma dimensão intermediária denominada configural (Garner, 1974), na qual as dimensões físicas mantêm-se perceptualmente separáveis, mas interagem formando uma nova figura emergente que é dominante. Esta configuração resulta da homogeneidade, simetria, fechamento, repetição etc, sendo seu efeito maior à medida que aumenta a proximidade espacial entre elementos. Enfim, as mesmas leis de agrupamento da Gestalt.

Outro exemplo do legado da Gestalt é a teoria da percepção como inferência inconsciente, proposta por Gregory (1970, 1972). Ele considera que a imagem visual é inerentemente ambígua e que o aparato perceptual resolve as ambigüidades a partir de processos inteligentes, usando o conhecimento do mundo exterior. As sensações são enriquecidas pelo contato com as memórias de sensações prévias, responsáveis pelo significado das sensações. A percepção não é o resultado direto da informação sensorial, mas de modelos mentais selecionados pelos sentidos. O sistema perceptual deve captar a significância da imagem e não apenas suas formas. Gregory ilustra sua teoria com o caso de um adulto que recuperou-se de uma cegueira de infância mas só aceitou a visão daquelas formas que pôde relacionar diretamente com sua experiência prévia, a partir do tato, que havia gerado modelos mentais (Gregory e Wallace, 1963).

Embora estas teorias favoreçam uma abordagem holística da percepção, de acordo com os princípios da Gestalt, o movimento gestaltista sempre foi encarado um tanto cepticamente pelos cientistas. A crítica é que o movimento não tem bases sólidas, que as teorias são geralmente expressas em termos qualitativos (e, portanto, fugindo dos padrões quantitativos de precisão), geralmente ilustradas com desenhos bidimensionais, o que pode ser questionado, já que o mundo é tridimensional e os objetos também são separados pela profundidade. Principalmente, a crítica é que os adeptos do movimento baseiam-se na experiência subjetiva, o que foi considerado impróprio na comunidade científica da época (e ainda é por muitos cientistas modernos). O behaviorismo negou qualquer subjetividade, defendendo a idéia de que o aprendizado e o pensamento baseiam-se em "tentativa e erro".

As teorias que se opõem aos princípios da Gestalt assumem que o fato das pessoas não estarem cientes das partes, mas sim do todo, não quer dizer que a percepção se dá de modo holístico. Treisman (1982) chama atenção para a diferença que existe entre codificação das propriedades de um objeto e a identificação deste objeto como um todo. Apesar da idéia gestaltista de que o todo é o que importa, os novos estudos em neurociência vêm mostrando que o sistema visual é mais analítico do que os adeptos da Gestalt supunham, o que tem dado embasamento científico para as teorias analíticas em percepção, que enfatizam que a percepção se dá com base em unidades básicas que se somam para construir o todo que percebemos.

Bases
neuroológicas
da percepção
visual

Estudos em neurociência e neurofisiologia concluíram que o processamento da informação visual se dá analiticamente, por meio de canais especializados pelo processamento de forma, cor, luminância e movi-

mento. O fluxo de informação, desde a retina até o córtex se dá através de dois grandes sistemas independentes (denominados magno e parvo) que se especializam ainda mais quanto mais se aproximam dos níveis mais profundos dentro do cérebro. O processamento pode ser sumarizado da seguinte forma:

Sistema parvocelular - $4C\beta$ - interblob-interfibra - V4, de resposta vagarosa mas de alta resolução, responsável pela percepção da forma estática;

Sistema parvocelular - $4C\beta$ - blob-fibra fina - V4, de resposta vagarosa e de baixa resolução, seletivo a comprimento de ondas, responsável pela percepção da cor;

Sistema magnocelular - $4C\alpha$ - 4B - fibra grossa - V5 com sensibilidade a altos contrastes de luminância, resolução temporal rápida e resolução espacial baixa, responsável pelo processamento da informação sobre direção de movimento e profundidade;

Sistema magnocelular - $4C\alpha$ - 4B - fibra grossa - V3 com sensibilidade a altos contrastes de luminância, resolução temporal rápida e resolução espacial baixa, responsável pelo processamento da informação sobre forma dinâmica.

Sistema magno celular

O sistema magno é responsável por veicular informação sobre movimento e está envolvido na percepção estereoscópica de profundidade. As propriedades temporais do sistema permitem que siga eventos que mudam com o tempo, o que é consistente com seu envolvimento com análise de movimento. Livingstone e Hubel (1987) propõem que este sistema tem estas características por ser responsável pela transmissão das características gerais da cena. Sob um ponto de vista evolucionário, o sistema magno é mais primitivo do que o parvo, tendo se desenvolvido para suprir as necessidades básicas de caça e navegação. Para estes fins, o contraste de luminância é mais importante do que cor, já que a visibilidade dos objetos depende fundamentalmente de seu contraste com o meio ambiente. Isto está de acordo com a idéia de que a luminância é o fator mais importante para a percepção de profundidade. Provavelmente na evolução do sistema visual dos mamíferos, a visão binocular desenvolveu-se antes da visão em cores. Se se considerar a capacidade de processamento de informação do sistema visual, há também o argumento de que, por questão de economia, a cor seja desconsiderada na percepção de profundidade: ela requer uma análise fina da disparidade retinal para localização de um objeto em profundidade. Se a cor fosse usada, haveria informação

adicional nos substratos neurais, isto é, um aumento da complexidade da rede neural com um ganho muito pequeno de informação útil.

Sistema parvocelular

O sistema parvo, que é bem desenvolvido apenas nos primatas, (Livingstone e Hubel, 1987) é mais recente e desenvolveu-se para aumentar a habilidade de percepção de detalhes. Este sistema tem a capacidade de construir uma imagem estática bem detalhada, que incorpora informação quanto à cor e luminância de um objeto.

Estes estudos, realizados em primatas, utilizaram uma técnica invasiva que não pode ser aplicada em humanos. No entanto, devido à semelhança estrutural e comportamental do sistema visual, é possível transpor os resultados de primatas e afirmar que a mesma segregação ocorre em humanos. Há indicação clínica para tal, a partir dos depoimentos de pacientes que perderam a percepção de alguns atributos de uma cena devido a algum dano cortical. Por exemplo, a perda da visão da cor e manutenção da percepção normal da forma, movimento e profundidade de um objeto, pode ser explicada pela existência de áreas especializadas no córtex para detecção de movimento (V5) e cor (V4). Porque a forma envolve tanto o sistema parvo quanto o magno, a percepção de forma é geralmente menos atingida (Damasio *et al.*, 1980). Mais recentemente, Lueck *et al.* (1989) usando uma técnica denominada PET (tomografia por emissão de positron) que mede o aumento de fluxo sanguíneo em decorrência de aumento de atividade cerebral, identificou uma região no cérebro humano responsável pela visão de cor, que deve ser análoga à área V4 do macaco. Também foi observada que uma área na região occipito-temporal, provavelmente análoga à área V5 do macaco, apresentava aumento significativo de atividade quando estimulada por objetos em movimento.

Teoria analítica da percepção

Dentro da linha analítica de percepção, a teoria mais aceita atualmente é a teoria da integração de elementos, proposta por Treisman *et al* (1977), que ficou bastante fortalecida com os descobrimentos em neurociência. A proposta é que os elementos mais simples, tais como cor, forma, orientação, são detectados em paralelo, em uma fase bastante inicial, que prescinde do papel da atenção. Em um segundo estágio, atenção é focada em um determinado local do campo visual para combinar os vários elementos detectados na primeira fase, mas que estão soltos. É a atenção que fornece a "cola" para integrar os vários elementos e formar um todo coeso (Treisman e Gelade, 1980 p.98). Como a atenção focada só opera serialmente, em um local por vez, este processo é lento e, portanto, apesar dos elementos básicos serem processados em paralelo e muito rápido, a conjunção de estímulos só é processada de forma lenta e serial.

Evidências para suporte que a percepção é *bottom-up*

O suporte mais importante para esta teoria é o fenômeno das conjunções ilusórias (Treisman e Schmidt, 1982). Ele acontece quando a atenção é divergida de um *display*, e os sujeitos combinam erradamente atributos (cor, forma) de figuras diferentes. No entanto, quando a atenção é focada, o fenômeno desaparece. Treisman e Paterson (1984) também observaram que uma linha em forma de "S" combinava-se com uma linha reta "I" de outra parte do campo visual, formando a conjunção ilusória do sinal "\$". Além do mais, o segmento de reta necessário para completar o sinal podia ser de qualquer figura já completa com um triângulo. Os autores concluíram que na fase de pré-atenção, os elementos do triângulo não estão aglutinados, mas sim soltos no campo perceptual. Os elementos são aglutinados apenas com a ajuda da atenção focada.

Outro suporte para a teoria é que os alvos definidos em uma única dimensão (apenas por sua cor, ou sua orientação etc) são detectados imediatamente em uma velocidade que independe do número de informações no *display* (Posner, 1988; Treisman e Gormican, 1988). De acordo com a teoria, isto ocorre porque a análise se dá na primeira fase de processamento da informação. Por outro lado, os alvos definidos pela conjugação de elementos (uma reta vertical vermelha em um *display* com elementos horizontais vermelhos e verticais azuis) são encontrados apenas após uma busca por todos os elementos no *display*. Neste caso, o processo é menos eficiente do que a busca por elementos unidimensionais porque a atenção deve ser direcionada serialmente a todas as dimensões do objeto multidimensional, o que faz com que o tempo de busca aumente linearmente de acordo com o tamanho do *display* (Treisman e Gelade, 1980; Duncan e Humphreys, 1989). No primeiro caso, o alvo parece tão diferente dos demais objetos que "salta" do *display*. Mas o processo é mais lento, demanda atenção e é serial no segundo caso.

Contrariando a proposta de Treisman e Gelade (1980), McLeod *et al.* (1988) observaram que a busca por uma conjunção de movimento e forma (um "X" em movimento em meio a "O"s em movimento e "X"s estáticos) pode se dar em paralelo, e que a forma dos elementos estáticos não tem efeito no tempo e acurácia da busca. Eles concluíram que a atenção era restrita ao grupo de elementos em movimento, apesar de estarem misturados espacialmente com elementos estáticos. Dentro do grupo em movimento, o alvo com sua forma única no grupo saltava aos olhos.

Baseados nas descobertas em neurociência, de que os estímulos visuais são transmitidos segregadamente, muitos teóricos postulam que os processos para agrupamento ocorrem na fase de preatenção,

indicando que bem cedo no processamento de informação é possível perceber o todo. Mesmo que a escola gestaltista não esteja certa e, apesar das críticas, não se pode negar o pioneirismo de suas propostas e a contribuição da escola gestaltista para a compreensão da organização de figuras e segregação figura e fundo. A ênfase na experiência subjetiva é sem dúvida uma das grandes contribuições da escola. Não é tão fundamental que nem todas as leis funcionem em todas as circunstâncias, ou que nem sempre possam ser provadas pela ciência moderna. O que é fundamental é o legado *top-down* de que o todo é mais do que a soma de suas partes, e que portanto, não pode ser compreendido a partir de sua redução a partes sem sentido. A questão que levantou sobre percepção e aprendizado é crucial e muitas de suas idéias estão ainda bastante vivas. Neisser (1976, 1985) chamou atenção para uma psicologia da percepção mais voltada para o mundo real e para a adoção de uma abordagem mais subjetiva para a cognição, o que se alinha com os princípios gestaltistas. Mais tarde, Freeman (1991) propôs uma abordagem mais individualizada da percepção.

Evidências
para suporte
que a
percepção é
top-down

Com base em estudos do sistema neuronal olfativo, Freeman propõe um novo modelo de como o cérebro age, além da pura extração de elementos, combinando mensagens sensoriais com a experiência passada e expectativa, para identificar tanto o estímulo quanto seu significado para cada indivíduo. Seus estudos mostram que, para um mesmo coelho, o canal de informação sobre um mesmo cheiro pode diferir a cada cheirada sendo que, no nível cerebral, o mapeamento da amplitude da onda é sempre o mesmo, se o condicionamento do animal não é alterado. No entanto, o mapeamento da amplitude da onda de um dado odor muda quando se altera o condicionamento a este dado odor. A conclusão é que a percepção do odor requer atividade bulbar generalizada e que o bulbo participa alocando um significado ao estímulo. Se o cérebro não correlacionasse experiência passada e percepção, o mapeamento continuaria constante depois do condicionamento para associação ter sido alterada. Não há razão para crer que outros sistemas sensoriais operem de maneira diferente. Freeman (1991) concluiu que, da mesma forma que o sistema olfativo, um estímulo visual familiar é associado com um determinado mapeamento. De acordo com o autor, a dinâmica da percepção é caótica, o que permite que os neurônios mudem abruptamente de um tipo de atividade para outra, produzindo novos modelos de atividade, ao invés de funcionar como cadeias pré-determinadas. Cada neurônio participa em uma atividade coletiva. O bulbo analisa cada *input* e sintetiza a mensagem que é então transmitida ao córtex. Daí, sinais são enviados a várias partes do cérebro para se combinar com outros *inputs* de outros sistemas sensoriais. O resultado é uma percepção com significado, uma gestalt, única a cada indivíduo.

Outro indício de que a fase de percepção é mais individual do que a maioria das teorias propõe vem de um experimento de Guimarães (1992) (veja *Capítulo 8* deste volume). Os sujeitos neste estudo, que foram selecionados de acordo com seu estilo cognitivo (Witkin *et al.*, 1971), reagiram diferentemente a um mesmo estímulo indicando que o processo é *top-down*. Mais especificamente, as pessoas classificadas como “independentes do meio” mostraram um desempenho melhor durante a detecção de estímulos acromáticos. Uma possível explicação para isto está na própria característica destas pessoas. As formas acromáticas mostraram-se mais difíceis de discriminar principalmente pela falta de luminância. No entanto, esta dificuldade não compromete o desempenho, pois estas pessoas mais analíticas têm grande capacidade de descamufagem. No entanto, pessoas “dependentes do meio”, mais holísticas, que não têm esta vantagem, precisam de mais informação, de redundância, para descamufar o alvo que não é tão saliente. Quando cor é adicionada ao alvo, ele fica tão discriminável que não há necessidade de descamufagem: o alvo salta da tela. Fica patente que é importante considerar as diferenças individuais em experimentos, pois elas parecem importar em todo o processo, mesmo nas fases que alguns consideram unicamente dependentes do sinal.

Medindo o desempenho humano frente a estímulos

Uma série de fatores influencia o desempenho humano em uma dada atividade. Por exemplo:

- condições de trabalho;
- *design* de equipamentos;
- treinamento;
- organização do trabalho;
- política de gerenciamento;
- incentivos;
- pressões;
- política em geral.

Estas questões que dizem respeito aos aspectos psíquico/cognitivos envolvidos no trabalho são mais difíceis de serem mensuradas do que os aspectos físicos envolvidos num mesmo trabalho. Por exemplo, a mensuração dos equipamentos necessários à realização de uma tarefa ou a medição antropométrica de usuários requer apenas a participação passiva de um instrumento de medição: simplesmente, utiliza-se o

instrumento de medição e lê-se a medida. Por outro lado, as propriedades psicológicas, tais como a quantidade de habilidade mecânica que um indivíduo tem, ou a intensidade da sensação de cansaço que uma pessoa sente em função de determinada pressão do trabalho, são propriedades implícitas ou latentes. Da mesma forma, é difícil quantificar a atenção despendida por um sujeito, pois ela é uma capacidade limitada dos seres humanos que não pode ser observada diretamente mas, sim, inferida a partir do desempenho humano. A avaliação da "quantidade" dessas propriedades requer a participação ativa do sujeito, que precisa demonstrar seu desempenho perante o estímulo por uma ou mais vezes para que se possa inferir esta "quantidade". Fica claro que o desempenho de um ou mais sujeitos frente a um ou mais estímulos contém informação sobre ambos sujeitos e estímulos. A forma de extrair esta informação e, principalmente, a forma de interpretá-la, é que dita como as propriedades psicológicas serão obtidas.

MENSURAÇÃO PSICOLÓGICA DA PERCEPÇÃO DE SINAIS

Considerando que a ergonomia cognitiva trata de questões relacionadas ao processamento de informação, interessa conhecer os métodos desenvolvidos pela psicologia para avaliação da percepção de estímulos. Existem muitos tipos de técnicas de mensuração em psicologia mas pode-se classificá-las segundo duas grandes linhas: a psicofísica e a psicometria. Tradicionalmente, a psicometria estuda diferenças individuais em termos de características psicológicas, tais como inteligência, introversão e extroversão, grau de ansiedade etc. À psicofísica cabe estudar a relação entre propriedades físicas dos objetos, tais como peso, frequência de uso, saliência de estímulo etc, e a magnitude das sensações que produzem nas pessoas. Cabe ressaltar, no entanto, que na psicologia moderna esta distinção praticamente desapareceu pois reconhece-se que diferenças individuais podem ser estudadas pelos métodos tradicionais da psicofísica e que certos métodos criados para testes psicométricos podem ser aplicados em problemas de estímulo-resposta levantados pela psicofísica.

As técnicas de mensuração psicológica, ou procedimentos de escala, variam de acordo com:

- a) a tarefa dada aos sujeitos;
- b) a informação implícita nos comportamentos que dizem respeito à tarefa;
- c) o que se assume sobre os fatores que influenciam os comportamentos observados.

Lei de Weber Um dos métodos mais antigos desenvolvidos pela psicologia foi o da “diferença apenas perceptível” proposto por Weber (1795-1878) para medir a quantidade de sensação que o sujeito sentia em função da intensidade do estímulo. O método relaciona duas quantidades físicas: S_0 , a intensidade do padrão de um estímulo em unidades físicas e S , o incremento em intensidade, na mesma unidade, que é necessária para que o novo estímulo S_0+S possa ser qualificado como notável. Weber concluiu que a intensidade que um estímulo precisa ser diferente do basal para ser considerado notavelmente diferente, depende diretamente da intensidade do estímulo basal. Se o basal não é muito intenso, um incremento pequeno na intensidade do estímulo tenderá a ser notado. Se o basal é muito intenso, será necessário um incremento bem maior para que a mudança na intensidade seja notada. Isto se tornou conhecido como lei de Weber e, apesar de haverem excessões, ela se aplica a uma gama de estímulos.

Fechner, por volta de 1850, ampliou esta idéia para um método que realmente coloca em escala as sensações produzidas por vários estímulos diferindo em intensidade. Ele pode desenvolver seu método porque assumiu que 1) a lei de Weber é válida; 2) diferenças igualmente notadas são psicologicamente iguais.

Portanto, se S_1 é notadamente diferente de S_0 e se S_2 é notadamente diferente de S_1 , então a sensação R_1 é tão diferente de R_0 quanto R_2 é diferente de R_1 . Fechner definiu esta “diferença apenas perceptível” como sendo a unidade de sensação e, assumindo que diferenças igualmente notadas são iguais, concluiu que

$$\frac{\Delta S}{S_0} = \Delta R$$

Isto é, o acréscimo em sensação, ou R , que acompanha um acréscimo em intensidade de S_0 para S_0+S é a razão de S para S_0 , sendo S a modificação no estímulo que é apenas perceptível pelo sujeito 50% das vezes; S_0 , o valor físico do estímulo-padrão; R (ou K), uma constante.

É importante frisar que a relação entre S_0 e o R não é uma razão constante. Apesar do valor do S aumentar em função dos acréscimos no estímulo-padrão S_0 , esta função não é linear, mas logarítmica. Isto quer dizer que se um estímulo de intensidade relativamente baixa muda para um nível mais intenso (novo nível = S_0+S), a mudança irá produzir um incremento maior em sensação do que se um estímulo de maior intensi-

dade for incrementado de mesmo valor. Por exemplo, acrescentar uma candela (S) a um estímulo de 5 candelas (S0) produz uma sensação de incremento (R) maior do que acontece ao se incrementar uma candela (S) a um estímulo de 100 candelas (S0).

S.S. Stevens propôs que a relação entre estímulo e sensação não é logarítmica, mas sim exponencial, sendo cada sensação uma determinada potência do estímulo.

Fechner também foi responsável por descrever métodos que definem limiares de percepção que são basicamente três: o **método do estímulo constante**, o **método de limites** e o **método de ajuste**.

Método de estímulo constante

Geralmente mostra-se 5 a 9 estímulos ao sujeito sendo o estímulo mais intenso claramente abaixo de um limiar (de forma que o sujeito não consiga detectá-lo) e um bem acima do limiar (de forma que o sujeito possa detectar sem erro). Os estímulos entre estes dois são de intensidade intermediária de forma que são detectados às vezes, isto é, são detectados em algumas apresentações e em outras não. Os estímulos são apresentados várias vezes, em ordem randômica.

A *Figura 10* mostra um exemplo de detecção de intensidades de luz. A uma intensidade de 150 unidades, a luz nunca é detectada, a luz a 200 unidades é sempre detectada e as de intensidade intermediária às vezes são detectadas e às vezes não. O limiar de detecção é geralmente definido como a intensidade que produz detecção em 50% dos casos e, nesta situação, o limiar corresponde a uma intensidade de 180 unidades.

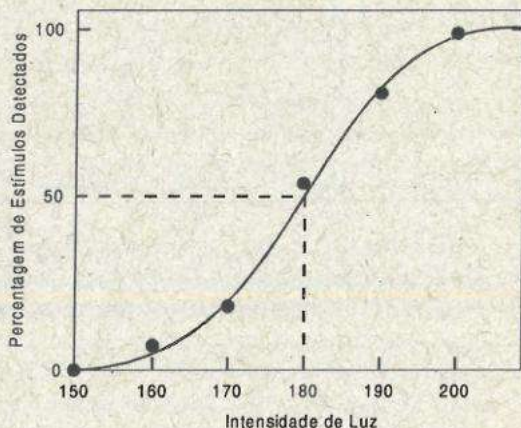


Figura 10
Resultados de um experimento hipotético no qual o limiar para que um sujeito detecte uma luz é medido de acordo com o método do estímulo constante.

Método dos limites ou de mudança mínima

Este método é similar ao método do estímulo constante pois o experimentador apresenta diferentes estímulos e pede aos sujeitos para indicar se pode detectá-los ou não. A diferença é que no método do estímulo constante os estímulos são apresentados em ordem randômica ao passo que no método de limites eles são apresentados em ordem crescente e/ou decrescente. A Tabela 2 mostra os resultados de um experimento em que, na primeira tentativa, um estímulo acima do limiar (no caso, intensidade 105 unidades) é apresentado, e o sujeito responde que sim, pode detectar (por isso aparece na tabela um "S"). O experimentador decresce a intensidade do sinal e o sujeito faz outro julgamento, no caso, sim, "S", pode detectar. E assim, sucessivamente, até a intensidade 98 quando o sujeito responde não, "N", não consegue detectar. A transição entre o "sim" a uma intensidade 99 para o "não" à intensidade 98 é o ponto de "crossover" e o valor limiar é então considerado como a média entre estes dois valores, neste caso, 98.5. O experimento é então repetido em ordem reversa, começando por um nível abaixo do limiar e aumentando a intensidade até o sujeito responder que "sim", pode detectar o sinal. São feitas outras tentativas em ordem crescente e decrescente. O limiar é calculado pela média de valores "crossover" obtidos em cada tentativa. Neste exemplo, o limiar é 98.5.

Tabela 2
Resultados de um experimento hipotético no qual o sujeito reporta se consegue ou não detectar uma determinada intensidade de luz, a partir do método de limites.

Tentativa	1	2	3	4	5	6	7	8
Intensidade	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑
105	S						S	
104	S		S		S		S	
103	S		S		S		S	
102	S		S		S		S	
101	S		S		S		S	S
100	S	S	S	S	S		S	S
99	S	N	S	N	S	S	S	S
98	N	N	S	N	N	N	N	S
97		N	N	N		N		N
96		N		N		N		N
95		N		N		N		N

Método de ajuste ou do erro médio

Neste método, a intensidade de estímulos é alterada pelo experimentador ou pelo sujeito até que o sujeito diga que mal pode detectar o estímulo. Esta intensidade que mal pode ser detectada é então tomada como limiar absoluto. Quando o sujeito ajusta o estímulo, o método traz a vantagem de dar ao sujeito uma participação ainda mais ativa no experimento o que provavelmente desperta mais o interesse e, em consequência, promove o sucesso da pesquisa.

MENSURAÇÃO PSICOLÓGICA NA INEXISTÊNCIA DE UM SINAL FÍSICO

O problema tradicional em psicofísica é a relação entre um evento psicológico, como a sensação, e uma característica física de um estímulo, como a intensidade. No entanto, há casos de se necessitar avaliar uma característica psicológica que não está relacionada a nenhum estímulo físico. Por exemplo, pode-se querer medir a semelhança perceptual entre pares de objetos. Para tanto, foram desenvolvidos métodos de mensuração psicológica na inexistência de uma propriedade física. O método mais usual para este tipo de medição é o:

Método de comparação aos pares ou lei do julgamento comparativo

Suponha que haja um número N de objetos a serem comparados em termos de seu tamanho aparente. Eles são apresentados em pares a uma pessoa em todos os pares possíveis, isto é, $(N)(N-1)/2$. Para cada combinação, a pessoa informa qual objeto do par é o maior. Cada par é apresentado mais de uma vez e computada a proporção de vezes em que cada objeto (colocado na coluna) foi julgado maior que o outro objeto (colocado na linha). Os resultados têm a forma mostrada na *Tabela 3*. Por exemplo, o objeto B foi julgado maior que o objeto A 0,81 das vezes. Os valores 0,50 são inseridos arbitrariamente na diagonal da matriz já que um objeto não pode ser comparado com ele mesmo.

Tabela 3
Proporção de vezes em que os estímulos descritos na coluna foram julgados mais pesados que os estímulos descritos nas linhas

objeto	A	B	C	D	E
A	0,50	0,81	0,23	0,47	0,61
B	0,19	0,50	0,06	0,17	0,28
C	0,77	0,94	0,50	0,74	0,85
D	0,53	0,83	0,26	0,50	0,64
E	0,39	0,72	0,15	0,36	0,50

Assumindo algumas demonstrações estatísticas, Thurstone mostrou que esta proporção de vezes em que um estímulo é julgado diferente do outro corresponde à área do valor padronizado "z" da curva normal. A *Tabela 4* mostra os valores "z" para cada proporção da figura.

Tabela 4 Valores padronizados "z" correspondentes às proporções tabeladas na *Tabela 3*

objeto	A	B	C	D	E
A	0	0,87	-0,73	-0,08	0,28
B	-0,87	0	-1,60	-0,96	-0,58
C	0,73	1,60	0	0,65	1,02
D	0,08	0,96	-0,65	0	0,37
E	-0,28	0,58	-0,102	-0,37	0
z	-0,34	4,01	-4,00	-0,76	1,09
Mz	-0,068	0,802	-0,800	-0,152	0,218

O valor de escala para cada estímulo é encontrado a partir da média dos valores "z". A *Figura 11* mostra o gráfico posicionando os 5 objetos comparados. Na escala, o valor médio foi tomado como âncora e marcado como zero. A unidade de medida pode ser interpretada como sendo um desvio padrão da diferença perceptível entre estímulos.

Figura 11
Disposição, em
escala, dos valores
tabelados na
Tabela 4

C	D	A	E	B
-0,800	-0,152	-0,068 0	0,218	0,802

É importante ressaltar que este método requer que os pares não sejam tão iguais ou tão diferentes dos outros para gerar proporções próximas de 0 ou 1. Importante também é lembrar que, para que os resultados sejam confiáveis, os juizes devem estar gabaritados a julgar.

Método dos postos ("Rank order")

Um outro método de comparação é pedir a um ou mais juizes para classificar (ordenar) um grupo de estímulos, em categorias, de acordo com uma certa característica. Cada juiz deve ordenar os estímulos ao longo de um contínuo, de tal forma que um estímulo receba o primeiro lugar, o outro o segundo e assim por diante. Por exemplo, pode-se ordenar 6 obras de arte de acordo com sua beleza. A ordenação dada por um juiz na *Tabela 5* mostra que o objeto D para ele é mais bonito que o objeto A, que por sua vez é mais bonito que o objeto F. Não se pode afirmar que a diferença de beleza entre objetos D e A é a mesma que a diferença entre objetos A e F. No entanto, pode-se dizer que as diferenças entre os objetos colocados nos extremos da lista é maior que a diferença entre objetos que figuram no meio da lista.

Tabela 5
Ordenação dada
por um juiz
quando indagado
sobre a "beleza"
de 6 obras de arte

Ordenação	Objeto
1	D
2	A
3	F
4	B
5	C
6	E

O primeiro passo para avaliação de resultados é criar uma tabela, conforme *Tabela 6*, com o número de juizes que colocaram cada obra de arte em determinada categoria. Neste caso, categoria 1 para a obra mais bonita, até categoria 6, para a obra mais feia.

Tabela 6 Tabela de ocorrência de classificação de 6 obras de arte, de acordo com 10 juízes

categoria evento	1	2	3	4	5	6
A	-	2	3	4	1	-
B	1	2	1	4	1	1
C	-	-	-	2	6	2
D	7	2	1	-	-	-
E	-	1	-	-	2	7
F	2	3	5	-	-	-

Após a ordenação por cada juiz, cria-se uma matriz de frequência acumulativa conforme *Tabela 7*, que mostra o número de vezes que determinado objeto foi julgado naquela ordenação ou numa ordenação inferior. Inferior, no caso, diz respeito ao número e não à posição do elemento na lista.

Tabela 7 Tabela de frequência acumulativa referente à tabela da Tabela DS6. Como a categoria 6 é apenas o número total de julgamentos feitos, ela não será de utilidade nos passos seguintes

categoria evento	1	2	3	4	5	6
A	-	2	5	9	10	10
B	1	3	4	8	9	10
C	-	-	-	2	8	10
D	7	9	10	10	10	10
E	-	1	1	1	3	10
F	2	5	10	10	10	10

Os dados são então convertidos em proporções sendo que estas proporções são colocadas em outra tabela, conforme *Tabela 8*.

Tabela 8 Tabela de proporções relativa à Tabela 7

categoria evento	1	2	3	4	5
A	0	0,2	0,5	0,9	1,0
B	0,1	0,3	0,4	0,8	0,9
C	0	0	0	0,2	0,8
D	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0
E	0	0,1	0,1	0,1	0,3
F	0,2	0,5	1,0	1,0	1,0

Como estas proporções correspondem à área do valor standardizado "z" da curva normal é possível construir uma tabela, conforme *Tabela 9*, com os valores "z". Os casos de probabilidade 1 ou 0 refletem extremidades de julgamento e não podem ser desconsiderados. Como na distribuição normal 100% ou 0% da distribuição ocorrem a \pm infinito (não tem valor Z) os valores para estes casos foram extraídos da tabela A-4 em Seaver e Stillwell (1983) para completo acordo entre 10 juízes, isto é, 1,69 para 100% e -1,69 para 0%.

Tabela 9 Tabela de valores "z" referentes à tabela da Tabela 8

categoria evento	1	2	3	4	5	média linhas
A	-1,69	-0,84	0	1,28	1,69	0,088
B	-1,28	-0,52	-0,25	0,84	1,28	0,014
C	-1,69	-1,69	-1,69	-0,84	0,84	-1,014
D	0,52	1,28	1,69	1,69	1,69	1,374
E	-1,69	-1,28	-1,28	-1,28	-0,52	-1,21
F	0,84	0	1,69	1,69	1,69	0,846
média colunas	-1,1116	-0,508	0,0266	0,563	1,1116	0,016

A partir daí é possível construir a escala (*Figura 12*) subtraindo-se as médias das linhas pela grande média (no caso, 0.016).

Figura 12
Disposição, em escala, dos valores tabelados na Tabela 2.1-9

D	F	A	B	C	E
-1,358	-0,83	-0,072	0,002	1,03	1,226

Método de Classificação

Este método é similar ao método de postos, com a diferença que não exige que somente um estímulo seja colocado em cada categoria. Por exemplo, pode-se classificar as seis obras de arte em apenas 4 categorias pré-estabelecidas, variando do mais bonito (1) até o mais feio (4). Desta forma, haverá casos em que mais de uma obra receba a mesma classificação (por exemplo, obra A e C sejam classificadas na categoria 1), ou casos em que nenhuma obra receba uma determinada classificação (por exemplo, nenhuma obra seja classificada na categoria 2).

Teoria de Detecção de Sinais

As medições de limiar de sensibilidade, conforme proposto pela psicofísica, não são consideradas válidas por alguns pesquisadores. Eles consideram que a percentagem de acertos nas respostas ou qualquer outro parâmetro não comportam a precisão humana na detecção de sinais pois detecção depende: 1) da qualidade do sinal; 2) do critério de decisão do sujeito. A Teoria de Detecção de Sinais propõe um método que discrimina estes dois elementos. Para tanto, ela assume que:

- 1) todas as decisões são tomadas sob incerteza devido a ruído no sistema de decisão;
- 2) na ausência de sinal, o ruído atua no sistema de decisão que é representado como uma distribuição de probabilidade Gaussiana,

normal unitária, com media μ_N e desvio padrão σ_S ;

- 3) a ocorrência de sinais no sistema gera uma distribuição sinal+ruído, gaussiana, normal unitária, com média μ_N e desvio padrão σ_N ;
- 4) no caso mais simples $S = N$;
- 5) a intensidade do sinal é medida pela distância entre as duas médias, tem como base o desvio padrão da distribuição do ruído e é denominado d'

$$d' = \frac{\mu_S - \mu_N}{\sigma_N}$$

A Teoria de Detecção de Sinais é aplicável em qualquer situação real de trabalho em que haja dois estados discretos (chamados sinal e ruído) que não podem ser facilmente identificados. Os sinais têm que ser detectados pelo operador e, neste caso, duas respostas são possíveis: "sim, detectei o sinal", e "não, não detectei o sinal". Esta situação ocorre em uma tarefa de detecção de informação em radar; na detecção de um tumor em uma radiografia; em uma situação de identificação de um mal funcionamento em uma refinaria; durante controle de qualidade de peças em uma indústria; durante revisão de texto para correção de erros etc.

A combinação de duas situações e duas possibilidades de resposta em uma determinada tarefa pode ser descrita em uma matriz, conforme *Tabela 10*.

Tabela 10 Matriz de resposta (quatro possíveis respostas) segundo a Teoria de Detecção de Sinais

Estado da informação	sinal	ruído
Resposta		
SIM	acerto	alarme falso
NÃO	erro	rejeição correta

As relações entre a presença ou ausência de um sinal, a variabilidade randômica de X , e X_c aparecem na *Figura 13*. Ela mostra as curvas de probabilidade de se observar um valor X , tanto numa tentativa em que haja ruído (curva da esquerda) quanto numa tentativa em que um sinal realmente exista (curva da direita). É importante lembrar que as distribuições da *Figura 13* são puramente hipotéticas. Assume-se que estas

distribuições ocorram de alguma forma no cérebro das pessoas, mas isto não pode ser observado diretamente.

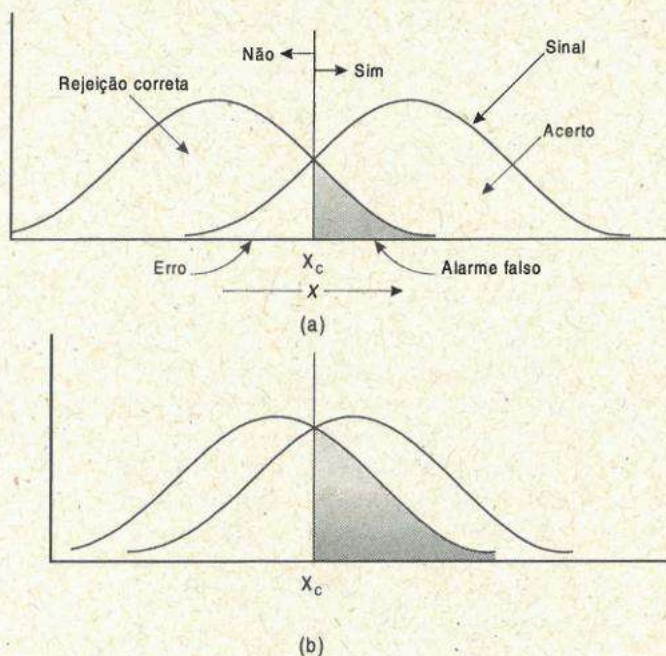


Figura 13
Distribuições hipotéticas da ocorrência de sinal e ruído de acordo com a Teoria de Detecção de Sinais.
a) distribuições de alta sensibilidade,
b) distribuições de baixa sensibilidade

O ponto em que a probabilidade de um evento decorrente de um sinal é igual à probabilidade do evento ser decorrente de ruído é o valor “ X ” onde as duas curvas se encontram. O critério X_c escolhido pelo operador é mostrado pela linha vertical. Todos os valores X à direita ($X > X_c$) fará o operador responder “sim”. Todos os valores X à esquerda geram “não” como resposta. As curvas com diferentes tons de cinza representam as ocorrências de acertos, erros, alarmes falsos e rejeições corretas. O comportamento de um operador será “conservador” ou “de risco” dependendo de onde está colocado seu critério de decisão X_c . Se X_c é colocado à direita, a maioria das respostas será “não” (conservador). Se X_c for colocado à esquerda, a maioria das respostas será “sim” (estratégia de risco).

Uma outra variável que está diretamente relacionada com o X_c hipotético é a quantidade β , que é a razão entre as alturas das duas curvas. Valores maiores de β (e X_c) geram menos respostas “sim” e, em consequência, menos acertos e alarmes falsos. Valores menores de β (e X_c) geram mais respostas “sim” e, em consequência, mais acertos e alarmes falsos. É um parâmetro de critério adotado pelos indivíduos durante a

detecção de sinais. Se a intenção é maximizar os acertos e minimizar erros (alarmes falsos), ao mesmo tempo, chega-se ao critério ótimo descrito por:

$$\beta = \frac{P(N)}{P(S)}$$

P(N) = proporção de tentativas em que nenhum sinal está presente

P(S) = 1 - P(N)

Repare que custos são negativos e valores são positivos.

A avaliação subjetiva dos sinais vem sendo bastante utilizada para captação da opinião das pessoas sobre suas condições de trabalho, sobre os produtos que usam etc. O *Capítulo 3.1*, a seguir, discute a avaliação de conforto e desconforto que é uma sensação subjetiva.

REFERÊNCIAS

- BECK, J. (1966a) Perceptual grouping produced by changes in orientation and shape. *Science*, 154 (3748):538-540.
- . (1966b) Effect of orientation and of shape similarity on perceptual grouping. *Perception and Psychophysics*, 1:300-302.
- DAMASIO, A.; YAMADA, T.; DAMASIO, H.; CORBETT, J.; McKEE, J. (1980) Central achromatopsia: behavioural, anatomic, and physiologic aspects. *Neurology*, 30(10):1064-1071.
- DUNCAN, J.; HUMPHREYS, G. W. (1989) Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96:433-458.
- FREEMAN, W. J. (1991) The physiology of perception. *Scientific American*, 264(2):78-85.
- GARNER, W. R.; FELFOLDY, G. L. (1970) Integrality of stimulus dimensions in various types of information processing. *Cognitive Psychology*, 1:225-241.
- GARNER, W.R. (1974) *The processing of information and structure*. Potomac, Maryland: Erlbaum.
- GRANDJEAN, E. (1998) *Manual de Ergonomia – Adaptando o Trabalho ao Homem*. Bookman, 4 edição, Porto Alegre.

GREGORY, R. L. (1970) On how little information controls so much behaviour. *Ergonomics*, 13(1):25-35.

—. (1972) *Eye and brain* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.

GREGORY, R. L.; WALLACE, J. G. (1963) *Recovery from early blindness: a case study*. Cambridge: Heffers.

GUIMARÃES, L. B. de M. (1992) *The salience of primitive sensory cues and implications for the design of complex dynamic displays*. Tese. Department of Industrial Engineering, University of Toronto, Canada.

GUYTON, A. C. (1973) *Tratado de fisiologia médica*. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

HOFFMAN, J. E. (1980) Interaction between global and local levels of a form. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 6:222-234.

KOFFKA, K. (1935) *Principles of gestalt psychology*. New York: Harcourt, Brace and World.

LIVINGSTONE, M. S.; HUBEL, D. H. (1987) Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth. *Journal of Neuroscience*, 7(11):3416-3468.

LUECK, C. J.; ZEKI, S.; FRISTON, K. J.; DEIBER, M. P.; COPE, P.; CUNNINGHAM, V. J.; LAMMERTSMA, A. A.; KENNARD, C.; FRACKOWIAK, R. S. J. (1989) The colour centre in the cerebral cortex of man. *Nature*, 340(6232):386-389.

MCLEOD, P.; DRIVER, J.; CRISP, J. (1988) Visual search for a conjunction of movement and form is parallel. *Nature*, 332(6160):154-155.

MURRELL, K. F. H. (1965) *Ergonomics - man and his working environment*. London: Chapman and Hall. 496 p.

NAVON, D. (1977) Forest before trees: the precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9:353-363.

NEISSER, U. (1976) *Cognition and Reality*. San Francisco: W.H. Freeman.

- (1985) Toward an ecologically oriented cognitive science. In T.M. Shlechter & M.P. Togli (Eds). *New directions in cognitive science* (chapter 2, pp. 17-32). Norwood, NJ: Ablex.
- POSNER, M. L. (1988) Structures and functions of selective attention. In T. Boll & B. Bryant (Eds) *Master lectures in clinical neuropsychology* (pp. 173-202). Washington: Am. Psych. Assoc.
- SEAVER, D.A.; STILLWELL, W.G. (1983) *Procedures for using expert judgement to estimate human error probabilities in nuclear power plant operations*. NUREG/CR-2743.
- SHEPPARD, R. N. (1964) Attention and the metric structure of the stimulus space. *Journal of Mathematical Psychology*, 1:54-87.
- SILVERSTEIN, L. D. (1987) Human factors for color display systems: Concepts, Methods, and Research. In: DURRETT, H. J. (Ed.) *Color and the computer*. Boston: Academic Press, Inc./Harcourt Brace Jovanovich, Publishers. 113 p.
- SPENCER, H. (1968) *The visible word*. Problems of legibility. London: Lund Humphries with the Royal College of Art. 107 p.
- TREISMAN, A. (1982) Perceptual grouping and attention in visual search for features and for objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8(2):194-214.
- (1986) Properties, parts and objects. In R. Boff, L. Fauffman & J. P. Thomas (Ed.) *Handbook of perception and human performance* (vol.2, seção 6, cap.35, pp.1-70). New York: Wiley.
- TREISMAN, A.; SCHMIDT, H. (1982) Illusory conjunctions in the perception of objects. *Cognitive Psychology*, 14:107-141.
- TREISMAN, A.; GORMICAN, S. (1988) Feature analysis in early vision: evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, 95:15-48.
- TREISMAN, A.; PATERSON, R. (1984) Emergent features, attention and object perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10:12-31.
- TREISMAN, A.; GELADE, G. (1980) A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1):97-136.

TREISMAN, A.; SYKES, M.; GELADE, G. (1977) Selective attention and stimulus integration. In S. Dornic (Ed.) *Attention and performance*. (vol.6 pp.333-361). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

WITKIN, H.A., OLTMAN, P.K., RASKIN, E., and KARP, S.A. (1971) *A manual for the embedded figures tests*. Consulting Psychologists Press, Inc, 577 College Avenue, Palo Alto, CA.

31

Avaliação do conforto e desconforto

Júlio Carlos de Souza van der Linden

O conforto é um dos temas mais importantes para as sociedades contemporâneas, a cada instante alguém está agindo no sentido de buscar uma situação mais confortável, física ou mentalmente (Slater, 1985). Cotidianamente, as pessoas são expostas a estímulos comerciais vinculando produtos a conforto, por meio de *outdoors*, anúncios em periódicos e televisão, e tantos outros meios de comunicação para massas. Pode-se reconhecer que o conforto é um atributo de qualidade valorizado pelo consumidor/usuário, ou “uma qualidade ergonômica do produto”, nas palavras de Iida (1998). A despeito disso, não é uma tarefa simples definir o que é conforto. O conceito de conforto é subjetivo, depende em grande parte da percepção da pessoa que está experienciando a situação, não existindo uma definição universalmente aceita. Uma busca na literatura em ergonomia a respeito desse tema permite encontrar apenas um consenso: não se dispõe de uma definição geral para o conforto (Pineau, 1982; Lueder, 1983; Slater, 1985; Zhang, 1992; Sanders e McCormick, 1993; Quehl, 2001). Mesmo assim, existem definições que, de modo geral, tendem a ressaltar aspectos relacionados à formação profissional e ao interesse daqueles que as formularam: um médico tende a enfatizar os aspectos fisiológicos; um psicólogo, os comportamentais; um engenheiro, o desempenho (Iida, 1998).

O tema conforto passou a ter destaque em pesquisas voltadas para o mercado de produtos industrializados e para o ambiente de trabalho a partir do fim da década de 1950 e ao longo das décadas de 1960 e 1970 com a publicação de pesquisas voltadas principalmente para o tema de conforto em assentos (Wachsler e Learner, 1960; Branton, 1969; Jones, 1969; Schackel *et al.*, 1969; Wotzka *et al.*, 1969; Le Carpentier, 1969), além de estudos relacionados a transportes de

passageiros (Manenica e Corlett, 1973; Osborne e Clarke, 1975) e trabalho na indústria (Corlett e Bishop, 1976). A relevância do tema é confirmada pela continuidade de novas publicações ao longo do final do século XX, com estudos ligados a cadeiras para escritórios (Drury e Coury, 1982; Lueder, 1983; Helander *et al.*, 1987; Zhang *et al.*, 1996; Helander e Zhang, 1997), assentos de ônibus (Jianghong e Long, 1994), assentos de tratores (Mehta e Tewari, 2000), equipamentos de proteção individual (Akbar-Khanzadh e Bisesi, 1995), luvas (Cherry *et al.*, 2000) e ferramentas manuais (Christensen e Bishu, 2000), entre outros campos.

AValiação DO CONFORTO

Além da dificuldade em definir o conforto, não existe uma medida objetiva de conforto que permita a um observador medir o que um sujeito está sentindo, é necessário o uso de inquirições, para saber o quão confortável ele está (Sanders e McCormick, 1993). Diante da dificuldade em estabelecer uma medida objetiva do conforto, têm sido adotadas medidas indiretas, que pretendem refletir o desconforto. As técnicas mais utilizadas, por diversas áreas, são medidas biomecânicas, medidas fisiológicas, escalas de registro de comportamento e verbalizações.

O uso de medidas biomecânicas e fisiológicas tem sido recomendado por diversos estudos que demonstraram boa correlação entre pressões nos discos intervertebrais e a atividade muscular (medida por eletromiografia) e a ocorrência de desconforto (Stracker, 1999). Contudo, segundo Iida (1998), as medidas fisiológicas explicam apenas em parte o fenômeno do conforto, que é complexo, envolvendo outras variáveis.

Muitos ergonomistas sugerem medir a intensidade do desconforto por meio da observação do comportamento. Para a posição sentada, por exemplo, o aumento das trocas de postura pode indicar um aumento no desconforto. Portanto, o registro do número de trocas de postura é sugerido como uma medida do desconforto (Stracker, 1999). Contudo, outros autores entendem que a troca de posturas não necessariamente reflete um desconforto, na medida em que os movimentos do corpo estão relacionados à circulação sanguínea, a mudanças nas estimulações nervosas e à difusão de nutrientes para a coluna vertebral. Portanto, as mudanças de postura traduzem necessidades do metabolismo (Iida, 1998).

A revisão de literatura apresenta poucos estudos nos quais é realizada a avaliação do conforto por meio de técnicas diretas. Um tipo de avaliação, que é adotada por alguns autores, como Zhang *et al.* (1996) e Helander e Zhang (1997), é a avaliação do conforto geral (*overall comfort evaluation*). Também Coelho e Dahlman (1999) avaliaram, com questionário, o conforto geral de assentos de automóveis.

Em estudos com o objetivo de avaliar o conforto, freqüentemente são adotadas escalas que avaliam o eixo conforto/desconforto. Drury e Coury (1982) já citam o uso desse tipo de escala para avaliação do conforto geral, baseados em revisão da literatura, com escalas binárias (*comfortable/uncomfortable*)¹, escalas com um ponto médio entre dois extremos (*uncomfortable/medium/comfortable*), escalas com sete pontos (1 = *extreme discomfort* a 7 = *extreme comfort*) e até 11 pontos, como a de Shackel *et al.* (1969). Deve-se notar que foi feita a opção de manter o original inglês, porque em alguns casos os descritores foram selecionados com o uso de técnicas de análise semântica, e foi assumido que a tradução não seria a melhor técnica, se não obedecesse aos mesmos critérios. Na medida em que uma escala desenvolvida em um determinado contexto cultural não necessariamente é adequada para outro, é preferível manter o original em todas, mesmo naquelas em que a tradução seria direta.

Um trabalho clássico na avaliação de conforto é o de Shackel *et al.* (1969), que desenvolveram uma escala de avaliação de conforto para cadeiras em geral, denominada *General Comfort Rating (GCR)* apresentada na *Figura 1*. Esta escala foi construída a partir de um estudo realizado com usuários de cadeiras, aos quais foram apresentadas 20 declarações relacionadas com percepção de conforto. Os usuários foram solicitados a ordenar essas 20 declarações e, em seguida, selecionar 11 que permitissem estabelecer uma escala de avaliação do conforto, com o mesmo intervalo.

Figura 1 General Comfort Rating: escala de avaliação para conforto em cadeiras desenvolvida por Shackel *et al.* (1969)

Please rate the chair on your feelings now.

- I feel completely relaxed
- I feel perfectly comfortable
- I feel quite comfortable
- I feel barely comfortable
- I feel uncomfortable
- I feel restless and fidgety
- I feel cramped
- I feel stiff
- I feel numb (or pins and needles)
- I feel sore and tender
- I feel unbearable pain

Estudos recentes que têm por objetivo a avaliação do conforto mantêm esse eixo conforto/desconforto. Entre outros, Karlqvist (1994), ao desenvolver uma mesa para trabalho computadorizado, avaliou o conforto de variáveis ambientais por meio de uma escala com os extremos - 4 (*very, very uncomfortable*) e + 4 (*very, very comfortable*). Com outro objeto de estudo, Buckle e Fernandes (1997), ao avaliarem conforto em colchões, utilizaram as seguintes âncoras: *comfortable*; *slightly uncomfortable*; *uncomfortable*; *very uncomfortable*; e *unbearably uncomfortable*. Outro tipo de estudo, realizado por Dempsey *et al.* (1996) ao avaliarem a opinião de carteiros com relação a cada uma de 4 sacolas utilizou um questionário com 40 perguntas, que versavam sobre todos os aspectos relevantes quanto ao seu uso. Entre essas, diversas estavam relacionadas ao conforto, utilizando a seguinte escala: 1 (*Very uncomfortable*), 2 (*uncomfortable*), 3 (*neutral*), 4 (*comfortable*) e 5 (*Very comfortable*). Por fim, Cham e Redfern (2001) avaliaram o efeito de tipo de piso no conforto na posição em pé por meio da percepção de desconforto.

AVALIAÇÃO DO DESCONFORTO

Definições de desconforto também são complexas e, segundo Cameron (1996), é raro encontrar algum estudo que tenha utilizado ferramentas para avaliação do desconforto uma definição clara do que é “desconforto”. Em estudos experimentais, com o uso de tarefas relativamente simples, a definição de desconforto está ligada à ocorrência de dor, fadiga, câibras etc. Para Shen e Parsons (1997, p. 442), “*desconforto é uma sensação genérica e subjetiva que surge quando a homeostase fisiológica, o bem estar –psicológico, ou ambos são negativamente afetados*”.

A avaliação do desconforto mais que a avaliação do conforto percebido tem um instrumento utilizado de maneira geral para validar projetos ou avaliar situações de trabalho. Como foi demonstrado na seção anterior, mesmo a avaliação do conforto tem sido feita associada à avaliação do desconforto ou utilizando-a como uma medida indireta. Para a construção de qualquer modelo de conforto, torna-se relevante o conhecimento de técnicas de avaliação de desconforto, que possam ser utilizadas para a sua validação. Este conhecimento envolve a definição das dimensões do desconforto e a seleção de escalas adequadas de avaliação.

Dimensões da avaliação subjetiva do desconforto

O desconforto é avaliado de diversas formas dependendo do enfoque utilizado e dos objetivos do estudo. Contudo, alguns fatores têm apresentado maior importância em avaliações com o enfoque ergonômico. Cameron (1996), mapeando o uso de escalas de avaliação de desconforto de partes do corpo na área de ergonomia, encontrou avaliações envolvendo, como fatores, a severidade (ou intensidade), a frequência e a duração do desconforto (*Figura 2*). Para Stracker (1999) os aspectos que devem ser cobertos na avaliação do desconforto são a intensidade, a qualidade, a localização e o padrão temporal.

	Fonte			
	AE	E	HF	O
Localização				
Locais específicos	f, j, n, o	c, k, p	l, m	a, b, d, e, g, h, i, q, r
Geral/todo o corpo		c, p		
Severidade/Intensidade/Nível	j, o	c, k, p	m	a, b, e, h, i, q, r
Restrições para o trabalho				a
Duração	F			j
Frequência/Taxa de ocorrência			l	d, e, g, h

Figura 2
Dimensões do desconforto
(Cameron, 1996)

Legenda: As letras maiúsculas em negrito indicam a fonte: **AE** Applied Ergonomics; **E** Ergonomics; **HF** Human Factors; **O** outras publicações. As letras minúsculas indicam a referência bibliográfica: a. Benden, 1994; b. Corlett, 1990; c. Corlett e Bishop, 1976; d. Grandjean et al. 1983; e. Krawczyk e Armstrong, 1993; f. Kuorinka et al., 1987; g. Laubli et al. 1991; h. Marley e Kumar, 1994; i. Ostrom, 1993; j. Reynolds et al. 1994; k. Saldana et al., 1994; l. Sauter et al., 1991; m. Schoenmarklin e Marras, 1989; n. Slovak e Travers, 1988; o. Stuart-Buttle, 1994; Van der Grinten, 1991; r. Van der Grinten e Smitt, 1992.

A intensidade, ou severidade, tem sido avaliada por meio de adjetivos descritivos (levemente, moderado, severo) e também por descritores comportamentais, como *não restringe a atividade*¹ (Cameron, 1996). Stracker (1999) sugere, para a avaliação subjetiva da intensidade de desconforto, o uso de escalas verbais, visuais analógicas, numéricas e gráficas.

¹ Benden (1994 apud Cameron, 1996): "pain does not restrict activity"

BENDEN, M. E. (1994) Creating the painless inspection station. *Ergonomics in Design*, pp. 22-29.

A localização do desconforto é registrada com o uso de um mapa corporal (Corlett e Bishop, 1976; Corlett, 1995; Cameron, 1996; Stracker, 1999; Gyl e Porter, 1999 etc.) ou com o uso de questionário

que apresenta referências a partes específicas do corpo (Stracker, 1999; Legg, Perko e Campbell, 1997; entre outros).

A dimensão temporal do desconforto temporal tem sido avaliada em função da frequência em que ocorre com escalas verbais como: nunca, ocasionalmente, diariamente. Um outro aspecto é a persistência do desconforto, avaliada com escalas verbais como: menos que uma semana, mais que um ano. O último aspecto é o tempo que o desconforto permanece após a interrupção da "atividade causal". Segundo Cameron (1996), esse aspecto não foi abordado em nenhum dos estudos encontrados na sua revisão de literatura.

Segundo Stracker (1999), a avaliação da qualidade do desconforto não tem sido usada por ergonomistas, embora seja um importante fator na avaliação de dor pela área da saúde. A qualidade do desconforto pode ser registrada apenas com o uso de descritores verbais, com palavras como: cãibra, formigamento, calor etc.

Escalas utilizadas para avaliação subjetiva do desconforto

Para a avaliação de desconforto, são utilizados dois tipos de procedimento: ordenação e julgamento. Segundo Cameron (1996), em investigações no campo da ergonomia, o procedimento mais utilizado tem sido o julgamento. Isso se explica, entre outras razões, devido à variedade de tipos de escala e às possibilidades de análise que essas escalas oferecem. Existe, hoje, um grande número de escalas de julgamento, desde escalas binárias, escalas descritivas (categorias verbais), escalas visuais, escalas gráficas, e combinações. A Figura 3 apresenta um resumo dos resultados do levantamento realizado por Cameron (1996) quanto à utilização de técnicas de avaliação de desconforto na literatura científica.

	Fonte		
	AE	E	HF O
Ordenação (<i>ranking</i>)	c, p b		
Julgamento (<i>rating</i>)			
Binária (sim/não)	f, n		
Categorias verbais	o	j	a, d, g
Categorias numéricas com dois, ou mais descritores verbais	j	c, k	m b, h, i
Escalas especiais (CR-10, VAS)		p	e, q, r
Índices especiais derivados de dados de grupos de locais especiais		o	c q, r

Figura 3 Tipos de escala utilizados em avaliação de desconforto (Cameron, 1996)

Legenda: As letras maiúsculas em negrito indicam a fonte: **AE**: Applied Ergonomics; **E**: Ergonomics; **HF** Human Factors; **O** outras publicações. As letras minúsculas indicam a referência bibliográfica: a. Benden, 1994; b. Corlett, 1990; c. Corlett e Bishop, 1976; d. Grandjean et al. 1983; e. Krawczyk e Armstrong, 1993; f. Kuorinka et al., 1987; g. Laubli et al., 1991; h. Marley e Kumar, 1994; i. Ostrom, 1993; j. Reynolds et al. 1994; k. Saldana et al., 1994, l. Sauter et al., 1991; m. Schoenmarklin e Marras, 1989; n. Slovak e Travers, 1988; o. Stuart-Buttle, 1994; Van der Grinten, 1991; r. Van der Grinten e Smit, 1992.

Escalas binárias

Escalas binárias são pouco utilizadas, como pode ser verificado na revisão feita por Cameron (1996) e na *Figura 3*. Este tipo de escala não permite a discriminação de intensidade, tornando-se um instrumento muito grosseiro para o fim de avaliação de desconforto. Um caso de aplicação desta técnica é encontrado em Randall *et al.* (2002).

Escalas descritivas

As escalas descritivas ou verbais utilizam adjetivos ou advérbios para caracterizar dimensões do desconforto, como a intensidade (leve, moderado, severo) ou a frequência (nunca, ocasionalmente, diariamente). Algumas são escalas categóricas sem valores numéricos associados. Na medicina, este tipo de escala é utilizado para a avaliação de dor. Em um documento disponível na Internet (American, 2002), a American Medical Directors Association apresenta a escala da *Figura 4*, que deve ser respondida simplesmente marcando ao lado da expressão que melhor represente a percepção do sujeito.

- _____ The most intense pain imaginable
- _____ Very severe pain
- _____ Severe pain
- _____ Moderate pain
- _____ Mild pain
- _____ Slight pain
- _____ No pain

Figura 4 Verbal
Descriptor Scale
(American, 2002)

Uma versão para uso em estudos ergonômicos a partir de uma adaptação da escala de Borg (1982) é apresentada por Coelho e Dahlman (2000), conforme a *Figura 5*.

Figura 5 Escala
categórica
ordenada usada
para a
classificação do
desconforto,
adaptada de Borg,
(1982) (Coelho e
Dahlman, 2000)

- Nenhum desconforto de todo
- Desconforto extremamente fraco (apenas notável)
- Desconforto muito fraco
- Desconforto fraco
- Desconforto moderado
- Desconforto forte (grande)
- Desconforto muito forte
- Desconforto extremamente forte (quase max)

Outras escalas associam o nível avaliado a um número, por exemplo: 0 = nunca; 1 = leve; etc. São ainda escalas categóricas, nas quais o intervalo numérico não tem relação linear com o incremento da intensidade de desconforto.

Escalas psicofísicas

Uma outra categoria de escalas corresponde às psicofísicas, que Cameron (1996) classifica como escalas especiais. No seu artigo foram listadas duas: a escala visual analógica (*Visual Analog Scale* – VAS), que será descrita mais adiante neste trabalho, e a *Category Ratio Scale* (CR-10), apresentada na *Figura 6*. A CR-10 utiliza uma escala numérica, de 0 a 10, e descritores selecionados com base em análise semântica quantitativa. Foi desenvolvida de maneira a permitir tanto uma avaliação categórica quanto proporcional². Dessa forma, a intensidade de desconforto percebida como 4 (*somewhat severe discomfort*) é duas vezes maior que a intensidade percebida como 2 (*slight discomfort*).

² “A escala proporcional mede os atributos de forma que os acréscimos em atributos sejam representados por acréscimos proporcionais em valores da escala.” (Pereira, 1999, p.62).

0	None at all	
0.5	Very, very slight discomfort	(just noticeable)
1	Very slight discomfort	
2	Slight discomfort	
3	Moderate discomfort	
4	Somewhat severe discomfort	
5	Severe discomfort	
6		
7	Very severe discomfort	
8		
9		
10	Very, very severe discomfort	(almost max)
*	Maximal	

Figura 6 *Category Ratio Scale* (CR-10) (Shen e Parsons, 1997)

Outra escala psicofísica, não mencionada por Cameron (1996), mas utilizada por Shen e Parsons (1997) é a *Category Partitioning Scale* (CP-50). Trata-se de uma escala para avaliação em dois passos: no primeiro, o sujeito indica, de forma grosseira, o quanto está desconfortável, com o uso dos descritores verbais; em seguida, refina a sua avaliação utilizando uma escala numérica (*Figura 7*).

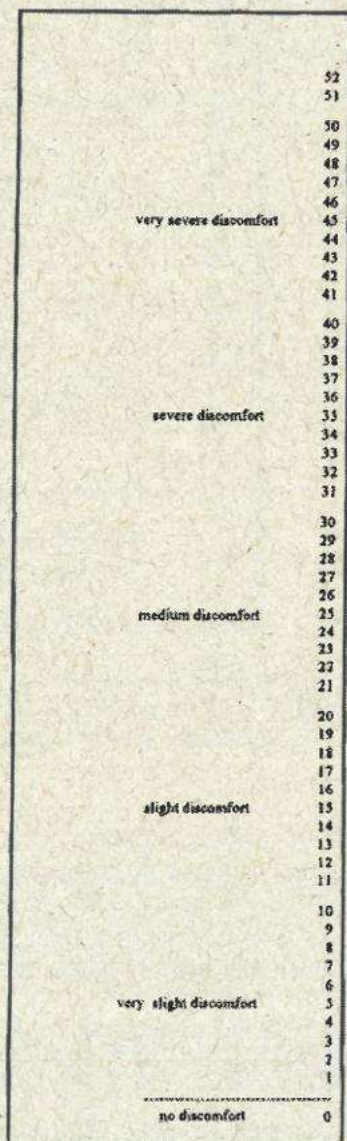


Figura 7 Category
Partitioning Scale
(CP-50) (Shen e
Parsons, 1997)

Com base em critérios semelhantes aos da CR-10 e da CP-50, Shen e Parsons desenvolveram a escala apresentada na Figura 8.

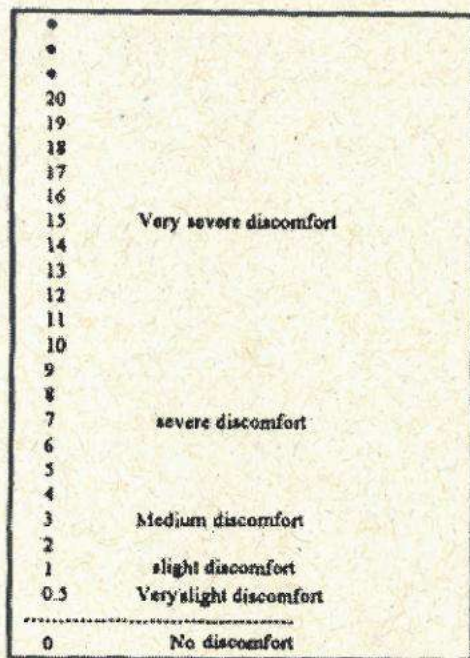


Figura 8 Escala F,
desenvolvida por
Shen e Parsons
(1997)

Além das categorias de escala apresentadas por Cameron (1996), há a classificação utilizada por Stracker (1999), com os seguintes tipos de escalas de julgamento: verbal, visual analógica, numérica e gráfica.

Escalas verbais de julgamento

As escalas verbais de julgamento podem utilizar um substantivo como descritor para o fenômeno avaliado (dor, conforto, desconforto etc.) e palavras ou expressões que indicam a percepção quanto a sua intensidade. A Figura 9 apresenta um exemplo deste tipo de escala para a avaliação de desconforto (Stracker, 1999).

Figura 9 Escala
verbal com
descriptor simples
(Stracker, 1999)

no discomfort	minimal discomfort	moderate discomfort	severe discomfort	maximal discomfort
------------------	-----------------------	------------------------	----------------------	-----------------------

Outro tipo de escala verbal utiliza diferentes descritores para indicar estados do fenômeno avaliado, como o exemplo da Figura 10.

Figura 10 Escala
verbal com
múltiplos
descritores
(Stracker, 1999)

relaxed	comfortable	neutral	uncomfortable	painful
---------	-------------	---------	---------------	---------

Nos dois casos apresentados por Stracker (1999) o registro da percepção do sujeito é feito com uma marca, geralmente um círculo, sobre o descritor. Também pode ser utilizada a coleta por verbalização, ou seja, o sujeito reporta qual a intensidade de desconforto que está percebendo.

A análise dos dados provenientes de escalas verbais é feita com o uso de distribuição de frequências e estatísticas não-paramétricas.

Conforme Stracker (1999), as escalas verbais têm a vantagem de serem de fácil aplicação devido a serem diretas e, aparentemente, compreensíveis por qualquer pessoa. Contudo, apresentam desvantagens que devem ser consideradas a despeito de sua praticidade. Tanto no caso de descritores simples ou múltiplos descritores, o número de pontos na escala é relativamente pequeno, levando a que apenas grandes variações da intensidade de desconforto sejam detectáveis. Além disso, as escalas com múltiplos descritores podem levar a erros devidos a diferentes interpretações por parte de diferentes sujeitos.

Escala visual analógica

A escala visual analógica (VAS) é um tipo de escala psicofísica que consiste no uso de uma linha, geralmente de 100 mm, com âncoras verbais posicionadas nos extremos (Cameron, 1996; Stracker, 1999). Essas âncoras ou rótulos caracterizam alguma dimensão do fenômeno avaliado. O uso desse tipo de escala é feito com a colocação de uma marca no ponto da linha que melhor expressa a percepção do sujeito. A distância medida entre o ponto marcado e o extremo inferior da escala é assumida como o valor percebido pelo sujeito. Esse tipo de escala permite o uso de estatísticas paramétricas, na medida em que são gerados valores contínuos (Stracker, 1999).

Em medicina, esse tipo de escala é considerado válido e confiável para a avaliação de dor em pacientes (Cameron, 1996). A American Medical Directors Association apresenta dois tipos de VAS (American..., 2002). Uma das escalas utiliza um eixo vertical, com extremos "*The Worst Imaginable Pain*" e "*No Pain*", e outra um eixo horizontal com as âncoras "*No pain*" e "*Pain as bad as it could possibly be*". Essas escalas podem ser observadas na *Figura 11*.

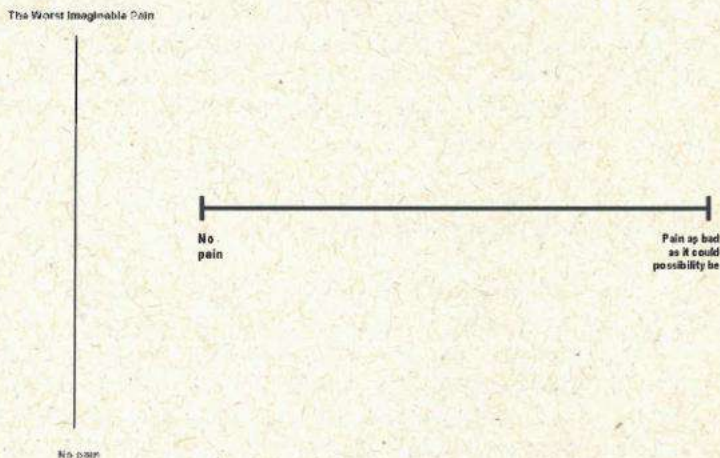


Figura 11 Escalas visuais analógicas para avaliação de dor (American Medical Directors Association, 2002)

No caso de avaliação de desconforto, têm sido propostas diversas versões de escalas visuais analógicas. O posicionamento horizontal tem sido constante, além da dimensão de aproximadamente 100 mm. A principal diferença refere-se aos descritores escolhidos para as âncoras e o uso eventual de âncora no ponto médio da escala. Stracker (1999) utiliza como extremos “no discomfort” e “extreme discomfort” (Figura 12), e menciona o uso de outro descritor para a intensidade máxima, “discomfort as bad as it could be”.

Figura 12 Escala visual analógica (Stracker, 1999)



Shen e Parsons (1997) adotam, em seu estudo, dois tipos de escala visual analógica, que denominam de B e E. Em ambas as escalas é utilizado um ponto médio. A escala B, apresentada na Figura 13, é uma versão feita por Congleton (1983³ apud Shen e Parsons, 1997) a partir da escala utilizada por Corlett e Bishop (1976), e tem como descritores “just noticeable discomfort”, “medium discomfort” e “extreme discomfort”. Para a sua utilização, pode-se marcar um ponto sobre a linha ou, caso o sujeito não perceba qualquer desconforto, deve escrever um “0” (zero) no extremo esquerdo da escala.

³ CONGLETON, J. J. (1983) *Design and evaluation of a neutral posture chair*. PhD. Thesis, Texas Tech University.

Figura 13 Escala visual analógica (Shen e Parsons, 1997)



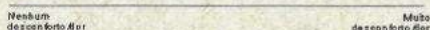
A escala E, apresentada na *Figura 14*, é uma versão desenvolvida por Shen e Parsons (1997), com as seguintes âncoras “No discomfort at all”, “Medium discomfort” e “Extreme discomfort”. O seu preenchimento é feito apenas com uma marca sobre a linha.

Figura 14 Escala visual analógica utilizada por Shen e Parsons (1997)



Guimarães *et al.* (2000) desenvolveram uma escala com uma linha horizontal de 90 mm, tendo nos extremos duas âncoras, baseadas em Corlett (1995): “Nenhum desconforto/dor” e “Muito desconforto/dor”.

Figura 15 Escala visual analógica utilizada por Guimarães *et al.* (2000)



A utilização de escalas visuais analógicas na avaliação de desconforto tem sido considerada adequada devido à facilidade de sua aplicação, a sensibilidade e adequação de seus dados para análises estatísticas (Shen e Parsons, 1997; Stracker, 1999). Como desvantagem, Stracker (1999) considera que algumas pessoas, como idosos e pessoas sem educação formal, podem ter dificuldade em registrar a sua percepção de desconforto em uma linha, devido a pouca familiaridade com conceitos abstratos.

Escalas numéricas de julgamento

Trata-se de outro tipo de escala discreta, neste caso apresentando números para estabelecer os níveis, ou categorias, de avaliação de um determinado fenômeno, com ou sem âncoras verbais nos extremos. A forma mais utilizada é a de 11 pontos, que varia entre 0 e 10, considerada de fácil utilização. Uma outra versão, mais refinada, propõe o uso de escala com 101 pontos, entre 0 e 100, porém a sua aplicação exige uma capacidade de discriminação significativamente maior. Stracker (1999) apresenta uma versão de 11 pontos, com descritores de desconforto: “no discomfort” e “extreme discomfort”.

Figura 16 Escala numérica de desconforto (Stracker, 1999)



Escalas gráficas de julgamento

Escalas gráficas também são usadas para avaliação de dor. Um exemplo associado a uma escala numérica, obtido em American... (2002), é apresentado na *Figura 17*. Trata-se de uma escala de 11 pontos, com duas

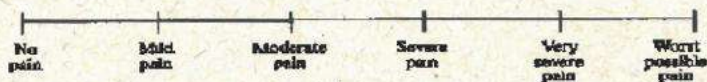
âncoras nos extremos, “no pain” e “worst possible pain”, e uma intermediária, “moderate pain”.

Figura 17 Numeric Pain Intensity Scale (American..., 2002)



Outro exemplo da mesma fonte, na Figura 18, associa uma escala verbal: “no pain”, “mild pain”, “moderate pain”, “severe pain”, “very severe pain” e “worst possible pain”.

Figura 18 Simple Descriptive Pain Intensity Scale (American..., 2002)



De forma similar existem escalas gráficas para a avaliação de desconforto, conforme a Figura 19 e a Figura 20.

Figura 19 Escala gráfica de desconforto (Stracker, 1999)

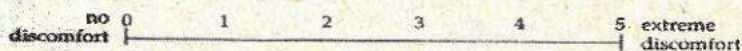
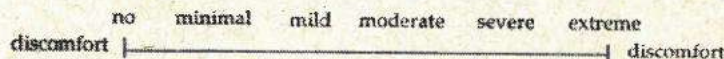


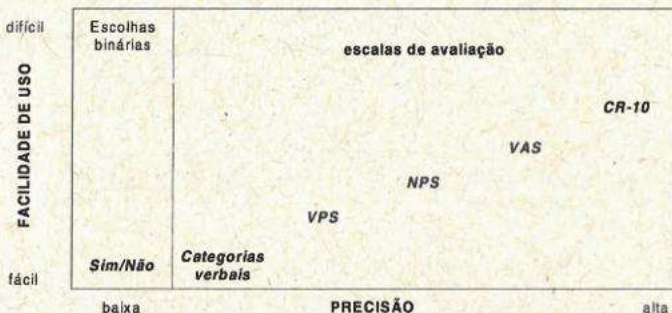
Figura 20 Escala gráfica de desconforto (Stracker, 1999)



Facilidade x precisão na utilização de escalas

Cameron (1996) avaliou a facilidade e a precisão de diversas escalas. A partir do quadro da Figura 21, pode-se observar que o aumento da precisão é acompanhado da diminuição da facilidade de aplicação da técnica.

Figura 21 Quadro com a comparação conceitual da facilidade e precisão de uso de técnicas utilizadas para a avaliação de desconforto (Cameron, 1996)



PITRELLA, F. D.;
KÄPPLER, W.-D.
(1988) Identification
and evaluation of
scale design
principles in the
development of the
extended range,
sequential judgment
scale.

Forschungsgesellschaft
für Angewandte
Naturwissenschaften
e.V.

Forschungsinstitut
für Anthropotechnik,
Wachtberg, Germany.

Princípios para a concepção de uma escala de julgamento

Considerações finais

Pitrella e Käppler (1988⁴ *apud* Shen e Persons, 1997) resumiram os princípios para a concepção de uma escala de julgamento: *i*) usar escala contínua ao invés de formatos categóricos; *ii*) usar descritores verbais e números em uma escala de pontos; *iii*) usar descritores em todas as marcas principais da escala; *iv*) usar formato horizontal ao invés de vertical; *v*) usar descritores extremos ou não descritores nos pontos finais; *vi*) usar descritores curtos, precisos e sem carga de valor; *vii*) determinar empiricamente a ordenação dos descritores; *viii*) selecionar e utilizar descritores equidistantes; *ix*) usar descritores psicologicamente comparáveis; *x*) usar apenas números positivos; *xi*) ter as qualidades desejáveis crescendo para a direita; *xii*) usar descritores que dispensem avaliações e que sejam livres de preconceitos; *xiii*) usar escala de 11 ou mais pontos, quando os descritores disponíveis permitirem; *xiv*) minimizar a carga de trabalho com a disponibilidade de informações.

A variedade de configurações de escalas de avaliação encontradas na literatura, tanto escalas de julgamento ou de ordenação, permite a seleção de um instrumento de avaliação de conforto/desconforto adequado para cada caso. Há que se considerar que as escalas de avaliação têm validade restrita a determinadas situações, não devendo ser utilizadas de maneira aleatória. Os estudos de Borg (1982), Cameron (1996) e Shen e Parsons (1997) chamam a atenção para essa questão, que pode vir a influenciar resultados, seja demonstrando existir desconforto onde, de fato, não seriam significativas as diferenças, ou não discriminando o desconforto, em casos onde seria de se esperar a sua ocorrência.

Com base na revisão de literatura quanto à aplicação deste tipo de instrumento, é possível estabelecer critérios que auxiliem na seleção do instrumento mais adequado para cada situação. Deve-se considerar os objetivos do experimento, o tipo de experimento planejado, as dimensões do desconforto a serem avaliadas, o perfil do sujeito do experimento e a forma de aplicação do instrumento. Experimentos realizados em laboratório permitem amplo controle por parte do pesquisador e a possibilidade de familiarizar os sujeitos com o uso do instrumento, independentemente de seu perfil. Essas condições permitem a aplicação de escalas de avaliação, como a CP-50 e CR-10. Em situação oposta, como na avaliação de um posto de trabalho industrial, em condições sem controle, envolvendo sujeitos com baixo nível de escolaridade e idosos, o uso de escalas binárias (para a localização) ou escalas verbais

(para intensidade e frequência) poderá contribuir para uma maior facilidade de aplicação. A perda na precisão quanto ao local do desconforto será compensada pela confiabilidade dos dados coletados. Em condições intermediárias, como ambientes de empresas onde o pesquisador tem condições de acesso aos sujeitos do experimento e pode orientá-los adequadamente quanto ao uso do instrumento, será possível o uso de escalas visuais analógicas, que apresentam vantagens sobre as demais.

Deve-se levar em conta, ainda, o tratamento estatístico que pode ser utilizado em função do tipo de escala que for adotada. Os resultados da aplicação da escala visual analógica e da escala gráfica, desde que usadas como escala contínua, podem ser analisados com ferramentas estatísticas paramétricas e, dependendo do dimensionamento da amostra e do comportamento dos dados, com o uso de ferramentas multivariadas. Com isso é possível gerar informações mais ricas para análise do trabalho e para o *design*. Entre outros exemplos, permite avaliar efeitos de interações entre postos de trabalho e turnos de trabalho ou entre tipo de cadeira e tipo de trabalho. As demais escalas, por serem discretas, não permitem a aplicação de todo o arsenal de ferramentas estatísticas. Nesse sentido, a escolha da escala deveria recair, preferencialmente, sobre a escala visual analógica. Contudo, essa escolha deve respeitar a possibilidade de os sujeitos terem dificuldade no seu uso, que se traduz em concentração das respostas nos extremos. A aplicação de pré-testes mostra-se fortemente recomendada, senão indispensável. Também, o uso de um experimento prévio, testando diversas escalas, pode colaborar para a seleção do instrumento mais adequado para cada caso, especialmente em estudos longitudinais.

REFERÊNCIAS AKBAR-KHANZADEH, F.; BISESI, M. S. (1995) Comfort of personal protective equipment. *Applied ergonomics*, v. 26, n.3, pp. 195-198.

AMERICAN Medical Directors Association. (2002) *Pain/Discomfort Evaluation Tools*. Disponível em: <<http://www.amda.com/clinical/chronicpain/>>. Acessado em: 07/04/2002.

BORG, G. A. V. (1982) Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 14, n. 5, pp. 377-381.

BRANTON, P. (1969) Behaviour, Body Mechanics and Discomfort. *Ergonomics*, v. 12, n. 2, pp.316-327.

BUCKLE, P.; FERNANDES, A. (1997) Mattress evaluation-assessment of pressure, comfort and discomfort. *Applied Ergonomics*, v. 29, n. 1, pp. 35-39.

CAMERON, J. A. (1996) Assessing work-related body-part discomfort: Current strategies and a behaviorally oriented assessment tool. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 18, pp. 389-398.

CHAM, R.; REDFERN, M. S. (2001) Effect of Flooring on Standing Comfort and Fatigue. *Human Factors*, v. 43, n. 3, pp. 381-391.

CHERRY, J.; CHRISTENSEN, A. D.; BISHU, R. R. (2000) Glove comfort vs. discomfort: are they part of a continuum or not? A multi-dimensional scaling analysis. In: INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION/HUMAN FACTORS ERGONOMICS SOCIETY CONGRESS - IEA 2000/HFES 2000. XIV TRIENNIAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION, ANNUAL MEETING OF THE HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY, 44, 2000. *Proceedings...* San Diego, California (CD-ROM).

CHRISTENSEN, A. D.; BISHU, R. R. (2000) Hand tools design: are biomechanical criteria the same as aesthetic criteria? A preliminary study. In: INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION/HUMAN FACTORS ERGONOMICS SOCIETY CONGRESS - IEA 2000/HFES 2000. XIV TRIENNIAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION, ANNUAL MEETING OF THE HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY, 44, 2000. *Proceedings...* San Diego, California (CD-ROM).

COELHO, D. A.; DAHLMAN, S. (2000) Avaliação de Métodos, Abordagens e Qualidade da Simulação na Avaliação Experimental do Conforto e da Funcionalidade de Assentos de Automóvel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ERGONOMIA - ABERGO, 10, 2000. *Anais...* Rio de Janeiro (CD-ROM).

COELHO, D. A.; DAHLMAN, S. (1999) A pilot evaluation of car seat side support: Leading to a redefinition of the problem. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24, pp. 201-210.

CORLETT, E. N. (1995) The evaluation of posture and its effects. In: WILSON, J. R. CORLETT, E. N. (Ed.) *Evaluation of human work - A practical ergonomics methodology*. Londres: Taylor & Francis, pp. 663-713.

- CORLETT, E. N. (1990) Static muscle loading and the evaluation of posture. In: CORLETT, E. N.; WILSON, J. R. (Ed.) *Evaluation of human work – A practical ergonomics methodology*. Londres: Taylor & Francis, pp. 542-570.
- CORLETT, E. N.; BISHOP, R. P. (1976) A Technique for Assessing Postural Discomfort. *Ergonomics*, v. 19, n. 2, pp. 175-182.
- DEMPSEY, P.; AYOUB, M. M.; BERNARD, T. M.; ENDSLE, M. R.; KARWOWSKI, W.; LIN, C. J.; SMITH, J. L. (1996) Ergonomic investigation of letter-carrier satchels: Part I. Field study. *Applied Ergonomics*, v. 27, n. 5, pp. 303-313.
- DRURY, C. G.; COURY, B. G. (1982) A methodology for chair evaluation. *Applied Ergonomics*, v. 13, n.3, pp. 195-202.
- GRANDJEAN, E.; HUNTING, W.; MAEDA, K.; LAUBLI, T. (1983) Constrained postures at office workstations. In: KVALSETH, T. O. (Ed.) *Ergonomics of Workstation Design*. London: Butterworths, pp. 19-27.
- GUIMARÃES, L. de B. M.; FISCHER, D.; DINIZ, R.; VAN DER LINDEN, J. C. S.; PASTRE, T. M.; KMITA, S. F. (2000) *Avaliação de assentos para trabalho em laboratório* (Relatório Técnico). Porto Alegre: LOPP/PPGEP/UFRGS.
- GYL, D. E.; PORTER, M. (1999) Interface pressure and the prediction of car seat discomfort. *Applied Ergonomics*, 30, pp. 99-107.
- HELANDER, M. G.; ZHANG, L. (1997) Field studies of comfort and discomfort in sitting. *Ergonomics*, v. 40, n. 90, pp. 895-915.
- HELANDER, M. G.; CZAJA, S. J.; DRURY, C. G.; CARY, J. M. (1987) An ergonomic evaluation of office chairs. *Office: Technology and People*, v.3, pp. 247-262.
- IIDA, I. (1998) *Ergonomia: Produto e Produção*. São Paulo: Blücher.
- JIANGHONG, Z., LONG, T. (1994) An evaluation of comfort of a bus seat. *Applied Ergonomics*, v. 25, n. 6, pp. 386-392.
- JONES, J. C. (1969) Methods and Results of Seating Research. *Ergonomics*, v. 12, n. 2, pp.171-181.
- KARLQVIST, L. (1994) A process for the development specification and evaluation of VDU work tables. *Applied Ergonomics*, v. 29, n. 6, pp. 423-432.

- KRAWCZYK, S.; ARMSTRONG, J. S. (1993) Psychophysical assessment of simulated line work: combinations of transferring and screw driving tasks. *In: HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY ANNUAL MEETING*, 37, 1993, Seattle, WA. *Proceedings...*
- KUORINKA, I.; JONSSON, B.; KILBOM, A.; VINTERBERG, H.; BIERING-SORENSEN, F.; ANDERSSON, S.; JORGENSEN, K. (1987) Standardized Nordic Questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*, v. 18, n. 3, pp. 233-237.
- LAUBLI, T.; THOMAS, C.; HINNEN, U.; HUNTING, W.; ZEIER, H.; MION, H.; OLIVEN, M.; KRUEGER, H. (1991) Are questionnaire surveys a valid instrument to assess musculoskeletal disorders? *In: QUEINNEC, Y.; DANIELLOU, F. (Ed.) Designing for Everyone*. London: Taylor and Francis, pp. 129-132.
- LE CARPENTIER, E. F. (1969) Easy Chair Dimensions of Comfort. *Ergonomics*, v. 12, n. 2, pp.328-337.
- LEGG, S. J.; PERKO, L.; CAMPBELL, P. (1997) Subjective perceptual methods for comparing backpacks. *Ergonomics*, v. 40, n. 8, pp. 809-817.
- LUEDER, R. K. (1983) Seat comfort: A Review of the Construct in the Office Environment. *Human Factors*, v. 25, n. 6, pp. 701-711.
- MANENICA, I.; CORLETT, E. N. (1973) A model of vehicle comfort and a method for its assessment. *Ergonomics*, v. 16, n. 6, pp. 849-854.
- MARLEY, R. J.; KUMAR, N. (1994) An improved musculoskeletal discomfort assessment tool. *In: AGHAZADEH, F. (Ed.) Advances in Industrial Ergonomics and Safety VI*. London: Taylor and Francis, pp. 45-52.
- MEHTA, C. R.; TEWARI, V. K. (2000) Seating discomfort for tractors operators – a critical review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 25, pp. 661-674.
- OBORNE, D. J.; CLARCK, M. J. (1975) Questionnaire surveys of passenger comfort. *Applied Ergonomics*, v.6, n. 2, pp.97-103.
- OSTROM, L. T. (1993) *Creating the Ergonomically Sound Workplace*. San Francisco (CA): Jossey-Bass.

- PEREIRA, J. C. R. (1999) *Análise de dados qualitativos: Estratégias Metodológicas para as Ciências da Saúde, Humanas e Sociais*. São Paulo: EDUSP/FAPESP.
- PINEAU, C. (1982) The psychological meaning of comfort. *International Review of Applied Psychology*, v. 31, pp. 271-283.
- QUEHL, J. (2001) *Comfort studies on aircraft interior sound and vibration*. Dissertation submitted to the Universität Oldenburg. Oldenburg.
- RANDALL, R.; GRIFFITHS, A.; COX, T.; WELSH, C. (2002) The activation of mechanisms linking judgements of work design and management with musculoskeletal pain. *Ergonomics*, v. 45, n. 1, pp. 13-31.
- REYNOLDS, J. L.; DRURY, C. G.; BRODERICK, R. L. (1994) A field methodology for the control of musculoskeletal injuries. *Applied Ergonomics*, v. 25, n. 1, pp. 3-16.
- SALDANA, N.; HERRIN, G. D.; ARMSTRONG, T. J.; FRANZBLAU, A. (1994) A computerized method for assessment of musculoskeletal discomfort in the workforce: A tool for surveillance. *Applied Ergonomics*, v. 37, n. 6, pp. 1097-1112.
- SANDERS, M. S.; McCORMICK, E. J. (1993) *Human Factors in Engineering and Design*. New York: McGraw Hill.
- SAUTER, S. L.; SCHLIEFER, L. M.; KNUTSON, S. J. (1991) Work posture, workstation design, and musculoskeletal discomfort in a VDT data entry task. *Human Factors*, v. 33, n. 2, pp. 151-167.
- SCHACKEL, B.; CHIDSEY, K. D.; SHIPLEY, P. (1969) The assessment of Chair Comfort. *Ergonomics*, v. 12, n. 2, pp.269-306.
- SCHOENMARKLIN, R. W.; MARRAS, W. S. (1989) Effects of handle angle and work orientation on hammering; II. Muscle fatigue and subjective ratings of body discomfort. *Human Factors*, v. 31, n. 4, pp. 413-420.
- SHEN, W.; PARSONS, K. C. (1997) Validity and reliability of rating scales for seated pressure discomfort. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 20, pp. 441-461.
- SLATER, K. (1985) *Human Comfort*. Springfield (Illinois): Charles C. Thomas.

SLOVAK, J. M.; TREVERS, C. (1988) Solving workplace problems associated with VDTs. *Applied Ergonomics*, v. 19, n. 2, pp. 99-102.

STRACKER, L. M. (1999) Body Discomfort Assessment Tools. In: KARWOWSKI, W.; MARRAS, W.S. (Ed.) *The Occupational Ergonomics Handbook*. London: CRC, pp. 1239-1252.

STUART-BUTTLE, C. (1994) A discomfort survey in a poultry-processing plant. *Applied Ergonomics*, v. 25, n. 1, pp. 47-52.

VAN DER GRINTEN, M. P. (1991) Test-rétest reliability of a practical method for measuring body part discomfort. In: QUEINNEC, Y.; DANIELLOU, F. (Ed.) *Designing for Everyone*. London: Taylor and Francis, pp. 54-56.

VAN DER GRINTEN, M. P.; SMITT, P. (1992) Development of a practical method for measuring body part discomfort. In: AGHAZADEH, F. (Ed.) *Advances in Industrial Ergonomics and Safety VI*. London: Taylor and Francis, pp. 311-318.

WACHSLER, R. A.; LEARNER, D. B. (1960) An analysis of some factors influencing seat comfort. *Ergonomics*, v.3, pp. 316-320.

WOTZKA, G.; GRANDJEAN, E.; BURANDT, U.; KRETZSCHMAR, H.; LEONHARD, T. (1969) Investigation of the Development of an Auditorium Seat. *Ergonomics*, v. 12, n. 2, pp.182-197.

ZHANG, L. (1992) *Multi-dimensional approach for sitting comfort assessment*. Dissertation submitted to the Department of Industrial Engineering Program and the Faculty of the Graduate School of the State University of New York at Buffalo. Buffalo, New York.

ZHANG, L.; HELANDER, M. G.; DRURY, C. G. (1996) Identifying Factors of Comfort and Discomfort in Sitting. *Human Factors*, v. 38, n. 3, pp. 377-389.

4 Memória e Atenção

Lia Buarque de Macedo Guimarães

Muitas teorias tentam explicar a forma de aquisição de informação. Entre as teorias mais marcantes estão o comportamentalismo, o logicismo de Piaget, o formalismo do processamento da informação e o intuicionismo da teoria do *fuzzy trace*.

Teoria comportamentalista (S-R)

Esta teoria, que dominou o início do século, acentua a relação entre estímulo e comportamento observável. Segundo esta teoria, alguns fatores facilitam a aprendizagem:

- exercício (aumenta a força de conexão S-R);
- recompensa (aumenta a força de conexão S-R);
- punição (reduz pouco a força de conexão S-R);
- satisfação das necessidades do aprendiz e a semelhança entre as situações.

Em contraposição à teoria comportamentalista estão as teorias que seguem a linha cognitivista, que se concentra no estabelecimento e modificação das relações. Dentro desta linha destaca-se o Construtivismo proposto por Piaget, as teorias do Processamento da Informação e a teoria do Fuzzy Trace.

Construtivismo

Segundo Piaget (1974a, b), a construção do conhecimento se dá através da sucessão de estágios do desenvolvimento, os quais são descontínuos. O pensamento de uma criança em um determinado estágio é qualitativamente distinto de uma criança em outro estágio: um estágio vai sendo construído em cima do outro. Dentro desta linha, crianças em um mesmo estágio têm funcionamento mental homogêneo, a memória estando subordinada ao estágio de desenvolvimento do raciocínio (o raciocínio da criança vai moldar sua memória).

A teoria construtivista, que revolucionou o estudo do desenvolvimento do conhecimento humano, baseou-se em paradigmas experimentais, ou provas piagetianas. No entanto, hoje em dia aponta-se alguns problemas metodológicos e teóricos de Piaget. Alguns teóricos consideram que ele subestimou as capacidades infantis (Brainerd, 1974; Flavell *et al.*, 1981) e superestimou as habilidades intelectuais de adultos e adolescentes (operatório formal) (Capon e Kuhn, 1979) pois as crianças podem ser facilmente treinadas para exibir e manter comportamentos indicativos de pensamento operatório concreto e formal (Brainerd, 1974).

Teorias do Processamento da informação

Para as teorias que seguem a linha do processamento da informação, pensar é processar informação. Existem basicamente duas correntes teóricas quanto ao processamento de informação. A corrente “holística” (Navon, 1977) defende a idéia de que a informação se processa como um todo. Segundo Navon, vemos primeiro a floresta, depois as árvores. A corrente “analítica” (Treisman *et al.*, 1977) assume que o processo é analítico, isto é, a informação é analisada por partes. Esta abordagem ganhou muita força desde que estudos em neurofisiologia (Livingstone e Hubel, 1984) descobriram que o cérebro é composto por subsistemas bastante especializados, responsáveis pelo processamento de diferentes tipos de informação. Os teóricos da linha analítica tendem a dividir o processamento da informação em pelo menos dois estágios: uma fase inicial de detecção que não sofre interferência de fatores subjetivos, e independentemente da pessoa estar ou não prestando atenção ao sinal. É uma fase que ocorre em paralelo, e muito rapidamente. Atenção só é alocada no estágio seguinte, onde as diversas informações são analisadas, agrupadas e dado sentido. Esta fase é mais lenta, e ocorre em série.

Atenção

A atenção é a base para a memória e o processamento de informações, mas é uma capacidade limitada do ser humano - *“noção de que seres humanos podem concentrar-se em somente uma pequena quantidade de informações a cada momento, o que reduz a capacidade das pessoas de processar informações”* (Schmidt e Wrisberg, 2001, p. 87). Apesar de não se ter controle total sobre o mecanismo (por exemplo, se estivermos executando uma tarefa visual e bastante concentrados, a atenção vai ser interrompida se eclodir um som, um alarme, por exemplo, e desviaremos a atenção para a direção da fonte sonora, mesmo que não queiramos) a atenção pode ser tanto acionada quanto desviada por fatores ambientais (ruído, temperatura, reflexo etc) quanto do próprio ser humano (como sono, dor etc)

A atenção é uma capacidade dos seres humanos que não pode ser observada diretamente mas, sim, inferida a partir do desempenho humano.

O mecanismo de atenção depende do estado funcional global do ser humano: grau de atividade do córtex cerebral, grau de maturação e condições do equipamento percepto-sensorial, ambiente externo (distrações) (GRANDJEAN, 1998; SCHMIDT e WRISBERG, 2001) e pode ser desenvolvido com maior ou menor esforço (GUIMARÃES, 2001). Alternativamente, pode tanto ser acionado quanto desviado por fatores ambientais (ruído, temperatura, reflexo solar, por exemplo), bem como por fatores inerentes da própria natureza humana como dor, fome e falta de sono (SCHMIDT e WRISBERG, 2001).

Wickens, Gordon e Liu (1998, p. 172), identificam três tipos de atenção: a seletiva, a focada e a dividida. A atenção seletiva refere-se à capacidade do ser humano de selecionar o canal perceptual para o qual dirigirá a atenção a qualquer momento. Cada tipo de atenção, conforme costuma-se identificar, influencia diferentemente o sistema homem-máquina.

Atenção seletiva	É a característica do ser humano de selecionar o canal perceptual para o qual vai dirigir sua atenção a qualquer momento. Influencia o <i>design</i> de instrumentos, leiautes, procedimentos de operação etc.
Atenção dividida	É a característica do ser humano de dividir atenção simultaneamente para dois ou mais canais perceptuais. Influencia o <i>design</i> de <i>displays</i> integrais, procedimentos de operação etc. Alguns fatores que influenciam a seleção do canal perceptual que vai ser atendido são: localização (leiaute do instrumento, proximidade etc); modalidade (auditivo, visual...); saliência do estímulo (intensidade, luminância...); experiência (treinamento, modelo interno...); memória (tempo corrido desde a última vistoria...).
Atenção focada	De acordo com Wickens, Gordon e Liu (1998), esta habilidade de executar mais de uma tarefa cognitiva atendendo a ambas imediatamente ou por rápida mudança de atenção para trás (ação passada) e para frente (ação presente) é conhecida por tempo compartilhado (<i>time-sharing</i>). Embora vantajoso, como a capacidade dos recursos cognitivos para a atenção é relativamente limitada, o <i>time-sharing</i> entre duas tarefas frequentemente resulta em uma queda na performance para uma ou ambas tarefas, se considerado os princípios originais de cada tarefa individualmente. Segundo Schmidt e Wrisberg (2001), estudos sugerem que a quantidade fixa ou espaço de atenção é limitado e que, em situa-

ções de execução simultânea de duas tarefas, esse espaço divide-se em duas partes. Operacionalmente, a quantidade de atenção alocada para cada uma das partes varia em função da complexidade da atividade primária. Para os autores, o desafio consiste em administrar eficazmente esse espaço: para qual tarefa ou informação focar e quando mudar de foco.

Processamento paralelo da informação

Enquanto que a atenção dividida refere-se à capacidade de dividir a atenção para dois ou mais canais perceptuais simultaneamente, permitindo realizar mais de uma tarefa ao mesmo tempo, a atenção focada é a característica do ser humano de enfocar determinado canal perceptual e excluir o estímulo de outros canais adjacentes. Esta filtragem das informações não desejadas e/ou irrelevantes, permite que a atenção seja focada somente nas informações que importam para a execução de determinada atividade (Wickens, Gordon e Liu, 1998). Esta característica influencia o projeto de ambientes de trabalho, sistemas de alarme etc.

Conforme já discutido no *Capítulo 3*, a atenção pode ser interpretada como sendo focada em canais de informação; isto é, como se houvesse um foco de luz em um dado lugar e por isso, tudo que estivesse dentro do foco é processado em paralelo. Todos os eventos que ocorrem simultaneamente por aquele canal são processados em paralelo, mesmo que não se queira. Neste caso, eventos simultâneos podem interferir entre si. Por outro lado, a informação pertinente a canais separados é processada serialmente, mesmo que se queira processá-la em paralelo. Mas neste caso, pode-se focar a atenção em informação de um canal excluindo a informação de outro canal.

Esta abordagem se calca no fato de haver uma relação estreita entre informação e o espaço onde a informação ocorre. O fato do mecanismo de atenção funcionar como um foco de luz definindo o que se processa em paralelo e o que se processa em série tem aspectos positivos e negativos. Alguns aspectos positivos do processamento paralelo são:

Se as fontes de informação têm implicações independentes e não são interferentes pode-se ter controles multiaxiais, *displays* objetos etc.

Se as fontes têm mesmo (ou similar) significado tem-se ganho por redundância, pode-se codificar em duas dimensões (forma + cor) etc.

Alguns aspectos negativos do processamento paralelo são:

- Quando fontes de informação resultam em respostas incompatíveis: é o caso, por exemplo, do efeito Stroop (onde a palavra “azul” está escrita em vermelho e pede-se que a pessoa leia a palavra “azul”. Como é difícil separar o canal verbal que diz “azul” do canal visual que mostra “vermelho”, a pessoa se confunde e ao invés de ler “azul” acaba lendo “vermelho”).
- Quando há competição de fontes pela mesma análise perceptual. Por exemplo, quando se monitora dois *displays* adjacentes que são semelhantes. A teoria de fontes múltiplas (Wickens, 1984), esquematizada na *Figura 1* propõe que quando duas tarefas demandam fontes separadas, a atividade é mais eficiente, ganha-se tempo e precisão pelo fato de não haver interferência. A capacidade da fonte é inversamente proporcional à sobrecarga de trabalho, que, por sua vez, é inversamente proporcional ao desempenho.

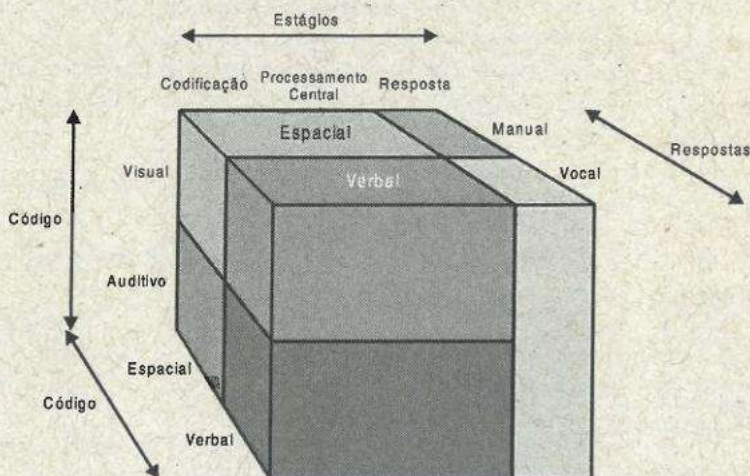


Figura 1
Estrutura de fontes de processamento, segundo Wickens (1984)

vigilância

¹MACKWORTH, N. H. (1944) *Notes on the clock test. A new approach to the study of prolonged visual perception to find the optimum length of watch for radar operators.* M. R. C. Rept. No. 46/348. APU Rept. No. 1.

As pesquisas de Mackworth (1944¹ *apud* Murrell, 1965), na Grã-Bretanha, foram direcionadas para o conhecimento das leis de atenção em situação monótona, conhecidas como estudo da vigilância. A base do estudo foi o comportamento de operadores de radar mas seus resultados tiveram aplicação em inúmeras situações civis, como dirigir automóveis em situação monótona. No entanto, tiveram aplicação errônea em algumas situações industriais, tão monótonas quanto a vigilância de um radar, mas caracterizadas pela sobrecarga cognitiva, como o trabalho na indústria eletrônica. Os dados sobre vigilância

podem ser úteis como uma primeira abordagem mas Grandjean (1998) comenta que Leplat (1968) critica a forma como estes têm sido utilizados sem a devida crítica. De acordo com as pesquisas:

- A atenção contínua (vigilância) diminui: após 30 minutos de trabalho; com o aumento do intervalo de aparecimento dos sinais; quando as pessoas fizeram exercício físico ou não dormiram antes do teste; e se o teste foi feito em condições ambientais adversas.
- A atenção contínua (vigilância) melhora relativamente com o aumento da frequência e/ou intensidade e/ou saliência dos sinais; e quando as pessoas são informadas do seu rendimento no teste.

Memória

A atenção é a base para a memória e o processamento de informações. As teorias do processamento da informação utilizam a metáfora do computador e o modelo mais conhecido de suporte destas teorias é o modelo tradicional de Atkinson e Schiffrin (1968) que propõe que a informação é processada após filtragem por algumas “caixas de armazenamento” de informação conhecidas como armazenamento sensorial, memória de curta duração e memória de longa duração. A estruturação da memória se dá em 3 níveis, relacionados conforme o diagrama da *Figura 2*.

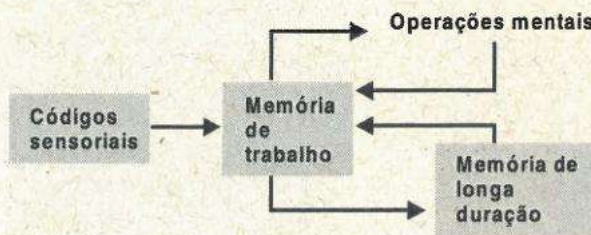
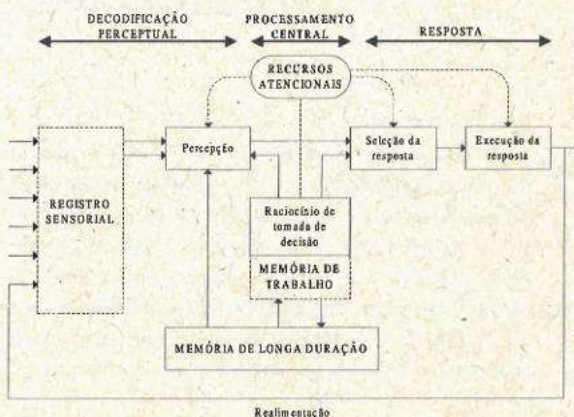


Figura 2 (acima)
Dinâmica do processamento de informação com as relações entre os tipos de memória, conforme proposto por e sua relação com o processamento de informação humano. Fonte: WICKENS, GORDON e LIU (1998, p. 147).



Armazenamento sensorial	Mantém informação que advém dos sentidos tátil, olfativo, visual (memória icônica) e auditivo (memória ecóica) por pouco tempo (<1 s). A informação passa para memória de trabalho ou, então, é perdida.
Memória de trabalho ou de curta duração	Mantém informação por tempo mais longo (alguns segundos ou minutos). Na falta de alocação de atenção, que é uma alocação contínua de fontes de processamento, a informação na memória de trabalho se degrada e quaisquer operações que se baseiem nestas informações se deterioram. Diz-se que esta memória é volátil pois sofre com interferências e distrações, o que pode ser minimizado com a utilização de códigos e treinamento. Tem capacidade limitada (7 ± 2 itens) segundo Miller (1956 a, b).
Memória de longa duração	Mantém a informação (bem estruturada), essencialmente para sempre. No entanto, sofre do problema de dificuldade de resgate da informação, o que pode ser minimizado com mneumônicos.

A memória, quer de curta ou longa duração, é bastante crítica para a realização de tarefas com carga cognitiva. A primeira requer esforço mental durante todo o período de memorização, é uma memória ativa comparada à memória passiva dos computadores. No caso da memória de longa duração, o esforço está na "pesquisa" que ela executa na busca da informação desejada. A capacidade de memorização varia com o estado do sujeito, decaindo em situação de cansaço, principalmente se o sujeito não dormiu.

Existem algumas "dicas" na literatura para otimização da utilização das memórias. Por exemplo:

- Tarefas que impõem grande carga na memória de trabalho espacial (visual) não devem ser realizadas concomitantemente com tarefas que usam recursos espaço-visuais. Por outro lado, as tarefas espaciais não sofrem tanta influência quando realizadas ao mesmo tempo que tarefas que exigem recursos auditivos, fonéticos e vocais;
- Mantenha os códigos os mais curtos possível (7 ± 2 itens, ou seja, 5 a 9 itens ou "chunks"). Uma maneira de facilitar a memorização é fazer a segmentação ("chunking") de uma informação muito complexa (quer seja em forma de palavras, dígitos, operações etc.) para transformá-la em uma informação pouco complexa. Por exemplo, é mais fácil lembrar de ADA 434 A2 do que ADA434A2, ou de IBM do que de BMI;
- Use código verbal para tarefas que exigem memória verbal e código pictorial para tarefas que exigem memória espacial;

- Quando a memória de trabalho precisa ser usada, não apresente informação nova, devido a problema de interferência;
- Limite mensagens complexas a uma por vez.

Fica claro, então, que a capacidade de processamento é uma limitante para o desempenho humano. Como lidar, então, com a limitação da capacidade de processar informação?

Case (1985) incorpora a idéia piagetiana de estágios: analisa a eficiência do processamento nos diferentes estágios: melhor estratégia-maior eficiência-requisição de menos recursos da limitada capacidade mental.

Siegler e Shipley (1995) propõem o desenvolvimento de múltiplas estratégias. O raciocínio correto depende da disponibilidade na memória de pelo menos um registro literal (exato) das informações de um problema. O raciocínio depende da memória.

Teoria do Fuzzy Trace

Outros autores, no entanto, garantem a independência entre memória e raciocínio e apontam para a natureza qualitativa do raciocínio. Brainerd e Kingma (1984, 1985) mostraram que o desempenho nas tarefas de raciocínio era completamente independente da performance da memória para as informações exatas do problema. Reyna e Brainerd (1989) mostraram que o raciocínio é eminentemente não-quantitativo. As pessoas tendem a operar com base em representações o mais qualitativas possíveis que a tarefa permite.

Os autores defendem a idéia de um contínuo das representações mentais, a imprecisão do processamento da informação, que se dá em paralelo e sofre interferência pela resposta. Pela própria ontogênese, o ser humano dá preferência pelo processamento impreciso que ocorre no contínuo das representações mentais. Esta gama contínua de representações varia em grau de precisão. As memórias literais (verbatim) são representações mnemônicas ricas em detalhes: literal, específica (informação episódica). As memórias do essencial preservam somente o significado das informações, o âmago da questão, padrão essencial (informação semântica).

A preferência pelo processamento impreciso se dá porque o raciocínio das pessoas tende a operar no extremo mais impreciso possível, raciocinando com base no essencial das informações. Existem vantagens funcionais e estruturais das memórias do essencial:

- Esquecimento bem mais lento que das memórias literais: maior facilidade e acesso às memórias do essencial;
- Estrutura representacional mais fluida e maleável, menos rígida: facilita acesso;
- Menor complexidade de processamento;
- Lei do menor esforço: para que fazer mais, se menos é suficiente para raciocinar?

O processamento em paralelo das memórias literal e essencial confere maior eficiência ao raciocínio. As pessoas conseguem lidar melhor com as variações da estabilidade das memórias: se alguma memória falha, tem outra disponível.

O processamento paralelo proporciona várias respostas adaptativas em potencial, porém a estrutura serial do nosso sistema de resposta exige a seleção de uma resposta entre elas (Brainerd e Reyna, 1989). O simples ato de responder vai gerar um efeito retroativo de informações irrelevantes que vão reverberar no sistema, introduzindo ruído e degradando o desempenho da emissão da resposta. O raciocínio intuitivo tem a capacidade de recuperar e processar princípios qualitativos, e tem menor sensibilidade à interferência pela resposta. Com o desenvolvimento, o indivíduo vai tender cada vez mais ao processamento intuitivo, baseando-se, o quanto possível, no extremo "fuzzy" do contínuo das memórias. Os indivíduos tornam-se mais resistentes a interferência e conseguem lidar melhor com a interferência das memórias do essencial através de julgamentos baseados em memórias literais. Além disso, desenvolvem a habilidade de lidar tanto com a falha no armazenamento, quanto com falhas na recuperação das memórias (melhor retenção das memórias literais). Pesquisas recentes estudam as falsas memórias, pois há controvérsia sobre a acuracidade da memória. Dois tipos de representações de experiências reais são armazenados: as memórias literais e memórias do essencial, que são independentes uma das outras. O falso reconhecimento de informações falsas pode ser explicado com base na recuperação de memórias do essencial (implicações jurídicas e clínicas).

As questões relacionadas à memória e atenção repercutem na tomada de decisão de uma pessoa, conforme detalhado no *Capítulo 5* deste volume.

modelo simplificado do processador humano

Card, Moran e Newell (1986) propuseram um método para utilizar o conhecimento da psicologia na prática da engenharia. Eles propõem um modelo simplificado do processador humano composto por um conjunto de parâmetros de memória e processadores e de um conjunto de princípios de operação.

O modelo do processador humano tem 3 subsistemas que interagem: a) o sistema perceptual; b) o sistema motor e c) sistema cognitivo. Cada um deles tem suas próprias memórias e processadores.

processador perceptual

O sistema perceptual consiste de sensores e bancos de memória associados sendo os bancos mais importantes o visual e o auditivo que armazenam a imagem auditiva e visual recebidas do mundo exterior enquanto elas estão sendo simbolicamente codificadas. O sistema cognitivo recebe a informação simbolicamente codificada dos bancos de imagem sensoriais na sua memória de trabalho e usa a informação previamente armazenada na memória de longa duração para fazer decisões e dar uma resposta. O sistema motor é quem carrega a resposta. Como uma aproximação, o modelo considera que existe um processador separado para cada subsistema: um processador perceptual, um processador cognitivo e um processador motor. Para algumas tarefas, como por exemplo, apertar um botão em resposta a um sinal de luz, o ser humano deve se comportar como um processador serial. Em outras tarefas, como por exemplo, digitar, ler e fazer tradução simultânea, é possível integrar, em paralelo, os três subsistemas. Um digitador lê uma palavra com o processador perceptual e passa para o processador cognitivo ao mesmo tempo que digita a palavra com o processador motor.

parâmetros do modelo

As memórias e os processadores do modelo são descritos por alguns parâmetros. Os mais importantes parâmetros da memória são a capacidade de armazenamento, uma constante de perda e o tipo de código principal. O mais importante parâmetro de um processador é o tempo de ciclo.

Sistema Perceptual

O sistema perceptual traduz a informação do mundo detectado pelos sistemas sensoriais. Por exemplo, ao descrever o parâmetro da informação visual tem-se:

movimento do olhar = 230 (70 ~ 700) msec;

essa expressão contém um valor típico (230 msec) o limite inferior e o limite superior (70 ~ 700) msec.

- memória perceptual** Imediatamente após o estímulo visual, uma representação do estímulo aparece no banco de imagem visual. Para um estímulo auditivo, existe o banco de imagem auditiva. Estes bancos armazenam informação fisicamente codificada (não é simbólico, é análogo ao estímulo externo). A codificação é afetada pelas propriedades do estímulo (intensidade etc). As memórias perceptuais do modelo estão intimamente relacionadas com a memória de trabalho. Imediatamente após a representação de um estímulo em uma das memórias perceptuais, uma representação simbólica acústica ou visual ocorre na memória de trabalho. Se o conteúdo da memória perceptual é complexo ou muito numeroso, a memória de trabalho se esgota antes que todos os itens da memória perceptual possam ser transferidos e representados na memória de trabalho. No entanto, o processador cognitivo pode especificar qual é a porção da memória perceptual a ser codificada. A especificação só se dá pelas dimensões físicas, já que ela é a única informação codificada.
- perda de memória** A perda da memória da imagem visual e auditiva é igual à metade do tempo de vida definido como o tempo que a probabilidade de retenção é menor que 50% da capacidade de memória
- visual: 200 (90~1000) msec
auditivo: 1500 (900~3500) msec
- O tempo de ciclo do processador perceptual está relacionado com a resposta do impulso unitário e sua duração é de
100 (50~200) msec
- sistema motor** O pensamento é traduzido em ação pela ativação voluntária dos músculos. Para os operadores das máquinas, os sistemas mais importantes são os braços, mãos e dedos, e cabeça e olhos.
- sistema cognitivo** Nas tarefas mais simples, o sistema cognitivo serve para conectar os impulsos que chegam do sistema perceptual para as saídas do sistema motor. No entanto, a maior parte das tarefas realizadas pelo ser humano é complexa e envolve aprendizado, armazenamento de fatos ou a solução de problemas. Como se pode esperar, as memórias e os processadores do sistema cognitivo no modelo processador humano são mais complicados do que os sistemas motor e perceptual.
- memórias cognitivas** O modelo processador mantém duas memórias importantes: a memória de trabalho para armazenar informação que está sendo utilizada, e a memória de longa duração para armazenar conhecimento para uso futuro. A memória de trabalho mantém os produtos intermediários do

pensamento e as representações produzidas pelo sistema perceptual. Funcionalmente, a memória de trabalho é de onde as operações mentais obtêm os seus operandos e deixa as suas saídas. Ela constitui o registro geral do processador cognitivo. Estruturalmente, a memória de trabalho consiste num subconjunto de elementos da memória de longa duração que se tornam ativados. Esta associação entre a memória de trabalho e a memória de longa duração pode ser representada quando se coloca a memória de trabalho dentro da de longa duração.

Codificação acústica e visual

Embora a memória de trabalho possa ter informação codificada em várias maneiras, o uso de códigos simbólicos acústicos é muito comum, sem dúvida pela importância que o material verbal tem para as pessoas desempenharem uma determinada função. Códigos visuais também são utilizados. Para o propósito do modelo processador humano, considera-se que os dois códigos são predominantes.

O modelo processador humano pode ter utilidade na análise cognitiva de tarefas. Card, Moran e Newell (1986) propõem uma série de parâmetros que podem ser utilizados como uma aproximação da carga cognitiva do trabalho já que esta avaliação não é possível com medições fisiológicas mais simples como a avaliação de batimentos cardíacos tão difundida para avaliação de trabalho físico. Conforme é discutido no *Capítulo 7* deste livro, geralmente, o trabalho mental é avaliado por técnicas qualitativas (entrevistas, questionários etc.) e alternativamente, pelas queixas (tais como dor de cabeça, dor de estômago, nervosismo etc.) dos trabalhadores, já que as análises fisiológicas são mais difíceis e/ou mais caras de efetuar no dia a dia do pesquisador em Ergonomia. O modelo do processador humano pode fornecer mais um índice da (sobre)carga imposta e reforçar as ações para tornar o trabalho mais humano e dignificante.

REFERÊNCIAS

ATKINSON, R. L.; SHIFFRIN, R. M. (1968) Human memory: a proposed system and its control process. In: SPENCE, K. W.; SPENCE, J. T. (Ed.) *The psychology of learning and motivation: advances in research and theory* (v. II, pp. 89-195). New York: Academic Press.

BRAINERD, C. J. (1974). The long-term memory improvement effect. In J.M. Scandura and J.H. Durnin (Eds.), *Proceedings of the fifth annual interdisciplinary conference on structural learning*. Washington, D.C.: Naval Printing Office.

- BRAINERD, C. J.; KINGMA, J. (1984). Do children have to remember to reason? A fuzzy-trace theory of transitivity development. *Developmental Review*, 4, 311-377.
- BRAINERD, C. J.; KINGMA, J. (1985). On the independence of short-term memory and working memory in cognitive development. *Cognitive Psychology*, 17, 210-247.
- BRAINERD, C. J.; REYNA, V. F. (1989). Output-interference theory of dual-task deficits in memory development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 47, 1-18.
- CAPON, N., AND KUHN, D., Logical Reasoning in the Supermarket: Adult Females' Use of a Proportional Reasoning Strategy in an Everyday Context. *Developmental Psychology*, 15 (July 1979), 450-452.
- CARD, S. K.; MORAN, T. P.; NEWELL, A. (1986) The model Human Processor: An engineering model of human performance 45-1-35. In: BOFF, Kenneth R.; KAUFMAN, Lloyd; THOMAS, James P. *Handbook of perception and Human Performance Vol II Cognitive Processes and Performance* New York: John Wiley.
- CASE, R. (1985) *Intellectual Development form Birth to Adulthood*. New York: Academic Press
- FLAVELL, J. H.; EVERETT, B. A.; CROFT, K.; FLAVELL, E. R. (1981). Young children's knowledge about visual perception: Further evidence for the Level 1-Level 2 distinction. *Child Development*, 17, 99-103.
- GRANDJEAN, E. (1998) *Manual de Ergonomia – Adaptando o Trabalho ao Homem*. Porto Alegre: Bookman, 4 edição.
- LEPLAT, J. (1968) Attention et incertitude dans le travaux de surveillance et d'inspection. *Sciences du Comportement*, n.6, Dunod, Paris.
- LIVINGSTONE, M. S.; HUBEL, D. H. (1987) Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth. *Journal of Neuroscience*, 7(11):3416-3468.
- MILLER, G. A. (1956a) Information and memory. *Scientific American*, 195(2):42-46.

_____. (1956b) The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2):81-97.

MURRELL, K. F. H. (1965) *Ergonomics - man and his working environment*. London: Chapman and Hall. 496 p.

NAVON, D. (1977) Forest before trees: the precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9:353-363.

PIAGET, J. (1974a) *Réussir et comprendre*. Paris: PUF.

_____. (1974b) *La prise de conscience*. Paris: PUF.

REYNA, V. F.; BRAINERD, C. J. (1989). Output interference, generic resources, and cognitive development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 47, 42-46.

SCHMIDT, R. A.; WRISBERG, C. A. (2001) *Processando Informações e Tomando Decisões*. In: SCHMIDT, R. A.; WRISBERG, C. A. *Aprendizagem e Performance Motora*. 2.ed. Porto Alegre: Artmed. p. 69-101. cap. 3.

SIEGLER, R. S.; SHIPLEY, C. (1995). Variation, selection, and cognitive change. In T. Simon & G. Halford (Eds.) *Developing cognitive competence: New approaches to process modeling* (pp. 31-76). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

TREISMAN, A.; SYKES, M.; GELADE, G. (1977) Selective attention and stimulus integration. In: DORNIC, S. (Ed.) *Attention and performance*. (vol.6 pp.333-361). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

WICKENS, C.D. (1984) *Engineering psychology and human performance*. Columbus, OH: Merrill. 513 p.

WICKENS, C. D.; GORDON, S. E.; LIU, Y. (1998) Cognition. In: _____ *An Introduction to Human Factors Engineering*. New York: Longman, p. 145-181. chap. 6.

5 Tomada de Decisão e Controle Cognitivo

Lia Buarque de Macedo Guimarães

A tomada de decisão é o aspecto mais importante do conteúdo cognitivo de uma tarefa. Às vezes, a decisão pode parecer pouco importante, por exemplo, decidir por alocar determinado componente A33 na placa XM-434 durante a montagem de um equipamento eletrônico. No entanto, a carga não é tão mínima assim, considerando a baixa capacidade de tomada de decisão (15-20 bits/min num trabalho estável a 50 bits/min durante esforço agudo, até 70 bits/min esforço máximo).

De acordo com Kalsbeek (1965), a partir desses limites o cérebro será sobrecarregado se as únicas atividades cognitivas forem tomadas de decisão. Este autor desenvolveu estudos sobre a influência da rapidez sobre pequenas decisões: os sujeitos eram submetidos a uma dupla tarefa, sendo a principal, a tarefa de apertar o pedal esquerdo ao sinal de uma luz verde, e apertar o pedal direito ao sinal de uma luz vermelha. As luzes apareciam aleatoriamente. A segunda tarefa consistia em escrever um texto livre. À medida que ia aumentando a frequência de sinais, os textos tornavam-se mais pueris, degenerando-se em repetições de palavras até tornarem-se garranchos ilegíveis. Quando o ritmo diminuía, o processo se invertia. Quando a duração da experiência era prolongada, o paciente mostrava-se agressivo ao final. Às vezes, ficava desorientado.

Esta experiência de laboratório reflete situações da vida diária em indústrias de produção em massa, onde ocorrem manifestações emocionais, como crise de nervos (preponderantemente nas mulheres) ou crise de raiva (preponderantemente por parte dos homens). Estas situações são mais comuns nos períodos de aprendizado, geralmente muito curto, representando uma sobrecarga de trabalho, que geralmente os trabalhadores não gostam de reviver. Wisner (1994) comenta que em um estudo, em nove fábricas francesas, as trabalhadoras negavam-se a mudar de posto, apesar de acharem seu trabalho muito "duro", e

que a razão era temerem passar por novo aprendizado. Em um estudo macroergonômico em uma empresa de medidores elétricos (veja *Capítulo 2.1* do livro *Ergonomia de Processo*, volume 2) obteve-se resultado semelhante em uma intervenção onde algumas pessoas que realizavam tarefas simples em postos em linha negaram-se a passar para um sistema de produção celular onde várias atividades eram realizadas. Algumas pessoas tiveram reação de estresse (choro, inclusive) alegando não serem capazes de atuar nas novas condições de trabalho.

Sobrecarga mental de trabalho

É importante identificar e/ou definir sobrecarga mental, pois é interesse da ergonomia saber quem pode (se é que alguém pode) desempenhar determinada tarefa, se pode desempenhar outras tarefas adicionais, se pode atuar em procedimentos de emergência, enfim, se pode trabalhar com conforto e segurança. Alguns fatores que importam na sobrecarga mental do trabalho são: estresse prolongado; esforço físico; monotonia; falta de segurança/instabilidade; produtividade; magnitude e precisão das respostas; demandas simultâneas de fontes múltiplas; heterogeneidade de processamento; demanda da capacidade de memória; divisão de atenção.

É preciso deixar claro que estes fatores não têm reflexos idênticos em todas as pessoas, pois cada ser humano tem sua individualidade, reage diferentemente ao mesmo meio externo e não trabalha sempre de uma mesma forma em qualquer situação. Há variação nas imagens mentais que um indivíduo faz de uma dada situação e nos seus modos de operação, dependendo não só da disposição do indivíduo em dado momento mas, também, em função da exigência cognitiva da tarefa. Neste ponto, um outro fator, o do controle cognitivo do comportamento humano, tem destaque em ergonomia cognitiva.

Controle cognitivo e processamento de informação

A existência de diferentes imagens sobre um mesmo sistema tem relação com o fato de que, para lidar com ele, principalmente se complexo, o sujeito precisa considerá-lo sob diferentes perspectivas, que vão depender do tipo de problema que se apresenta e também do grau de conhecimento do sujeito. Rasmussen (1983) propôs uma taxionomia de controle cognitivo estruturada em três níveis, que descreve os mecanismos para processamento de informação. Ao topo da hierarquia está o nível baseado no conhecimento (*knowledge-based*), no meio está o nível baseado nas regras (*rule-based*), e embaixo está o nível baseado na habilidade ou aptidão (*skill-based*). Estes níveis são ativados dependendo de como a informação é interpretada. Quando ela é interpretada como sinal, o comportamento se dá no nível da aptidão (*Skill-Based Behaviour - SBB*). Quando é interpretada como signo, a ação se dá no nível baseado nas regras (*Rule-Based Behaviour - RBB*). Quan-

do ela é interpretada como símbolo, o comportamento está no nível do conhecimento (*Knowledge-Based Behaviour - KBB*). Desta forma, o controle cognitivo no nível SBB se dá com base em um repertório de padrões de comportamento já automatizados, isto é, sem controle consciente. No nível RBB, o comportamento é guiado por relações de pares de condição-ação que associam um padrão perceptual familiar com uma ação apropriada. KBB representa a classe de atividades em que a pessoa não tem um padrão de resposta pré-definido, e precisa resolver problemas com base em modelos mentais da situação, que operam no nível de representações simbólicas. Estes três níveis podem ser agrupados em duas categorias, KBB sendo mais analítico, já que diz respeito à resolução de problemas, enquanto RBB e SBB dizem respeito à percepção e à ação.

De uma maneira geral, o processamento de informação no nível perceptual é mais fácil, mais rápido e efetuado em paralelo, enquanto que o processamento analítico da informação é trabalhoso, lento e efetuado de maneira serial. Além disso, devido à limitação da memória, as questões de resolução de problemas tendem mais a erros do que o processamento perceptual. No entanto, os níveis mais baixos só são ativados em situações familiares, porque exigem que a pessoa esteja a par dos estímulos perceptuais emitidos pelo sistema. Em contrapartida, KBB opera em situações novas. Dentro desta arquitetura, abre-se mão de um processamento mais eficiente por meio dos mecanismos em níveis mais baixos da hierarquia, para poder lidar com eventos desconhecidos no nível mais alto de processamento.

Esta hierarquia de controle cognitivo explica as atitudes diferentes de controle tomadas por um operador e um *expert* em algumas situações de emergência. No dia-a-dia de seu trabalho o operador (e mesmo um novato) se apoia mais na percepção, suas ações estando ligadas à familiaridade que tem com o sistema. Ele tem o *know that*, o conhecimento do controle de operação, e está qualificado para supervisão do sistema. No entanto, em uma situação de crise, ele não tem condição de operar o sistema com base em SBB ou RBB, e não pode atuar em KBB por falta de conhecimento profundo sobre o sistema. Um *expert*, no entanto, pode atuar em situações inusitadas com base em KBB, já que ele tem como entender a semântica da situação devido ao conhecimento que ele tem sobre o sistema. Ele detém o *know how* do funcionamento do processo.

Deve ficar claro que nenhum nível é superior ao outro, mas que, por serem mais eficientes e exigirem menos esforço, as pessoas têm preferência por operar com base nos níveis mais baixos de controle cogniti-

vo, mesmo quando esta atitude é desfavorável para a ocasião. Ter isto em mente é importante para o *design* de interfaces mais eficientes.

A estrutura de comportamento proposta por Rasmussen (1983) com os três níveis hierárquicos de atuação é mostrada na *Figura 1*. O nível mais básico representa o desempenho baseado na habilidade senso-motora de detecção-resposta de sinais, controlada por padrões automatizados de movimento. Nível da habilidade (ou aptidão): lida com sinais. Engloba percepção de sinais. É automático. Não precisa pensar no que faz. Ocorre em situações em que se tem tanta prática que não há necessidade de intervenção consciente. As seqüências de subrotinas são controladas por regras armazenadas, ativadas por signos. Nível do conhecimento: lida com símbolos. Engloba planejamento, identificação, tomada de decisão e resolução de problemas. A resolução de problemas em tarefas não corriqueiras são baseadas em modelos conceituais no nível do conhecimento, que servem para gerar as regras "ad hoc" necessárias. Nível das regras: lida com signos. Engloba reconhecimento, associação, O que é feito é a partir de regras de atuação. A *Figura 1* mostra o modelo dinâmico do fluxo de informações.

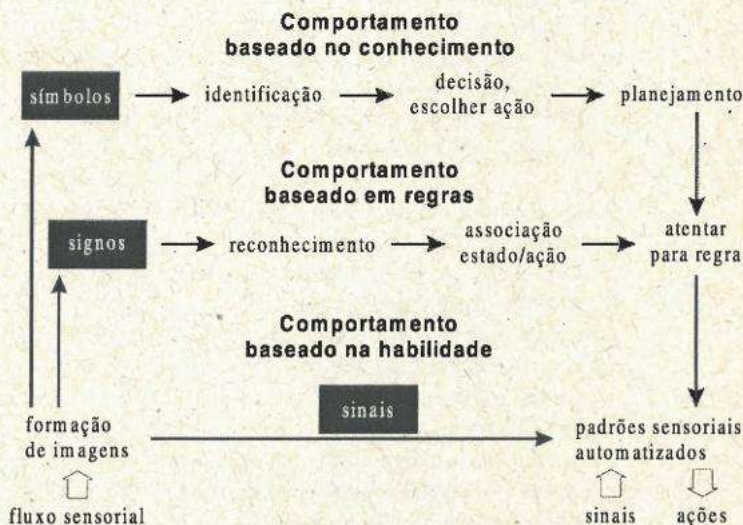


Figura 1 Modelo dinâmico do fluxo de informações

A QUESTÃO DO ESTILO COGNITIVO

Algumas pesquisas têm mostrado que o estilo cognitivo de uma pessoa pode ter influência na percepção do ambiente, o que remete diretamente para o estudo da interação entre o ser humano e seu trabalho. O estilo cognitivo de um indivíduo se revela na maneira dele se relacionar com o mundo ao redor, sendo uma característica estável da personali-

dade. Além disso, o estilo cognitivo, ao contrário das habilidades cognitivas, não é afetado pela natureza da informação a ser tratada. Estudos sobre o aprendizado em edição de texto mostram que a habilidade cognitiva de uma pessoa, isto é, a habilidade verbal ou espacial (importante para localização da informação pertinente), e também a idade (o fator idade está ligado à complexidade de comandos a serem efetuados) parecem influir na aprendizagem. Segundo Egan *et al.* (1982, 1983) a forma da informação, isto é, o tipo de tratamento de texto, interage com as diferentes habilidades, afetando o desempenho. Estas pesquisas se inspiraram nos trabalhos de Sternberg em psicologia cognitiva diferencial mas não foram ainda aplicadas em ergonomia cognitiva, e ficaram apenas nas pesquisas de aprendizagem. Se no caso da habilidade cognitiva há variação de desempenho dependendo se a natureza da informação é verbal ou espacial, o estilo cognitivo permanecerá o mesmo nos dois casos.

Articulação de campo

As classificações do estilo cognitivo têm geralmente a forma de dicotomia. A mais comum é a classificação dos indivíduos como "independentes do meio" ou "dependentes do meio". Esta classificação de acordo com a articulação de campo, foi proposta por Witkin *et al.* (1971) e inicialmente se relacionava com a aptidão do indivíduo em extrair uma figura simples de um meio mais complexo. Hoje, o sentido é um pouco mais amplo dentro do contexto educacional, e a expressão é usada para designar os sujeitos que manifestam uma tendência a analisar e estruturar a informação, ao passo que as pessoas "dependentes do meio" abordam a informação de forma mais global.

Estilos de aprendizagem

Outras formas de estilo cognitivo foram propostas. No campo educacional, Pask (1976) distingue dois estilos de aprendizagem: o estilo serialista em que a pessoa apreende por etapas, e o estilo holístico em que a pessoa tem uma compreensão mais global.

Estilo de tomada de decisão

Com relação à tomada de decisão, Kagan *et al.* (1964) sugerem dois tipos de personalidades: os impulsivos e os reflexivos, que refletem o tempo de tomada de decisão. Outra classificação proposta por Harvey *et al.* (1961) depende da quantidade de informação que é recebida pelo sujeito.

Estilo de pensar

No que concerne a inteligência, Guilford (1967) distinguiu dois modos de pensar: o pensamento convergente e o divergente.

Considerando que o estilo cognitivo é uma característica geral da pessoa, e que estas diferentes classificações se baseiam em propriedades psicológicas diferentes, então nenhuma classificação reflete real-

mente o estado geral. Por outro lado, pode ser que estas classificações se refiram às mesmas propriedades, mas com nomes diferentes. Neste caso, os indivíduos ditos independentes do meio também seriam, por definição, serialistas, reflexivos, convergentes etc, ao passo que os dependentes do meio seriam holísticos, impulsivos, divergentes etc.

Na interação com computador

Se o estilo cognitivo representa uma forma geral de interagir com o mundo exterior, então o estilo cognitivo será também um fator determinante da relação com os equipamentos tecnológicos. Van der Veer *et al.* (1985) deram bastante atenção ao papel dos estilos cognitivos nas interações homem-computador. Baseados em Moran (1981), distinguem níveis diferentes de interação com o computador e discutem a influência que isto pode ter com as características do usuário. Van der Veer e Beishuizen (1986) tentam mostrar a importância da distinção proposta por Pask (também chamada aprendizagem por operação e aprendizagem por compreensão). Esta distinção mostrou-se importante apenas em algumas tarefas. De Leeuw (1983), em estudos com articulação de campo mostrou que os usuários independentes do meio operam mais facilmente a transferência de um sistema computadorizado para outro. Estudo de Egly e Westcourt (1982) mostrou que esta mesma propriedade também afeta a forma como os usuários interrogam um banco de dados. Guimarães (1992) considerou o desempenho de sujeitos dependentes e independentes do meio e achou diferenças na detecção de sinais em telas de vídeo dependendo se o estímulo era cromático ou acromático.

Estes resultados sugerem que os estilos cognitivos são um fator determinante das interações homem-computador. Mas esta conclusão pode apresentar a mesma ambigüidade que caracteriza as pesquisas em estilo cognitivo. De um lado, os estudos são geralmente baseados em uma só classificação, de forma que é difícil saber se esta classificação é mais importante que outras, e em que ela difere das outras. De outro lado, o número de tarefas consideradas são geralmente bastante limitadas. É também importante lembrar que, apesar do estilo cognitivo ser considerado uma característica estável, mostrando-se invariável em diferentes tarefas, alguns estudos realizados por Robertson (1985) mostram que isto não é sempre o caso. Estudos de Hudson (1968) sugerem que um mesmo sujeito pode adotar um modo de pensar convergente ou divergente dependendo da demanda, e uma experiência de Webster e Walker (1981) mostrou que o modo de pensar adotado pelo sujeito também é influenciado pela natureza dos testes a que ele está sujeito. Se os estilos cognitivos se manifestam diferentemente dependendo da tarefa, se torna muito difícil distinguir os estilos das habilidades cognitivas ou mesmo das estratégias adotadas pelos sujeitos. Em suma, o conceito

de estilo cognitivo sofre ainda de muita imprecisão e um maior número de estudos é necessário para avaliar sua aplicação na concepção de interfaces melhor adaptadas aos diferentes usuários.

desvios de percepção, processamento e tomada de decisão que podem levar a erros e acidentes

Fica claro que a tomada de decisão acertada depende da qualidade da informação, das condições de trabalho e do ser humano. A qualidade da informação fornecida ao ser humano é fonte de melhor desempenho no trabalho. Estudos em percepção (veja *Capítulo 3* deste volume) geraram uma série de informações para o projeto de produtos que minimizam o erro e maximizam a eficiência de um operador. Cabe ao projetista desenvolver produtos que preencham a expectativa do usuário, principalmente quando ele deixa de lidar com informação háptica e passa para o mundo virtual como é o caso dos sistemas informatizados (veja *Capítulo 9*). Quando a informação fornecida é esperada, ou seja, corresponde à expectativa de uma pessoa, a percepção é facilitada. Esta expectativa é construída pela pessoa com base na sua experiência. Como o ser humano não é bom em prever o futuro, e não é bom estatístico (Wickens, 1984), quão mais raro ou desconhecido for o evento maior a chance dele retornar uma resposta errada. Devido a isto, sistemas de informação de ajuda a tomada de decisão são úteis quando informam ao usuário sobre a tendência do comportamento futuro de um sistema. É o caso dos sistemas de radar que informam sobre probabilidade de colisão, dos gráficos de tendência de plantas petroquímicas, simulações computadorizadas etc. Estes dispositivos artificiais aliviam a carga mental sobre o trabalhador e podem ajudar na melhoria de seu desempenho.

A qualidade da informação fornecida ao ser humano é fonte de melhor desempenho mas não o único fator que pode levar a acertos. Em qualquer situação, o ser humano tem que tomar uma decisão. Decisão é a escolha de uma alternativa entre outras desde as mais simples, como escolher um sapato, até as mais complexas, como optar por um procedimento cirúrgico em detrimento da utilização de drogas menos invasivas. As consequências de uma decisão são denominadas resultados, que podem ser positivos ou negativos. É claro que a expectativa geralmente é que o resultado seja favorável mas algumas vezes, tal não ocorre, como no caso de acidentes e desastres. Estes tendem a ser atribuídos ao erro humano ou ao fator humano, ou mais pragmaticamente, à negligência do trabalhador (veja discussão no *Capítulo 3.4* do livro *Ergonomia de Processo*, volume 2). Mas, ergonomicamente falando, o erro geralmente é do sistema e, não, do ser humano (veja *Capítulo 7* deste volume).

REFERÊNCIAS

- DE LEEUW, L. (1983) Teaching problem solving: An ATI study of the effects of teaching algorithmic and heuristic solution methods. *Instructional Science*, 12, 1-48.
- EGAN, D.; BOWERS, C.; GOMEZ, L. (1982) Learner characteristics that predict success in using a text-editor tutorial. Proc. *CHI'82 Human Factor in Computing System* (Gaithersburg, Maryland, march 15-17) ACM, New York, 337-340.
- EGAN, D.; GOMEZ, L.; WHEELER, E. A.; SHARMA, D. K.; GRUCHACZ, A. M. (1983) How interface Design Determines Who has difficulty learning to use a text editor. Proc. *CHI'83 Human Factors in Computing Systems* (Boston, 12-15 dec., 1983) ACM, New York, 176-181.
- EGLY, D. J.; WESTCOURT, K. T. (1982) Cognitive style, categorization and vocational effects on performance of relational data-base users. *Bulletin of the association for Computing Machinery* (ACM), Special Interest Group on the Social and Behavioral Science of Computing (SIGSOC), ACM, New York, 337-340.
- GUILFORD, J. P. (1967) *The nature of human intelligence*. New York: McGraw-Hill.
- GUIMARÃES, L. B. de M. (1992) *The salience of primitive sensory cues and implications for the design of complex dynamic displays*. Tese de doutorado. Department of Industrial Engineering, University of Toronto, Canada.
- HARVEY, O. J.; HUNT, D.; SCHRODER, H. (1961) *Conceptual systems and personality organization*. New York: Wiley.
- HUDSON, L. (1968) *Frames of mind*. Harmondsworth: Penguin Books.
- KAGAN, J.; ROSMAN, B. L.; DAY, D.; ALBERT, J.; PHILLIPS, N. (1964) Information processing in the child: significance of analytic and reflective attitudes. *Psychological Monographs*, 78.
- KALSBECK, J. (1965) Étude de la surcharge informatique sur le comportement et l'état émotionnel. In: DEJOURS, C.; VEIL, C.; WISNER, A. *Psychopathologie du travail*. Paris: Entreprise Moderne d'Édition.

MORAN (1981) The command Language Grammar: a representation for the user interface of interactive computer systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 15, 3-50.

PASK, G. (1976) Styles and strategies of learning.. *British Journal of Educational Psychology*, 46, 128-148.

RASMUSSEN, J. (1983) Skills, rules, knowledge: signals, signs, and symbols and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*. SMC - 13: 257-267.

ROBERTSON, I. T. (1985) Human information-processing strategies and style. *Behaviour and Information Technology*, 14, 1, 19-29.

VAN DER VEER, G. C.; BEISHUIZEN, J. J. (1986) Learning styles in conversation - a practical application of Pask's learning theory to human-computer interaction. In: KLIX, F.; WANKE, H. (Eds.) *Proc. of the First Network Seminar of the International Union of Psychological Science on Man Computer Interaction Research: MACINTER - I* (Berlin RDA, 16-19 october), Amsterdam: North-Holland, 195-205.

VAN DER VEER, G. C.; TAUBER, M. J.; WAERN, Y.; VAN MUYLUK, B. (1985) On the interaction between system and user characteristics. *Behaviour and Information Technology*, 4, 4, 289-308.

WEBSTER, W. G.; WALKER, A. D. (1981) Problem solving strategies and manifest brain assymetry. *Cortex*, 14, 474-484.

WICKENS, C. D. (1984) *Engineering psychology and human performance*. Columbus, OH: Merrill.

WISNER, A. (1994) *A inteligência no trabalho; textos selecionados em ergonomia*. São Paulo: Fundacentro.

WITKIN, H. A.; OLTMAN, P. K.; RASKIN, E.; KARP, S. A. (1971) *A manual for the embedded figures tests*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press, Inc. 577 College Avenue.

6

Avaliação de Carga Mental de Trabalho

Raimundo Lopes Diniz & Lia Buarque de Macedo Guimarães

O ser humano apresenta limitações para processar uma grande quantidade de informação. Se durante a realização de uma tarefa essas limitações forem excedidas, há uma grande probabilidade de acontecer uma sobrecarga mental acarretando em erros e decréscimo de desempenho. Alguns fatores que importam na sobrecarga mental de trabalho são: estresse prolongado; sobre esforço físico; monotonia; falta de segurança/instabilidade; alta demanda por produtividade; magnitude e precisão das respostas; demandas simultâneas de fontes múltiplas; heterogeneidade de processamento; alta demanda da capacidade de memória; divisão de atenção. Estes fatores dependem da individualidade, pois cada pessoa reage de uma forma ao meio externo e não trabalha sempre de uma mesma forma em qualquer situação.

**CMT:
conceito,
características
e
terminologias
adotadas**

A Carga Mental de Trabalho (CMT), durante a realização de uma tarefa, é influenciada pelas capacidades individuais, estratégias aplicadas para a realização da tarefa, assim como a disposição emocional e também a condição mental e física do operador. No conceito de carga mental, conforme De Waard (1996), são incluídas as questões referentes à meta, os propósitos, a função básica da tarefa, isto é, como a meta pode ser alcançada (a ordem das ações, a estratégia montada para tal, por exemplo) e as restrições individuais impostas sobre o desempenho (em termos de precisão ou rapidez para realizar um tarefa, por exemplo). Para Wickens *et al.* (1997), a CMT é determinada diretamente pela dificuldade da tarefa.

Conforme De Waard (1996), a terminologia usada em pesquisas relacionadas à CMT tem sua origem nas teorias das ciências cognitivas e fisiológicas e os termos usados têm significados variados e, às vezes, de difícil entendimento, não havendo um consenso entre os pesquisadores. Para se entender melhor o conceito de Carga Mental de

Trabalho (CMT), são definidos, a seguir, os termos básicos no estudo da CMT: “demanda da tarefa”, “carga de trabalho” e “esforço” são

- Demanda** A demanda é determinada pela meta que pode ser definida, em termos gerais, como por exemplo, “o avião deve pousar com segurança”, e por sub-metas. A meta pode ser estabelecida de acordo com a concepção da tarefa ou interpretação subjetiva da tarefa em termos da precisão ou velocidade em que deve ser realizada. As sub-metas são quase sempre auto-estabelecidas, por exemplo: primeiro a ação A e depois a B (ou o contrário), e geralmente dá-se prioridade às sub-metas que podem influenciar as metas gerais e a demanda.
- complexidade** A complexidade da tarefa está diretamente relacionada à demanda e é diretamente proporcional às fases (estágios) do processo requerido para se realizar a tarefa: quanto maior o número de fases de uma tarefa maior é o nível de sua complexidade.
- A demanda e a complexidade são fatores considerados externos, mas ambas dependem, também, da meta estabelecida para o desempenho de uma tarefa.
- Carga de trabalho** Carga de trabalho é o termo usado para descrever o efeito que a demanda tem sobre o operador, em termos de esforço mental e físico. A carga de trabalho relaciona a quantidade de informação processada e o esforço empregado para que a tarefa seja desempenhada e sua percepção depende das habilidades e capacidades das pessoa, ou seja, da individualidade, sendo que cada operador reage de uma forma diferente a um mesmo nível de carga de trabalho.
- Esforço** O esforço é o processo de mobilização voluntária das capacidades para lidar com a demanda e, portanto, reflete a reação do operador frente à demanda da tarefa.
- Capacidade e fontes** Os conceitos de “capacidade” e de “fontes” também são importantes para o entendimento da CMT. Seguindo as idéias de Wickens (1992), De Waard (1996) define capacidade como o limite máximo do processo que envolve as habilidades desenvolvidas para realizar uma tarefa. As fontes representam o esforço mental exercido para aumentar a eficiência durante a percepção e interpretação durante o processamento de informação. A organização e preparação das fontes estão sob controle voluntário e a relação entre alocação de fontes e desempenho da tarefa é, supostamente, linear até o momento em que todas as fontes sejam investidas. Dá em diante, mais nenhuma fonte pode ser investida e a performance da tarefa ficará estável (constante).

Conforme O'Donnell e Eggemeier (1986), o ser humano tem uma capacidade limitada para processar e responder informações. Sob essas condições, o aumento do nível de dificuldade (complexidade) de uma determinada tarefa faz com que haja um aumento nas fontes empregadas para receber e trabalhar as informações relativas a ela. Se o processo de informação e as demandas de resposta de uma tarefa excedem os limites da capacidade do operador, o resultado será uma sobrecarga que pode levar à diminuição da sua performance.

dificuldade

A dificuldade de uma tarefa está relacionada à quantidade de fontes alocadas que são requeridas pelo indivíduo para o desempenho de uma tarefa e depende, ainda, da situação em si (contexto), do estado (emocional, disposição/ânimo e, também, condição mental e física), da capacidade do operador e da estratégia ou política de alocação de fontes empregadas para o desempenho da tarefa. Um exemplo bem simples para se tentar entender a definição do termo dificuldade é um exame de matemática: os cálculos usados no exame podem ser, até, relativamente fáceis para alguém que estudou e treinou as questões (um sujeito experiente) e muito difíceis para alguém que tem um primeiro contato (um novato) com o exame e com as questões relativas a ele.

(Sobre)carga
mental:
relação entre
capacidades
e demandas

O conceito de carga mental, apesar de contínuos problemas de definição e mensuração, tem sido abordado por muitos pesquisadores (Keith *et al.*, 1993). Conforme De Waard (1996), a CMT pode ser simplesmente definida como o resultado de uma situação em que a demanda de uma tarefa exige do ser humano um esforço acima de sua capacidade para lidar com esta demanda. Neste caso, a carga de trabalho é, exclusivamente, atribuída por uma fonte externa. A carga de trabalho, entretanto, pode ser melhor definida em termos da carga percebida, quer dizer, relacionada a um operador específico e não somente a uma tarefa específica.

A relação entre a demanda e o desempenho de uma tarefa foi descrita por Meister (1976) que definiu três regiões: na primeira (região A), a demanda se encontra num nível mínimo e o desempenho, por sua vez, num nível máximo. Nesta região, mesmo que houver um aumento na demanda não haverá um decréscimo de performance ou desempenho; na segunda (região B), o nível de desempenho diminui com o aumento da demanda da tarefa, quer dizer, na região B o desempenho diminui com o aumento da demanda e aumento da CMT; na terceira (região C), se a demanda chegar a um nível máximo, a performance ou desempenho diminui e este desempenho permanece neste nível mesmo que a demanda sofra novos aumentos (*Figura 1*).

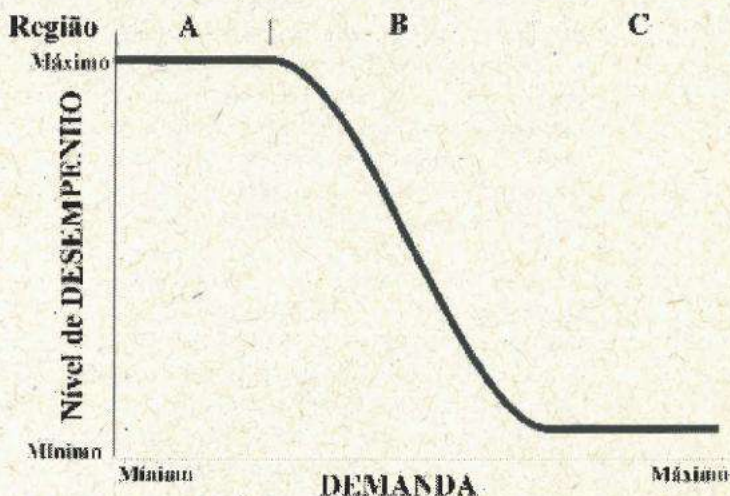


Figura 1 Relação hipotética entre a demanda e a performance (de acordo com Meister, 1976)

De acordo com o modelo proposto por Meister (1976), a sensibilidade de técnicas de medição (medição de performance ou desempenho, por exemplo) da CMT na tarefa primária ou principal somente será elevada com relação às variações nos níveis da região B. Na região A, o nível de desempenho permanece constantemente num nível máximo e independe das variações da demanda, enquanto que, na região C, o desempenho permanece constantemente num nível mínimo e, também, independe das variações da demanda. Outras técnicas, como as medições subjetivas (ou auto-avaliação), podem ser sensíveis à CMT na região B e podem claramente revelar uma sobrecarga na região C.

Yerkes e Dodson (1908) realizaram pesquisas em ratos durante situações que envolviam ansiedade e alerta de perigo e produziam estresse e o resultado destas pesquisas foi a modelagem denominada U-invertido. Os autores chegaram à conclusão de que a performance primeiro aumenta até um ponto conhecido como “nível ótimo de alerta” até começar a entrar em processo de declínio com o aumento do estresse indicado pelo alerta. O nível de alerta é elevado tanto para tarefas simples como para tarefas complexas. A modelagem denominada U-invertido de Yerkes e Dodson (1908) sobre o “alerta fisiológico” (Figura 2) serviu de inspiração para a modelagem de Hebb (1955) que relacionou a performance, a demanda e a CMT.

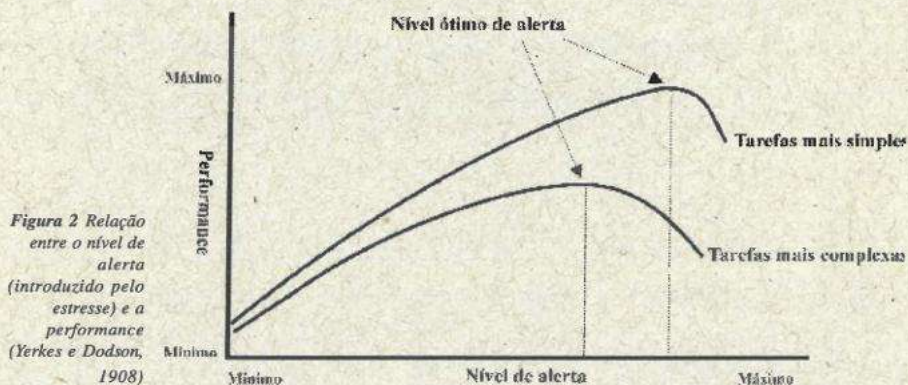
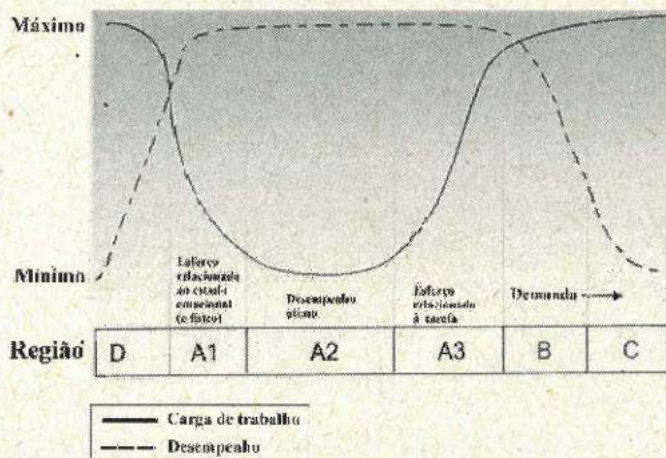


Figura 2 Relação entre o nível de alerta (introduzido pelo estresse) e a performance (Yerkes e Dodson, 1908)

A modelagem de Reid e Colle (1988) apresenta uma região adicional na extremidade esquerda da escala, denominada região D ou região de desativação. Os efeitos de tarefas monótonas, por exemplo, estão situados nessa região. Esta modelagem também apresenta regiões de transição da região A, denominadas A1, A2 e A3 (Figura 3). Na região A2, o operador pôde facilmente interagir com as demandas da tarefa, tendo o desempenho num nível elevado, mesmo com um aumento na demanda. Nas regiões A1 e A3, o desempenho ainda não se encontra em processo de declínio e o operador consegue manter o nível de desempenho, mesmo se acontecer um aumento de esforço. Porém, se o operador precisar de um esforço contínuo para manter o desempenho ou acontecer uma variabilidade desse esforço (elevada frequência de picos de esforço), o resultado será o aparecimento do estado de estresse, que é uma situação prejudicial, e deverá ser evitada. Quando a demanda aumenta, inicialmente na região A2, a capacidade do operador para a compensação de esforço será excedida a qualquer momento assumindo uma posição de transição entre as regiões A3 e B. Na região B, o desempenho é afetado e decresce até chegar na região C.

Figura 3 Gráfico ilustrativo das relações entre o desempenho e a carga de trabalho envolvidos numa tarefa em relação à demanda segundo Reid e Colle (1988)



É importante observar que a demanda representada no eixo X do gráfico na *Figura 3* não está diretamente ligada à região de desempenho. As demandas da tarefa são determinadas pelas metas que têm de ser alcançadas e pelo desempenho da tarefa e podem não estar diretamente ligadas à carga de trabalho.

Técnicas de medição da CMT

As demandas de muitos trabalhos acarretam em sobrecarga física e mental e as situações que envolvem elevada carga mental (em sistemas complexos humano-máquina, por exemplo) podem afetar tanto a performance quanto a segurança do trabalhador. Por isso, há um grande interesse na mensuração da carga mental de trabalho, ou seja, em especificar a quantidade de capacidade gasta para se desempenhar uma tarefa. Parte-se da premissa de que se a demanda que requer a assimilação de informações relativas a uma tarefa, com um elevado nível de complexidade/dificuldade, excede o limite da capacidade/habilidade do operador, o resultado será uma sobrecarga que poderá causar uma queda no seu nível de desempenho.

CrITÉRIOS de aplicação das medições

As medições que são usadas para avaliar a carga mental no trabalho têm diferentes critérios que são importantes para a seleção da técnica que será utilizada nas medições da carga mental (Luximon e Goonetilleke, 2001; De Waard, 1996; O'Donell e Eggemeier, 1986). Os critérios são:

Sensibilidade	Está relacionada com a resposta para a seguinte pergunta: "qual o nível de capacidade que a técnica tem para registrar e apresentar as modificações da carga de trabalho mental?". Ela está definida dentro da região de desempenho. A mensuração do desempenho de tarefas primárias não pode ser sensível à carga mental na região C ou A porque na definição dessas regiões não estão incluídas as mudanças do desempenho. Entretanto, nas regiões D e B as mudanças no desempenho refletem também modificações na carga de trabalho mental.
Nível de diagnóstico	Refere-se à capacidade que a técnica tem para discriminar e quantificar a carga mental imposta em diferentes fontes ou capacidade/habilidade do operador. De Waard (1996) afirma que o nível de diagnóstico é a habilidade para discernir o tipo ou a causa da carga de trabalho mental, ou a habilidade para atribuir o tipo ou a causa a um aspecto ou aspectos da tarefa do operador.
Intrusão de tarefas primárias	É a intensidade de decréscimo que uma técnica tem durante o desempenho de tarefas ordinárias ou primárias.
Validade	Corresponde ao conteúdo, aplicabilidade e o constructo de validade.
Nível de execução e precisão	Refere-se à flexibilidade para realizar e repetir pré-testes (Luximon e Goonetilleke, 2001). Refere-se, ainda, aos constrangimentos práticos, tais como a necessidade de um equipamento específico ou treinamento do operador (De Waard, 1996).
Aceitação do operador (sujeito da pesquisa)	<p>É o nível de aprovação da técnica pelo operador (sujeito da pesquisa). A opinião do operador sobre a técnica usada para a medição, especialmente em técnicas de medição subjetiva ou auto-avaliação, influencia na precisão da sua aplicação (De Waard, 1996).</p> <p>Na prática, de acordo com Lin e Hwang (1998), os métodos válidos para mensuração de cargas mentais devem ser usados para os seguintes propósitos:</p> <ol style="list-style-type: none">1) alocação de funções e tarefas entre o homem e a máquina, baseado na carga mental predita;2) comparação de projetos alternativos de tarefas e equipamentos de acordo com a carga mental imposta;3) supervisão do operador de equipamentos complexos para ajudar na adaptação da dificuldade das tarefas; e4) escolha de operadores que têm elevada capacidade mental para as demandas das tarefas.

Geralmente, as pesquisas usam métodos de medição de carga mental com base em avaliações fisiológicas, análise de tarefa secundária (sub-tarefa), análise de tarefa primária (principal) e medições subjetivas (Lin e Hwang, 1998). As técnicas de medição da carga mental de trabalho, em função da meta/objetivo que se quer alcançar, são selecionadas de acordo com as suas propriedades (sensibilidade, nível de diagnóstico, nível de ação sobre as tarefas primárias, requisitos de implementação e aceitabilidade dos sujeitos da pesquisa) e o seu tipo de abordagem (avaliação subjetiva ou auto-avaliação, avaliação do desempenho e avaliações fisiológicas). Os tipos de avaliação da carga mental de trabalho mais utilizados são brevemente descritos a seguir:

**Avaliação
subjetiva ou
auto-
avaliação**

A avaliação subjetiva é uma técnica utilizada por muitos pesquisadores pela sua facilidade de aplicação, além de não ser uma técnica invasiva (Lin e Hwang, 1998). De Waard (1996) prefere usar o termo auto-avaliação (*self-report*), com a justificativa de que outras técnicas, como algumas técnicas de medições fisiológicas, usam o termo "subjetivo". Aqui serão usados os dois termos.

Para De Waard (1996), só quem consegue julgar uma carga mental são as pessoas que estão submetidas a uma dada situação. A percepção do operador para aumentar o esforço que está sendo empregado, mesmo antes de ocorrer qualquer decréscimo de desempenho, tem um importante papel nos experimentos que usam técnicas de medições subjetivas ou auto-relatos para confirmar ou refutar suas hipóteses. Diferentes dimensões de carga de trabalho, tal como o desempenho e o esforço estão integrados nas avaliações subjetivas ou auto-avaliações. Devido às diferenças individuais, a condição física e mental e as atitudes do operador também são levadas em consideração. Dentre as técnicas de avaliação subjetiva ou auto-avaliação estão:

**Escala de
avaliação do
esforço mental**

(*Rating Scale Mental Effort*) ou RSME é uma escala unidimensional contínua desenvolvida por Zijlstra (1993). O processo de preenchimento da escala se dá pela marcação de um "X" sobre uma linha de 15cm, que apresenta uma marcação numérica a cada 10mm, onde são indicadas várias âncoras relacionadas ao esforço mental percebido (extremo, muito, pouco, nenhum esforço, por exemplo).

**Escala de
ativação**

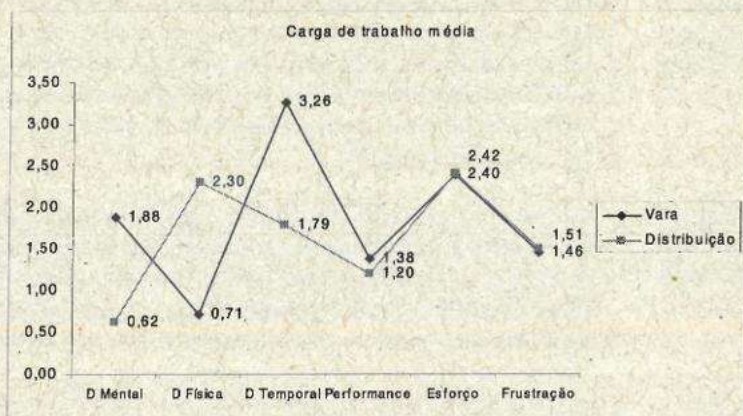
(*Activation scale*) é uma escala unidimensional com os mesmos princípios da RSME. O termo 'ativação' está relacionado com a ativação mental percebida, como a sensação de excitação. A escala é graduada de 0 a 270mm.

TLX (Task Load Index), SWAT (Subjective Workload Assessment Technique) e MCH (Modified Cooper-Harper)

Estas escalas são muito usadas pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) nos Estados Unidos. Tanto o NASA-TLX (Hart, 1982; NASA Task Load Index - TLX, 1986) quanto o SWAT são escalas multidimensionais, quer dizer, são compostas por várias subescalas (por exemplo, escalas relacionadas à pressão para a realização das tarefas, carga física etc). O NASA-TLX é uma escala multidimensional onde a carga de trabalho mental total é relacionada com seis fatores: a demanda mental, demanda física, demanda temporal, performance, esforço e nível de decepção/frustração (Luximon e Goonetilleke, 2001). O SWAT, desenvolvida pela Força Aérea Americana (Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory), também é uma escala multidimensional que usa três fatores relacionados à carga de trabalho mental: o Tempo (T), o Esforço (E) e o Estresse Psicológico (EP) (Cha e Park, 2001). Luximon e Goonetilleke consideram que o TLX é superior ao SWAT em termos de sensibilidade para cargas de trabalho mental elevadas, por usar seis fatores relacionados à CMT.

A escala NASA-TLX foi usada para avaliar a carga de trabalho em dois setores de um órgão da Justiça Federal no Rio Grande do Sul. De um modo geral, os maiores problemas dos funcionários da Justiça Federal concentram-se no grande volume de trabalho e no número reduzido de funcionários, o que gera frustração e ansiedade. No entanto, a intensidade dos fatores componentes da carga de trabalho varia em função do tipo de trabalho realizado no setor.

Figura 4
Percepção da carga de trabalho dos funcionários da Distribuição e de uma Vara da Justiça Federal conforme os dados dos questionários NASA TLX



A *Figura 4* mostra como os funcionários da Distribuição e de uma das Varas da Justiça Federal percebem a carga de trabalho, conforme os resultados dos questionários NASA TLX. A carga física é percebida como maior pelos funcionários da Distribuição (2,30), do que pelos funcionários da Vara (0,71). Este dado corrobora o diagnóstico ergonômico que mostrou que o trabalho na Distribuição envolve mais atividades de movimentação de carga, acionamento de equipamentos etc. Em compensação, a demanda mental é maior na Vara (1,88) do que na Distribuição (0,62) pois na Vara tende-se a lidar mais com atividades de leitura, avaliação e escrita de textos. A demanda temporal também é mais premente na Vara (3,26) já que, na Distribuição (1,79), os processos entram e saem em um fluxo contínuo, e o ritmo é ditado pelos funcionários. Na Vara, parte da frustração pode ser explicada pelo tempo de finalização dos processos que independe dos funcionários, e, sim, do juiz. As demandas de performance, esforço e frustração são percebidas da mesma forma nos dois setores.

Apesar das diferenças ente estes fatores discutidos, considerando-se os dados agrupados, as médias de carga de trabalho entre os dois setores são bastante próximas, estando, em uma escala de 0 a 15, em torno de 11 para a Vara e 9,8 para a Distribuição.

Avaliação do desempenho

Em laboratório, as medições do desempenho motor e movimentacional, do número de erros, da velocidade da performance ou do tempo de reação são usadas durante a realização de tarefa primária (principais).

Medições de tarefa primária (principal)

De acordo com O'Donnell e Eggemeier (1986), o desempenho de uma tarefa primária (principal) é uma medição da efetividade total da interação homem-máquina, ou seja, a medição é centrada na meta principal da tarefa. Todo o ciclo de realização da tarefa será observado e analisado, quer dizer, o foco das medições serão todos os estágios envolvidos na tarefa e sua seqüência de operação para que a meta principal seja alcançada.

Medições de tarefas secundárias

(Sub-tarefa) – as tarefas secundárias, geralmente, são aquelas adicionadas à tarefa primária (principal); o resultado desta fusão será a realização em paralelo de duas tarefas. De acordo com O'Donnell e Eggemeier (1986), há dois paradigmas que podem ser aplicados em situações que envolvam o desempenho simultâneo de duas tarefas:

1) tarefa de sobrecarga

No paradigma “tarefa de sobrecarga” (*loading task*), o desempenho da tarefa secundária é mantido, mesmo se acontecer um decréscimo no desempenho da tarefa primária. A realização simultânea de uma outra tarefa (sub-tarefa) com a tarefa principal resulta numa carga de trabalho

mental total, generalizada, e isto ocorre na transição da região A para a região B. Assim, as medições do desempenho da tarefa primária (principal) podem ser usadas como indicadores da carga de trabalho.

2) tarefa de sobrecarga

No paradigma "tarefa subsidiária" (*subsidiary task*), a instrução é manter o desempenho da tarefa primária (principal). Conseqüentemente, o desempenho da tarefa secundária (sub-tarefa), varia com a dificuldade da tarefa e indica "economia de capacidade", ou a capacidade que não foi usada, permitindo que a tarefa secundária seja realizada. De acordo com a teoria das múltiplas fontes (Wickens, 1984), chega-se a uma elevada sensibilidade nas medições da tarefa secundária por meio de uma sobreposição das fontes que são usadas. Segundo De Waard (1996), as tarefas secundárias mais usadas são a seleção do tempo de reação das tarefas, estimação do tempo, tarefas de busca e memorização, e cálculos mentais aritméticos.

Tarefas de referência

São tarefas padronizadas, desempenhadas antes e depois das tarefas em avaliação (tarefas primárias, por exemplo) que servem, principalmente, como um instrumento de controle caso ocorra algum problema durante a realização da tarefa que está sendo avaliada. Se forem adicionadas às tarefas de referência medições subjetivas e fisiológicas, pode-se inferir os custos para manter a performance da tarefa primária (principal), em particular, se o estado (emocional) do operador for afetado. O uso de tarefa de referência padronizada é muito comum na psicologia organizacional e ocupacional.

Medições Fisiológicas

A premissa das técnicas de medição fisiológica é quantificar o esforço mental por meio de medições diretas de alerta ou nível de ativação fisiológica (O'Donell e Eggemeier, 1986). Para De Waard (1996), a vantagem das respostas fisiológicas é que elas não requerem uma resposta evidenciada exclusivamente pelo sujeito e a maioria das tarefas cognitivas não requer um comportamento evidente. Mais ainda, a maioria das medições pode ser coletada continuamente e, com a tecnologia atual, é cada vez menos invasiva e mais portátil. Apesar da simplicidade aparente dos métodos, os estudos não têm encontrado resultados de alterações fisiológicas consistentes. A primeira evidência foi que os resultados não mostravam alteração de esforço, estado de alerta ou nível de ativação mas, sim, respostas específicas de processos psicológicos. As mais usuais técnicas de medições fisiológicas da carga de trabalho mental são brevemente descritas a seguir. Mais informações podem ser obtidas em Meshkati *et al.* (1995).

- Medições da função cerebral** Consta do uso de um equipamento denominado Eletroencefalograma (EEG) que registra a atividade cerebral durante o desempenho da tarefa por meio de eletrodos de superfície posicionados diretamente no couro cabeludo do crânio (O'Donell e Eggemeier, 1986). A avaliação da carga mental de trabalho concentra-se na avaliação da latência e amplitude do terceiro maior pico positivo de ativação mental, denominado P300, que geralmente ocorre entre 250 e 500 msec do início de ativação de uma resposta, pois considera-se que eles estão relacionados ao processamento da informação, avaliação do significado e valor da informação. Os componentes da onda de atividade cerebral que ocorrem nos milissegundos iniciais estão relacionados à fase sensorial de detecção da informação. Os componentes que ocorrem após 500 e 600 milissegundos são geralmente relacionados com atividades motoras de resposta, tais como movimento ou contração muscular.
- Medições da função do olho** Como a visão é uma fonte valiosa de informação para o trabalho (a maioria das tarefas está envolvida com uma natureza altamente visual), e tendo em vista que o olho é um elemento fácil de observar, as funções visuais têm sido utilizadas como índice de carga mental. Na avaliação de carga mental de trabalho o reflexo da córnea ou eletrooculograma (EOG) e o registro em vídeo do reflexo do centro da pupila à cornea são as técnicas mais usadas. A última é a mais cara, mais acurada mas que tem boa aceitação pelos usuários por permitir a movimentação da cabeça e ser fácil de usar.
- Ponto fixo dos olhos** Considera-se que quando a carga de trabalho aumenta, a pressão do tempo modifica o padrão de movimentação do olhar. A observação/medição do padrão de movimento dos olhos pode ser usada para inferir sobre a quantidade de informação relacionada com o desempenho das tarefas. Apesar de não se saber ao certo, assume-se que o movimento do olhar é um indicador da carga global tanto perceptual quanto do sistema central de processamento, pelo menos em situações em que não há diferenças de carga visual externas.
- Piscada dos olhos** A medição do tempo de oclusão e do padrão de piscagem dos olhos têm-se mostrado um indicador de carga mental geral. As técnicas de medição são o reflexo corneano, vídeo *scanning* ou EOG. Há estudos sobre sensibilidade para a carga mental sob três parâmetros: a) o índice, b) a duração e c) a latência (ocorrência de estímulos) das piscadas.
- Diâmetro da pupila** O diâmetro da pupila diminui por causa da atividade dos músculos inervados do Sistema Nervoso Parassimpático (SNP), isto em decorrência de elevação de demanda cognitiva. O diâmetro da pupila aumenta

Medições da função cardíaca Frequência cardíaca Pressão Sangüínea	<p>É a medição de impulsos elétricos produzidos pela contração do coração que impulsiona a corrente sangüínea pelo sistema circulatório. O registro é feito pelo EletroCardioGramma (ECG).</p> <p>Está amplamente relacionada com a diminuição da Variabilidade dos Batimentos Cardíacos (VBC) e a diminuição da Variabilidade da Pressão Sangüínea (VPS). A medição é realizada por meio de uma pequena bolsa presa ao dedo. A bolsa pode ser inflada com água ou ar. A pressão da bolsa é ajustada com a pressão intra-arterial e pode ser monitorada.</p>
Variabilidade da Frequência cardíaca	<p>Tanto o eletrocardiograma, pressão sanguínea, volume sistólico e concentração de oxigênio já foram usados como parâmetros de desempenho fisiológico, estresse, ou carga de trabalho (O'Donnel e Eggemeier, 1986). Particularmente, a frequência cardíaca foi usada para avaliação de carga de trabalho tendo em vista a sua facilidade de utilização. No entanto, como o pulso é susceptível a uma série de variáveis, tanto físicas quanto psicológicas, ele não pode ser considerado uma técnica segura. Apesar disto, muitos estudos (O'Donnel e Eggemeier, 1986, propõem as referências de todo o volume da Ergonomics, 1973, n. 16) sugerem que a variabilidade da frequência cardíaca observada nos sujeitos em repouso pode medir a carga mental de trabalho</p> <p>Kalsbeek e Ettema (1963) encontraram redução da variabilidade da frequência cardíaca em função do aumento do esforço mental e outros estudos confirmam esta relação (Kalsbeek, 1971). No entanto, nem sempre a relação é confirmada e por isto a frequência cardíaca não pode ser usada com tanta segurança. O'Donnel e Eggemeier (1986) concluem que uma possível explicação para os achados contraditórios é o método de cálculo da variabilidade cardíaca. Kalsbeek (1973) listou mais de 30 técnicas diferentes que podem avaliar diferentes funções do ser humano. Desta forma, a utilização da frequência cardíaca e da variabilidade cardíaca só podem ser consideradas de forma experimental.</p>
Eletromiografia (EMG)	<p>Consiste do uso de eletrodos de superfície para o registro da atividade elétrica dos músculos. A EMG, em estudos relacionados à carga mental, tem sido usada nos músculos da região da face. Geralmente, os eletrodos são posicionados diretamente nos seguintes músculos: lateral frontalis, corrugator supercilii e orbicularis oris inferior.</p>

- Respiração** A mensuração da respiração é um parâmetro utilizado para sustentar a hipótese de que o esforço cognitivo coincide com um pequeno, mas significativo, aumento do consumo de energia (De Waard, 1996).
- Atividade eletrocutânea** (*Electrodermal Activity, EDA*) Refere-se às mudanças elétricas que acontecem na pele. Estas mudanças são o resultado da atividade do Sistema Nervoso Autônomo (SNA). A EDA é expressa em termos de resistência e condução da pele, que são inversamente (não-linearmente) relacionadas.
- Medição da função muscular** Apesar de, sem dúvida, existir uma relação entre tensão e contração muscular, principalmente dos músculos da cabeça, pescoço, ombros e braços, não é fácil estabelecer uma ligação entre o nível de esforço mental e a contração muscular. Segundo O'Donnel e Eggemeier (1986), Stern (1966) e Wisner (1973) correlacionaram altos níveis de carga de trabalho com as curvas de resposta EMG. No entanto, da mesma forma que com os resultados da frequência cardíaca, a repetição de resultados negativos mostram que não é possível associar aumento da função muscular com sobrecarga mental. Segundo O'Donnel e Eggemeier (1986), a atividade do sistema nervoso simpático reduz com o decréscimo do estado de alerta e vigilância, mas isto é contabalçado por aumento da função somática a partir do esforço físico para compensar qualquer redução de desempenho. A EMG pode refletir estas tendências contraditórias de uma maneira ainda não compreendida.
- Análise do nível hormonal** A carga mental de trabalho também pode ser medida pelo teor de estressores como o cortisol e de catecolaminas como a adrenalina (A) e noradrenalina (Na) no sangue, urina ou saliva. Sob condições estressantes, o corpo humano libera os "hormônios do estresse", porque são eles que ajudam o corpo humano a mobilizar energia para lidar com as situações estressantes.
- Segundo Bauer (2002), o estresse é um quadro de distúrbios físicos e emocionais provocado por diferentes tipos de fatores que alteram o equilíbrio interno do organismo. A reação do organismo aos agentes estressores tem um propósito evolutivo. É, em essência, uma resposta ao perigo, que Hans Selye (1907 – 1982), um célebre endocrinologista canadense, dividiu em três estágios. No primeiro estágio ('alarme'), o corpo reconhece o estressor e ativa o sistema neuroendócrino. As glândulas adrenais, ou supra-renais, passam então a produzir e liberar os hormônios do estresse (adrenalina, noradrenalina e cortisol), que aceleram o batimento cardíaco, dilatam as pupilas, aumentam a

sudorese e os níveis de açúcar no sangue, reduzem a digestão (e ainda o crescimento e o interesse pelo sexo), contraem o baço (que expulsa mais hemácias, ou glóbulos vermelhos, para a circulação sanguínea, o que amplia o fornecimento de oxigênio aos tecidos) e causam imunossupressão (ou seja, redução das defesas do organismo). A função dessa resposta é preparar o organismo para a ação, que pode ser de 'luta' ou 'fuga' ao estresse. No segundo estágio ('adaptação'), o organismo repara os danos causados pela reação de alarme, reduzindo os níveis hormonais. No entanto, se o estresse continua, o terceiro estágio ('exaustão') começa e pode provocar o surgimento de uma doença associada à condição estressante. O estresse agudo repetido inúmeras vezes pode, por essa razão, trazer conseqüências desagradáveis, incluindo disfunção das defesas imunológicas.

cortisol

O cortisol é um hormônio esteróide secretado pelo eixo Hipotálamo-Hipófise-Adrenal (HHA), por meio do córtex supra-renal, sendo essencial para a manutenção de diversas funções orgânicas. De acordo com Stone *et al.* (2001), ele afeta a produção de glicose, o metabolismo de nutrientes, sensibilidade vascular, funcionamento do sistema nervoso central e regula o sistema imunológico. Por isso, os níveis de cortisol implicam tanto em doenças somáticas como em psiquiátricas, incluindo depressão, estresse pós-traumático, disfunções alimentares, hipertensão, hiperlipidemia, disfunção sexual, imunossupressão e muitas outras. Os mecanismos regulatórios do eixo HHA são muito importantes, pois podem influenciar nas disfunções deste eixo. Um dos reguladores mais influentes de muitos hormônios, incluindo o cortisol, é o sistema do ciclo circadiano. A secreção de cortisol, por exemplo, eleva-se no início do dia, atinge o pico por volta de 8hs da manhã e, depois, declina para níveis muito baixos no fim da tarde e durante a primeira fase do sono.

Mudanças no nível do cortisol podem indicar o nível de alterações fisiológicas em resposta ao estímulo estressante (Melamed e Bruhis, 1996).

A relação entre o cortisol e a situação de estresse tem sido abordada por algumas pesquisas (Brantley *et al.*, 1988; Smyth *et al.*, 1998; Vedhara *et al.*, 2000; Moya-Albiol *et al.*, 2001; Roy *et al.*, 2001; Nielsen, 2001). Vedhara *et al.* (2000) investigaram as relações entre os níveis de cortisol e a memória e a atenção durante testes de acuidade auditiva e visual. As amostras de saliva coletadas pelos autores mostraram uma redução dos níveis de cortisol associada com o aumento de tarefas que exigiam memorização a curto prazo. Nielsen (2001) fez uma análise sobre

a mensuração do cortisol urinário como um parâmetro para verificar o nível de estresse durante o uso de protetores auriculares (do tipo concha) numa fábrica de papelão ondulado e de caixas de papelão. Os testes foram realizados no primeiro turno de trabalho (6 às 14 horas), havendo a coleta de duas amostras urinárias (a primeira logo ao levantar e a segunda próximo ao final do turno, por volta das 13:40hs). O autor não encontrou diferenças significativas entre os sujeitos da pesquisa em relação às mensurações de cortisol urinário, isto é, não foram encontradas relações entre o estresse e o conforto dos protetores, ou entre o estresse e a exposição aos diferentes níveis de ruído industrial. Nielsen alegou que isto talvez esteja relacionado ao pequeno número de sujeitos amostrados (oito, no total).

Moya-Albiol *et al.* (2001) estudaram as relações entre a realização de tarefas cognitivas (mentais) e tarefas que exigem esforço físico e a influência do cortisol e descobriram que durante a realização de tarefas que envolvem o esforço físico as mudanças dos níveis hormonais são pouco significativas se comparadas com as tarefas que envolvem esforço mental. Vedhara *et al.* (2000) dizem que muitos relatos têm relacionado os efeitos do estresse e concomitantes hormônios do estresse (como o cortisol) com a performance cognitiva.

catecolaminas

Outros hormônios do estresse são a adrenalina e a noradrenalina, derivados da medula adrenal, que aumentam e diminuem o grau de alerta e o nível de ativação do corpo. Por este motivo estas catecolaminas são também denominadas "hormônios do desempenho". A noradrenalina está mais relacionada à carga física e a adrenalina é geralmente associada à carga mental. Frankenhaeuser *et al.* (1971¹ apud Kroemer e Grandjean, 2002) mostraram como a adrenalina está relacionada à carga mental, alterando-se em situações de sobrecarga e de tédio. Seus experimentos sobre subcarga e sobrecarga levaram aos seguintes resultados:

FRANKENHÄUSER,
M.;
NORDHEDEN,
B.; MYRSTEN,
A. L.; POST, B.
(1971)
Psychophysical
reactions to
understimulation
and
overstimulation.
*Acta
Psychologica*,
35, 298-308.

- 1) a sobrecarga, gerada por um teste serial de tempo de reação de longa duração produziu um aumento do fluxo de adrenalina (cerca de 9,5 ng/min).
- 2) a carga moderada, na forma de leitura de um jornal, gerou apenas um pequeno incremento na excreção de adrenalina (cerca de 4 ng/min).
- 3) a subcarga, como consequência de uma operação uniforme e repetitiva, também produziu um aumento de adrenalina, chegando a cerca de 5,7 ng/min e depois caindo para níveis de "sobrecarga" e de "carga moderada".

Os autores concluíram que a produção de adrenalina aumenta não apenas quando se trabalha sob pressão, contra o relógio e com um grande influxo de informação mas, também, em condições monótonas e com falta de estimulação. Isto mostra que a reação fisiológica é produzida pelo estresse mental e emocional e não pelo esforço físico.

carga de trabalho de operadores de computador

² JOHANSSON, G.; ARONSSON, G. (1980) Stress reactions in computerized administrative work. *Report from the Department of Psychology, University of Stockholm, Suppl. 50, November.*

Johansson e Aronsson (1980² *apud* Kroemer e Grandjean, 1997) notaram que a adrenalina, a pressão sanguínea, e a frequência cardíaca aumentaram durante uma parada temporária do sistema de computação, enquanto, ao mesmo tempo, os sujeitos se sentiram mais irritados, cansados, apressados e entediados. Os autores concluíram que as paradas de computador são uma causa importante para o desgaste mental das pessoas com trabalho computadorizado intenso pois elas estão condenadas a ficar paradas enquanto o trabalho vai empilhando e, em consequência, aumentando a carga de trabalho do dia seguinte. Os autores acreditam que o estresse com os computadores pode ser minimizado pela atuação nos níveis técnico e organizacional, “*pela redução da duração e frequência de paradas, pela redução do tempo de respostas do sistema e pela redistribuição das inevitáveis mas monótonas atividades de entrada de dados*” (Kroemer e Grandjean, 1997 p. 216).

Tendo em vista representar as respostas do organismo a uma carga física (NA) ou mental (A), Fibiger *et al.* (1984) e Basset *et al.* (1987) sugerem que a razão entre os níveis de hormônios noradrenalina e adrenalina (NA/A) permite discriminar a intensidade da carga de trabalho: a carga pode ser considerada essencialmente mental se a razão está entre 2 e 3, e essencialmente física se os valores forem maiores que 5.

avaliação da carga de trabalho de cirurgiões (Diniz, 2003)

Diniz (2003) - veja também Diniz *et al.*, 2004 - avaliou o trabalho de cirurgiões durante procedimentos eletivos de pequeno, médio e grande porte, medindo o teor das catecolaminas sanguíneas antes e depois das cirurgias para avaliar os componentes físico e mental do trabalho do cirurgião. Concluiu que a razão entre noradrenalina e adrenalina (NA/A) antes e depois das cirurgias, era menor para os cirurgiões mais jovens (menos experientes) mostrando, portanto, que a carga era mais mental do que física, principalmente para as cirurgias de grande porte. Os resultados sugerem que, com a experiência, o trabalho do cirurgião tende a ter uma parcela mais física do que mental, até mesmo nas cirurgias mais complexas, ao contrário dos cirurgiões menos experientes cujo componente mental tende a aumentar com a complexidade da cirurgia.

avaliação da
carga de
trabalho de
eletricistas de
linha viva

A análise de catecolaminas também foi considerada no estudo de Guimarães *et al.* (2004) (ver também Guimarães e Sant'anna, 2004; e Guimarães, Saurin e Fischer, 2004) sobre a re-organização do trabalho de eletricitistas de linha viva de uma empresa de Porto Alegre-RS. Os parâmetros de projeto foram o ciclo circadiano e as condições ambientais (principalmente o efeito do calor) e a classificação, junto com os eletricitistas, do grau de demanda física e mental das diversas tarefas em linha viva. Na primeira semana ("tradicional"), não houve interferência no trabalho da equipe e na segunda ("ergonomizada"), o trabalho foi organizado de acordo com parâmetros ergonômicos levando-se em consideração as demandas da tarefa e as capacidades do trabalhador. A análise foi feita com base em dois parâmetros cognitivos (acomodação de palitos de fósforos e percepção de minuto) e três fisiológicos (batimento cardíaco e nível de catecolaminas: adrenalina e noradrenalina), avaliados antes e depois da jornada de trabalho durante duas semanas: na primeira o trabalho foi realizado do modo convencional e na segunda ele seguiu os critérios ergonômicos. Comparando a demanda nas duas situações, o estresse, principalmente mental, medido pela diferença de adrenalina antes e depois do trabalho, foi reduzido na condição "ergonomizada". Pela dosagem de noradrenalina (que informa sobre o nível de estresse físico), a re-organização do trabalho também teve efeito na carga física acumulada na semana, já que os eletricitistas apresentaram menor nível de noradrenalina no início da jornada durante a semana "ergonomizada" e não mostrou acúmulo de fadiga durante a semana, ao contrário da semana "tradicional". A tendência à redução do nível de noradrenalina no início da jornada na segunda semana, pode significar que a pessoa estava mais descansada, em função da reorganização do trabalho do dia anterior.

De Waard (1996) afirma que os níveis de hormônio, como o cortisol, refletem os efeitos integrados do estresse e podem ser registrados pela análise de amostras de urina, sangue e saliva, mas Smyth *et al.* (1998) alertam para as variáveis que devem ser levadas em consideração antes de se realizarem a coleta das amostras de saliva ou urina que serão analisadas. As variáveis como: uso de anticoncepcional por via oral, uso de alguma medicação, disfunções alimentares, doenças mentais, uso de cigarro, álcool e/ou outros tipos de drogas, perda excessiva de peso, podem influenciar e distorcer os resultados das análises.

Apesar da variabilidade das respostas intra e inter sujeitos e da suscetibilidade das medições de carga mental aos efeitos dos vários fatores que definem o meio ambiente de trabalho, geralmente tais medições valem a pena já que auxiliam na geração de parâmetros que são necessários para o desenho de um trabalho mais adaptado às necessidades e capacidades humanas.

REFERÊNCIAS

BAUER, E. M. (2002) Estresse: como ele abala as defesas do seu corpo? *Ciência Hoje*. Vol. 30, nº 179, pp. 20 – 25.

BRANTLEY, P. J.; DIETZ, L. S.; McNIGHT, G. T.; JONES, G. N.; TULLEY, R. (1988) Convergence between the daily stress inventory and endocrine measures of stress. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, n. 56, pp. 549 - 551.

CHA, D.W.; PARK, P. (2001) Comparative study of subjective mental workload assessment techniques for the evaluation of ITS-oriented-human-machine interface systems. *Journal of Korean Society of Transportation*, 19(3):45-58.

DINIZ, R. L. (2003) *Avaliação das demandas física e mental no trabalho do cirurgião em procedimentos eletivos*. Porto Alegre, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DINIZ, R. L., GUIMARÃES, L.B. de M.; BITTENCOURT Jr., P.I.H.; CARDOSO, P.F.G (2004) Avaliação fisiológica da carga de trabalho de cirurgiões em procedimentos eletivos com base na relação NA/A. In: CONGRESSO DE ERGONOMIA DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 1. -APERGO 2004, Funchal/Ilha da Madeira. *Anais...* Cruz Quebrada: Associação Portuguesa de Ergonomia - APERGO.

DE WAARD, D. (1996) *The measurement of driver's mental workload*. PhD thesis, University of Groningen. Haren, The Netherlands: University of Groningen, Traffic Research Centre.

GUIMARÃES, L.B. de M.; SANT'ANNA, A. M. (2004) Avaliação da Carga de Trabalho de eletricitistas de linha viva com base em parâmetros Cognitivos e Fisiológicos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 16. - SINAP 2004, Caxambu. *Anais...* São Paulo: Associação Brasileira de Estatística - ABE.

- GUIMARÃES, L. B. de M.; SAURIN, T. A.; FISCHER, D.; SANT'ANNA, A. M. (2004) *Análise da organização do trabalho das equipes de linha viva da CEEE*. Relatório Técnico. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- GUIMARÃES, L. B. de M.; SAURIN, T. A.; FISCHER, D. (2004) Proposta, implementação e validação da reorganização do trabalho de uma equipe de eletricitistas de linha viva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ERGONOMIA, 13. - ABERGO 2004, Fortaleza. *Anais...* Recife: Associação Brasileira de Ergonomia - ABERGO.
- GUIMARÃES, L. B. de M.; SAURIN, T. A.; FISCHER, D. (2004) Integração de fatores humanos no planejamento da produção de equipes pesadas de eletricitistas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24. - ENEGEP 2004, Florianópolis. *Anais...* Santa Bárbara d'Oeste: Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO.
- HART, S.G. (1982) Theoretical basis for workload assessment research at NASA - Ames Research Center. PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP ON FLIGHT TESTING TO IDENTIFY PILOT WORKLOAD AND PILOT DYNAMICS (AFTEC-TR-82-5), pp.445-470
- HEBB, D. O. (1955) Drives and the C. N. S. (Conceptual Nervous System). *Psychological Review*. Nº 62. pp. 243 - 254.
- KALSBECK, J. W. H. (1971) Sinus arrhythmia and the dual task method of measuring mental load. In: SINGLETON, W.T.; FOX, J.G.; WHITFIELD, D. (Ed.) *Measurement of man at work*. - An appraisal of physiological and psychological criteria in man-machine systems. London: Taylor & Francis.
- KALSBECK, J. W. H. (1973) Do you believe in sinus arrhythmia? *Ergonomics*, 16(99):99-104.
- KALSBECK, J. W. H.; ETTEMA, J. H. (1963) Continuous recording of heart rate and the measurement of perceptual load. *Ergonomics*, 6, 306-307.
- KEITH, C. H.; KEVIN, M. H.; LOUIS, N. L. (1993) Measuring subjective workload: when is one scale better than many? *Human Factors*, n. 35, pp. 579 - 601.
- KROEMER, K. H. E.; GRANDJEAN, E. (1997) *Fitting the task to the human. A textbook of occupational ergonomics*. 5 ed. London: Taylor and Francis. 416 p.

LIN, Ding-Yu; HWANG, Sheue-Ling. (1998) *The development of mental workload measurement in flexible manufacturing systems*. Human factors and ergonomics in manufacturing. John Wiley & Sons, Inc. Vol 8 (1) pp. 41 – 62.

LUXIMON, A.; GOONETILLEKE, R. (2001) *Simplified subjective workload assessment technique*. *Ergonomics*. Taylor and Francis Ltd. Vol. 44, n° 3, pp. 229 – 243.

MEISTER, D. (1976) *Behavioral foundations of system development*. New York: Wiley.

MELAMED, S.; BRUHIS, S. (1996) The effects of chronic industrial noise exposure on urinary cortisol, fatigue, and irritability. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, vol. 38, n° 3.

MESHKATI, N.; HANCOCK, P. A.; RAHIMI, M.; DAWES, S. M. (1995) Techniques in mental workload assessment. In: WILSON, J. R.; CORLETT, E. N. (Ed.) *Evaluation of human work. A practical ergonomics methodology*. 2. ed. London: Taylor & Francis, pp. 749-782.

MOYA-ALBIOL, L.; SALVADOR, A.; GONZÁLEZ-BONO, E.; MARTÍNEZ-SANCHIS, S.; COSTA, R. (2001) The impact of exercise on hormones is related to autonomic reactivity to a mental task. *International Journal of Stress Management*. Human Sciences Press, Inc. Vol. 8. n° 3.

NASA Task Load Index (TLX) (1986) Computerized Version - v. 1.0. Human performance Research Group. NASA Ames Research Center. Moffett Field, California.

NIELSEN, R. M. (2001) *Comportamento de três protetores auriculares tipo concha em ambientes com ruídos em baixa frequência*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: UFRGS, 58 p.

O'DONELL, C.; EGGEMEIER, F. (1986) Workload assessment methodology. In: BOFF, K.; KAUFMAN, L.; THOMAS, J. (Ed.) *Handbook of perception and human performance – cognitive process and performance*. New York: John Wiley and Sons. Vol. 2, Cap. 42, pp. 1 – 49.

REID, G. B.; COLLE, H. A. (1988) Critical SWAT values for predicting operator overload. THE HUMAN FACTORS SOCIETY 32ND ANNUAL MEETING. *Proceedings...* Santa Monica, CA: Human Factors Society, pp. 1414 - 1418.

ROY, M. P.; KIRSCHBAUM, C.; STEPTOE, A. (2001) Psychological, cardiovascular, and metabolic correlates of industrial differences in cortisol stress recovery in young men. *Psychoneuroendocrinology*. PNEC - Pergamon. Elsevier Science Ltd, n. 26, pp. 357 - 391.

SMYTH, J.; OCKENFELS, M.; PORTER, L.; KIRSCHBAUM, C.; HELLHAMMER, D.; STONE, A. (1998) Stressors and mood measured on a momentary basis are associated with salivary cortisol secretion. *Psychoneuroendocrinology*. Elsevier Science Ltd., v. 23, n. 4, pp. 353 - 370.

STERN, R. M. (1966) Performance and physiological arousal during two vigilance tasks varying in signal presentation rate. *Perceptual and Motor Skills*, 23, pp. 691-700.

STONE, A.; SCHWARTZ, J.; SMYTH, J.; KIRSCHBAUM, C.; COHEN, S.; HELLHAMMER, D.; GROSSMAN, S. (2001) Individual differences in the diurnal cycle of salivary free cortisol: a replication of flattened cycles for some individuals. *Psychoneuroendocrinology*. Pergamon. Elsevier Science Ltd., n. 26, pp. 295 - 36.

VEDHARA, K.; HYDE, J.; GILCHRIST, I.; TYTHERLEIGH, M.; PLUMMER, S. (2000) Acute stress, memory, attention and cortisol. *Psychoneuroendocrinology*. Elsevier Science Ltd. N° 25, pp. 535 - 549. 2000.

WICKENS, C.D. (1984) *Engineering psychology and human performance*. Columbus, OH: Merrill. 513 p.

WICKENS (1992) *Engineering psychology and human performance*. New York: HarperCollins.

WICKENS, C. D.; GORDON, S. E.; LIU, Y. (1998) *An introduction to human factors engineering*. Nova Yorque: Addison-Wesley Educational Publishers Inc. 636p.

WISNER, A. (1973) Electrophysiological measures for tasks of low energy expenditure. In: SINGLETON, W. T.; FOX, J. G.; WHITFIELD, D. (Ed.) *Measurement of man at work*. London: Taylor & Francis.

YERKES, R. M.; DODSON, J. D. (1908) The relation of strength of stimulus to rapidity of habit formation. *Journal of Comparative Neurological Psychology*. N° 18, pp. 459 – 482.

ZIJLSTRA, F. R. H. (1993) *Efficiency in work behavior*. A design approach for modern tools. Tese de Doutorado (PhD), Delft University of Technology. Delft, Holanda: Delft University Press.

7

Interface Humano-Computador

Lia Buarque de Macedo Guimarães

As pesquisas em ergonomia cognitiva têm tendido às questões que dizem respeito às interfaces computadorizadas. Com o número crescente de postos de trabalho informatizados, a relação entre o homem e o produto de seu trabalho vem se concentrando na tela de um monitor de raios catódicos. Por exemplo, o controle das máquinas e até mesmo de uma indústria inteira pode ser efetuado por *displays* computadorizados. Portanto, já que o *display* é o meio de diálogo entre o usuário e a máquina, o *design* desta interface passa a ser decisivo na qualidade do trabalho. Como o projeto de interfaces não se baseia em uma linguagem acessível ao usuário, elas são foco de muitos problemas. Tradicionalmente, as interfaces são criadas a partir da lógica de funcionamento do computador, ou seja, os *softwares* são baseados na linguagem da máquina, como ocorreu com as primeiras máquinas. No entanto, esta abordagem não mais se aplica pois mudaram a máquina e o usuário.

De início, os computadores eram máquinas de grande porte, de uso exclusivo de operadores altamente especializados, isto é, programadores e analistas. Com a evolução dos *mainframes* para os micros, na década de 70, o computador saiu da sala de Centro de Processamento de Dados (CPD) e se difundiu para todas as áreas do conhecimento e atividades humanas. Em decorrência, ele deixou de ser privilégio de pessoas altamente especializadas. Hoje, qualquer pessoa leiga em informática é um usuário em potencial de microcomputadores tanto no trabalho quanto em casa. Como os usuários são em maioria leigos em informática, eles não têm conhecimento da lógica computacional, não entendem os *softwares* baseados na linguagem da máquina, e o diálogo torna-se, então, bastante difícil.

O problema pode ser sanado baseando-se a interface na linguagem do usuário. No entanto, isto não é tão fácil de ser efetuado pelo programador, pois ele não é treinado para analisar e interpretar as necessidades

do usuário e de suas atividades, e não tem uma base ergonômica para o desenvolvimento da interface. Em decorrência, os softwares sofrem de deficiências tais como: falta de previsão de erros humanos, incompatibilidade entre o desempenho do usuário e o desempenho do software, falta de homogeneidade na forma de apresentação da informação, colocação de funções em excesso etc.

Uma fonte de conhecimento importante para a concepção de softwares melhor adaptados ao usuário e à tarefa que necessita desempenhar vem da ergonomia cognitiva. Ela está diretamente relacionada à ergonomia da informática ou de *software* atuando no nível da interface ou interação humano-computador (IHC ou HCI) para garantir que as habilidades e capacidades humanas sejam consideradas no projeto da interface de um *software*. Suas bases são o conhecimento do usuário (suas características e necessidades) e da tarefa a ser informatizada, isto é, da lógica de utilização do sistema usuário/computador. Desta forma, interfaces melhores poderiam resultar de trabalhos de equipes interdisciplinares com profissionais de informática e de ergonomia ou, como alternativa, a preparação de profissionais “híbridos” (informatas que se aprofundam nos conhecimentos da Ergonomia ou ergonomistas que aprendem as técnicas da Informática).

QUESTÕES PERCEPTUAS QUE IMPORTAM NO DESIGN DE UMA INTERFACE

As pesquisas em IHC, desenvolvidas por profissionais nas áreas da ergonomia, psicologia, desenho industrial, engenharia de sistemas, visam gerar subsídios para que os *designers* de *software* possam construir sistemas fáceis de serem utilizados e abrangem todo o processo de geração de *software*, desde a análise, passando pela especificação, projeto e testes, até a avaliação. Alguns parâmetros já estão disponíveis em forma de recomendações que abrangem desde a forma de detecção de sinais, o processamento da informação, até a forma e apresentação da informação. Estudos sobre o melhor tipo de código, ou sobre a melhor forma de apresentação de uma informação foram desenvolvidos. No entanto, é importante chamar a atenção para o fato de que a legibilidade de um sinal não é o fator mais importante em uma interface. Ficou evidente a existência de diferenças individuais na detecção de sinais o que deixa claro que os fatores cognitivos também são fundamentais nesta fase de processamento da informação.

A questão do grupamento e do não- grupamento

Baseado nas descobertas em neurociência de que os estímulos visuais são transmitidos segregadamente (veja *Capítulo 3* deste volume), muitos teóricos postulam que os processos para grupamento ocorrem na fase pré-atencional e são mais sensíveis àquelas propriedades ditas mais primitivas, ou seja, que são processadas no estágio inicial. Beck (1967) sugeriu que os processos relacionados com grupamento são

baseados justamente nas propriedades básicas do sistema visual, ou seja, direção, tamanho, luminância. O autor enfatiza que a inclinação das linhas é a variável decisiva para o reconhecimento das formas e não as variações nas dimensões vertical ou horizontal. Esta posição está de acordo com Gibson (1950) que já havia sugerido que a direção da linha é o elemento básico na percepção de figuras, e também de acordo com Hubel e Wiesel (1962) que encontraram receptores específicos na área cortical 17 de macacos para a orientação de linhas.

Por outro lado, foi visto que a figura "X" na qual os componentes "+" foram girados 45 e 135 graus não grupam tão bem quanto um "T" ou um "V" inclinados. Beck (1967) sugeriu que o sistema visual é sensível à distribuição geral de luminância de uma figura e que a orientação da distribuição de luminância é também importante. Um "T" de pé e um "T" inclinado têm suas linhas componentes em diferentes direções mas também têm direções diferentes de luminância. No entanto, um "X" e um "+" diferem na direção de suas linhas mas, devido à sua simetria, têm distribuição de luminância bastante parecidas e similar a um "T" de pé.

O que é importante nesses experimentos é que confirmam a hipótese de que ocorre discriminação de elementos antes da atenção seletiva, idéia contrária a muitas teorias que seguem a metáfora do foco de atenção, e que não aceita nenhum tipo de grupamento na fase pré-atencional. Os experimentos apontam para o fato de que a atenção não opera sempre como foco mas está também sob controle de algumas leis de grupamento e de saliência de estímulos. Esta questão tem relação com o fato de que o controle atencional depende do tipo de tarefa, isto é, depende das estratégias adotadas pelos diferentes sujeitos em diferentes atividades e depende também do tipo de estímulo utilizado nos experimentos.

Estudando detecção em tarefas de busca, Sperling (1960) e Von Wright (1968) descobriram que a tarefa era facilitada quando os sinais a serem detectados eram definidos pela sua localização ou sua cor. Eles também pesquisaram sinais definidos em nível mais semântico, por exemplo, a categoria dos elementos, e não encontraram nenhuma vantagem na diferença entre categorias (letras ou dígitos). Eles propuseram que é difícil distinguir entre letras maiúsculas e dígitos com base nas suas características físicas e, portanto, cada item deve ser fisicamente analisado, por inteiro, antes da categorização ocorrer. No entanto, Jonides e Gleitman (1972) mostraram que a busca é facilitada se os alvos e os distratores são de diferentes categorias (letras ou dígitos) do que de uma mesma categoria. Eles viram que é mais fácil detectar um item de

uma categoria (um dígito) entre elementos de outra categoria (letras) do que detectar um item (um dígito) entre elementos de mesma categoria (outros dígitos). Uma explicação para este efeito é que as diferentes categorias não têm componentes em comum o que facilita a detecção. Contradizendo esta explicação, Jonides e Gleitman (1972) demonstraram que uma mesma forma pertencendo a duas categorias simultaneamente é categorizada diferentemente: se os sujeitos são solicitados a detectar uma letra "O" em meio a um grupo de letras, ou um "zero" (com exatamente a mesma forma do "O") em meio a letras, o desempenho é melhor no segundo caso. A maneira pela qual a forma é categorizada afeta a detecção, fazendo com que o "zero" pule da tela. É um exemplo de que fatores subjetivos podem atuar bem cedo no processamento de informação.

A saliência de um estímulo e as implicações para o design de interfaces

A saliência de um elemento gráfico importa sobremaneira no *design* de *displays*. Como deve ter ficado claro, são várias as hipóteses quanto a detecção de sinais sendo que, com algumas exceções, a maioria assume uma posição *bottom up*, sem considerar a interferência de fatores subjetivos. Costuma-se afirmar que os elementos primitivos tais como cor, forma e movimento são mais salientes pois são processados sem alocação de atenção: são identificados em paralelo, automaticamente e por estarem disponíveis quase imediatamente, atraem atenção imediatamente, independentemente de sua posição ou identidade. Além dos primitivos, um estímulo novo, tal como um objeto aparecendo repentinamente numa tela, tende a ser saliente, a chamar mais atenção do que aqueles eventos frequentes, que tendem a induzir à adaptação ou inatensão.

Tendo em vista que a atenção será direcionada para estímulos mais salientes, eles são geralmente usados como sinalizadores de segurança, para alertar o operador sobre algum evento mais importante. Mas por outro lado, estímulos salientes podem levar a ações catastróficas quando a atenção é erroneamente divergida para uma outra fonte de informação a qual, apesar de não ser importante no momento, por alguma razão está "saltando" aos olhos do operador. Um caso clássico é o do avião Lockheed 1011 que se chocou contra os Everglades, Parque Nacional na Flórida. O acidente ocorreu porque todos os três tripulantes estavam tão absorvidos com o indicador "trem de pouso inoperante", um *led* verde altamente brilhante, que não notaram que o piloto-automático havia sido inadvertidamente desligado, e portanto, não estava mantendo a altitude do jato (Wickens, 1984). O pior é que o *led* tão saliente poderia indicar problema com o trem de pouso ou simplesmente, como foi o caso, apenas mal funcionamento do *led*.

Qual o melhor código para uso em uma interface? Existe um?

Muita gente considera que a cor é o código mais eficiente porque as pessoas respondem a ela bem antes de aprenderem sobre formas e tamanhos, os quais não são estímulos naturais, e sim parte do acervo de convenções culturais. Realmente, com base numa revisão de literatura elaborada por Christ (1975) pode-se dizer que há uma certa preferência por *displays* coloridos. Os sujeitos consideram que a cor torna o *display* menos monótono e que reduz a fadiga ocular. Operadores com experiência acreditam que a cor melhora o desempenho, mesmo nos casos em que o oposto é o verdadeiro. O código cromático mostrou-se mais eficiente em tarefas de busca e superior ou no mínimo comparável aos códigos acromáticos (tais como tamanho e forma) em tarefas de identificação (Christ, 1975; Luder e Barber, 1984). A sensação da cor depende de três parâmetros básicos:

- matiz** que é o comprimento de onda, ou seja, é a variação qualitativa da cor (se é verde, vermelho, azul etc.);
- croma** saturação ou pureza. A cor tem máxima saturação quando tem pureza máxima, ou seja, corresponde à longitude de onda determinada no espectro eletromagnético. Não tem nada de branco. É o caso do vermelho puro. Quando o branco vai sendo adicionado, a cor perde saturação, é o caso do rosa.
- valor** luminância ou brilho que é a capacidade de uma cor em refletir a luz branca: o quanto uma cor tem de preto, ou seja, é quanto uma cor se afasta do cinza/preto. Os códigos acromáticos só diferem em luminância.
- cores cromáticas** Os benefícios do código por cor aumentam com a complexidade do *display* e a complexidade da tarefa. No entanto, a saliência da cor pode facilitar ou interferir com o processamento de outras dimensões de sinais. Apesar da redundância ser sempre considerada uma boa maneira de melhorar um *display*, especialmente em sistemas complexos, e de reduzir o tempo de resposta e número de erros (Luder e Barber, 1984) as vantagens parecem depender da complexidade da tarefa. Em estudos de sistemas de instrumentos eletrônicos, descobriram que a cor reduzia significativamente os erros e tempo de resposta, mas tanto mais difícil a tarefa, quanto menor era a vantagem da utilização de cor, não importando se a tarefa era de busca ou identificação. Cole e MacDonald (1988) concluíram que a utilização de cor ajudava na identificação e qualquer outra tarefa que exigisse compreensão de detalhes, ou seja, que exigisse processamento serial de informação.

Existem situações em que a adição de cor pode afetar negativamente o desempenho. Quando a cor é irrelevante, sua saliência pode interferir

no processamento daquela que é relevante. Morgan e Alluisi (1967) descobriram que quando a discriminação de tamanho é mais difícil, variações irrelevantes em cor têm efeito negativo no julgamento. A cor parece ser negativa quando é utilizada sem o sujeito saber como o código foi definido, ou sempre que for usado um grande número de cores. Cahill e Carter (1976) notaram que com o aumento do número de cores o fundo torna-se cada vez mais heterogêneo e é progressivamente mais difícil para a figura aparecer. Em qualquer *display*, a informação irrelevante deve ser evitada para não sobrecarregar o operador. Até mesmo um atributo vantajoso, como a cor, torna-se inconveniente se utilizado em excesso.

número de cores

Embora alguns estudos (Green e Anderson, 1956; Smith, 1962) tenham demonstrado um ganho de eficiência em buscas com códigos de até cinco cores, Cahill e Carter (1976) concluíram que um número maior pode ser utilizado sem problemas. Em *displays* pouco densos (10 a 20 itens) pode-se usar até 10 cores. Para *displays* mais densos, oito ou nove cores podem ser usadas sem risco.

É importante notar que nem todos os estudos encontraram qualquer vantagem na utilização de cor. Najjar *et al.* (1982) descobriram que códigos acromáticos (formas geométricas, números, letras, por exemplo, em tons de cinza) são tão bons quanto, se o usuário tem alguma prática com o código. Em todos os estudos com símbolos alfanuméricos, a cor não mostrou nenhuma vantagem. Kanarick e Petersen (1971) propuseram que isto se deve à familiaridade deste tipo de código.

É muito difícil chegar a uma conclusão definitiva sobre o melhor tipo de código a ser usado no *display* porque a maioria dos estudos não é muito específica quanto à cor usada no experimento, definindo-a pelo nome. Mas o vermelho de um estudo pode ser bastante diferente do vermelho de outro. Principalmente, o termo cor é muito genérico para especificar este código pois ele é resultado de três atributos, isto é, matiz, luminância e saturação. No entanto, matiz é geralmente confundido com cor e luminância raramente é considerada na especificação. Além disso, a maioria dos estudos sobre cor foi efetuada com material refletido ou projetado, não sendo possível estabelecer até que ponto os resultados podem ser estendidos para uma tela de raios catódicos.

luminância

Somente poucos estudos (Livingstone e Hubel, 1987; Matthews e Mertins, 1987) controlaram a luminância. No entanto, para garantir que a saliência de um estímulo alvo é devida somente ao matiz utilizado, tanto alvo quanto não-alvos devem ser equiluminantes. Sem o controle de cada um dos atributos não é possível assegurar que a saliência é

devida somente ao matiz e não devida somente à luminância ou somente à saturação ou à composição de mais de uma variável. Small (1982) mostrou que é o contraste de luminância (e não o contraste cromático) entre texto e fundo que determina o melhor desempenho quando da leitura de um texto em uma tela de vídeo. Guimarães (1992) concluiu que a luminância é o fator mais importante numa tarefa de monitoramento para detecção de sinais em uma tela de vídeo com um *display* bastante parecido com o que os controladores de tráfego de trem utilizam na vida real.

**DIFERENÇAS
INDIVIDUAIS
NA
DETECÇÃO
DE SINAIS**
(projeto
financiado
pelo CNPq
202559/87)

Guimarães (1992) desenvolveu um estudo quanto à saliência de sinais e a diferenças individuais durante detecção de sinais em *displays* complexos. Era esperado que o desempenho com relação aos códigos definidos por cor (matiz) fosse superior àqueles definidos somente pela forma. E os resultados confirmaram a hipótese. Ao comparar a eficiência de códigos cromáticos com a seleção de três tipos de matiz (vermelho, verde, azul) a dois níveis de luminância (5 cd/m^2 e 10 cd/m^2) foi visto que, em relação à cor, é muito importante atentar para o matiz utilizado pois dentro de uma faixa cromática, alguns matizes são mais facilmente detectáveis que outros. Como as cores foram equiparadas em relação à luminância, ficou claro que o tempo de reação ao verde, principalmente à baixa luminância (5 cd/m^2), era maior em comparação ao azul e ao vermelho (Figura 1). O matiz não era saliente o suficiente para saltar da tela o que contraria o resultado de alguns estudos (Rizy, 1967; Meister e Sullivan, 1969; Shurtleff, 1980) que obtiveram vantagem para o verde e concluíram que o azul era o pior matiz. Como estes estudos não controlaram a luminância, pode-se inferir que foi a luminância das cores usadas, e não o matiz, a responsável pelas vantagens obtidas.

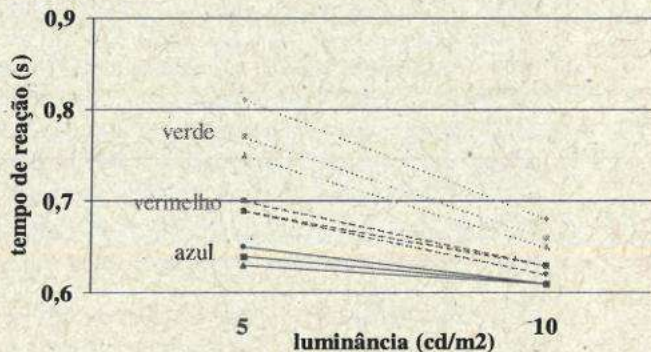
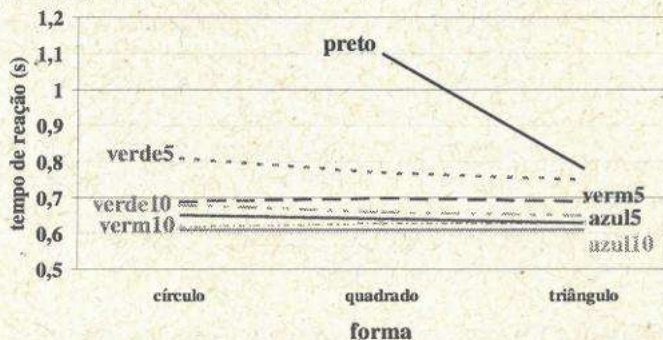


Figura 1 Tempo de reação (em segundos) para detecção de sinais cromáticos diferindo em forma, matiz e luminância

Figura 2 Tempo de reação (em segundos) para sinais acromáticos e cromáticos diferindo em matiz, luminância e forma



O estudo de Guimarães (1992) comparou, também, o desempenho de códigos acromáticos (círculo, quadrado, triângulo) e de códigos combinados, isto é, forma+cor (círculo vermelho, verde, azul, a 5 cd/m^2 e 10 cd/m^2 ; quadrado vermelho, verde, azul, a 5 cd/m^2 e 10 cd/m^2 ; triângulo vermelho, verde, azul a 5 cd/m^2 e 10 cd/m^2). Conforme Figura 2, o tempo de reação é menor para sinais cromáticos; com relação à forma, o triângulo mostrou-se mais saliente que o quadrado. No entanto, não se pode dizer que toda forma é menos detectável do que qualquer cor pois o triângulo acromático foi mais facilmente detectado do que o verde a baixa luminância (5 cd/m^2). Outra observação foi que este mesmo verde passava a “saltar da tela” quando na forma do triângulo, dando o mesmo resultado obtido pelo azul e pelo vermelho. Neste caso, a adição das duas dimensões, forma e cor, realmente somou para um desempenho melhor. No entanto, no caso de códigos já bastante salientes, a adição de duas dimensões não fez diferença, tendo-se encontrado mesmo tempo de reação para azul e vermelho, para triângulo ou quadrado azul e para triângulo ou quadrado vermelho.

O fato de que o tempo de reação foi o mesmo no caso da dimensão isolada (apenas cor) e conjugada (cor+ forma) é consistente com a idéia de que redundância de um sinal melhora o desempenho (Christ, 1975; Luder e Barber, 1984). No entanto, é importante notar que não é correto assumir que toda redundância melhora o desempenho: a discriminação de um sinal só é ampliada se o atributo adicionado é suficientemente discriminável. O que fica claro neste estudo é que a saliência de um estímulo é devida à intensidade do sinal, não importando se o estímulo é definido em uma única dimensão ou em mais. Isto leva à questão do processamento analítico ou holístico da informação. A maioria das linhas teóricas consideram que o processo é serial, sendo analítico e pré-atencional primeiramente, no que tange o processamento de atributos, mas requerendo foco atencional para a integração dos atributos e formação do todo. Os dados obtidos para detecção de

estímulos uni ou multi dimensionais contradizem a proposta de Treisman *et al.* (1977) de que, o processamento se dá em duas fases, uma inicial para codificação de cada atributo e uma posterior para aglutinação dos vários elementos sendo a conjugação de mais de um elemento mais lenta, pois só pode se dar em uma fase mais avançada do processamento de informação já que depende de alocação de atenção. Mas os dados podem ser explicados assumindo-se que, apesar dos diferentes atributos serem processados por canais neurais especializados, a integração se dá em rede, conforme proposto em estudos neurofisiológicos (Zeki e Shipp, 1988) de modo que a detecção e integração de sinais por todo sistema visual se dá em paralelo.

**diferenças
individuais
na detecção
de sinais**

**estilo
cognitivo**

O mais importante no estudo de Guimarães (1992) diz respeito à questão da subjetividade na fase inicial de detecção de sinais. As teorias vigentes assumem que o processo é *bottom up*. No entanto, os dados demonstraram que a detecção também depende de fatores subjetivos. Os sujeitos neste estudo, selecionados de acordo com seu estilo cognitivo (Witkin *et al.*, 1971) reagiram diferentemente a um mesmo estímulo indicando que o processo é susceptível a fatores *top-down*. As pessoas classificadas como independentes do meio mostraram um desempenho melhor que as dependentes do meio durante a detecção de estímulos acromáticos (Figura 3). Uma possível explicação para isto está na própria característica destas pessoas, que têm menos facilidade para descamufalar formas em meio a um fundo mais complexo. As formas acromáticas mostraram-se mais difíceis de discriminar principalmente pela falta de diferenças em luminância. No entanto, esta dificuldade não compromete o desempenho dos independentes do meio pois estas pessoas, mais analíticas, têm grande capacidade de descamufagem. Por outro lado, pessoas dependentes do meio, mais holísticas, que não têm esta vantagem, precisam de mais informação, de redundância, para descamufalar o alvo que não é tão saliente. Quando cor é adicionada ao alvo, ele fica tão discriminável que não há necessidade de descamufagem: o alvo salta da tela. O fator facilitante para detecção da informação cromática foi a luminância mais do que o matiz. Apesar das evidências e dos estudos em física e psicofísica atentarem para que a luminância do estímulo é o fator fundamental na percepção de sinais luz, este atributo não é relevado nas recomendações para o *design* de *displays* e vem sendo desconsiderado pelos *designers* de telas.

sexo

O mesmo estudo identificou uma influência do sexo pois os homens tiveram um desempenho melhor na detecção de sinais cromáticos (Figura 4). Este resultado está de acordo com pesquisas quanto a diferenças cognitivas em função de diferenças hormonais (Kimura,

1992). Em experimentos de laboratório, as mulheres mostraram melhor desempenho em testes de identificação de formas, localização de objetos, fluência verbal, tarefas manuais de precisão e de cálculo matemático. Os homens mostraram melhor rendimento em percepção espacial, em direcionamento a um alvo, em descamuflagem e raciocínio matemático. Tendo em vista a proliferação de interfaces computadorizadas é importante que se atente para as questões físicas e subjetivas que tornam a detecção um processo misto, isto é, tanto *bottom-up* quanto *top-down*.

Figura 3 Tempo de reação (em segundos) para detecção de sinais cromáticos e acromáticos em função do estilo cognitivo

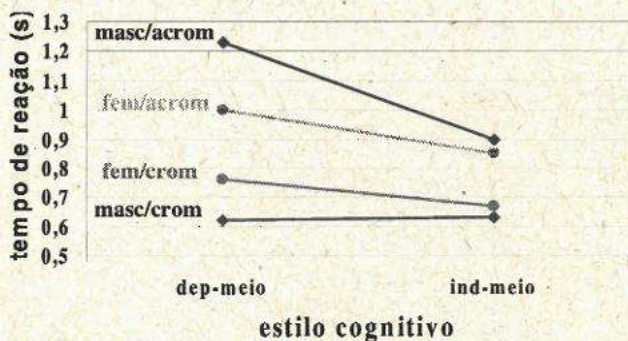
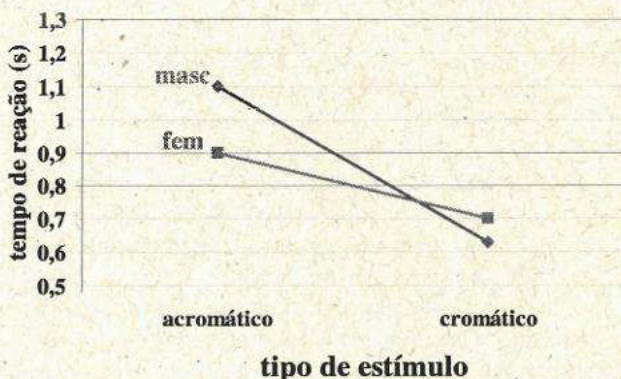


Figura 4 Tempo de reação a sinais cromáticos e acromáticos em função do gênero



Uma questão importantíssima é entender como os operadores interagem com a interface e processam a informação em situações que se assemelhem àquelas da vida real já que a utilização de microcomputadores para controle de sistemas é cada vez maior. Às vezes, um único operador é responsável pelo controle de tráfego de trens ou metrô de toda uma região, da operação de uma usina de energia, do sistema de abastecimento de água de uma cidade etc. O operador não observa e nem age diretamente no processo. Sua tarefa é supervisionar e controlar o sistema, à distância, na sala de controle que agrega as informa-

ções sobre o estado do sistema. O uso de sistemas computadorizados tem aplicação em outras situações de trabalho que envolvem um número muito maior de pessoas. É o caso das indústrias, de diversos setores, que hoje em dia empregam um número considerável de trabalhadores operando máquinas e/ou sistemas informatizados. A realização de estudos dentro desta realidade gerará novos subsídios que serão fundamentais para o *design* de interfaces.

ESTUDO DE INTERFACES COMPLEXAS: O CASO DO CONTROLE DE REFINARIA

¹ BIBBY, K.S.;
MARAUTIES,
F.; RIJNSDORP,
J. E.;
WITHERS, R.
M. J. (1975)
*Man's role in
control systems.*
IFAC Congress,
Boston.

As modernas instalações industriais são geralmente caracterizadas por milhões de instrumentos e indicadores fornecendo informação potencialmente importante, enquanto alarmes visuais e sonoros disputam a atenção dos operadores. Nos casos mais extremos, as indústrias altamente automatizadas têm sido caracterizadas como 99% monotonia e 1% horror (Bibby *et al.*, 1975¹ *apud* Rasmussen e Lind, 1981). Em uma situação de rotina (99% das situações de trabalho), se a interface for adequada, o sujeito não tem maiores problemas em dialogar com o sistema. No entanto, em uma situação de crise (1% das situações), uma pessoa só é capaz de lidar com um número muito limitado de fontes de informação e as necessárias naquele momento têm que estar imediatamente disponíveis para que o operador possa tomar a decisão correta para sanar o problema e evitar acidentes. Deve ficar claro que não é o número de parâmetros a controlar que constitui a dificuldade, mas a variabilidade do processo e os incidentes que se produzem.

As discussões sobre os problemas que a alta tecnologia e complexidade de sistemas tem gerado para o controle informatizado leva geralmente a duas conclusões:

- 1) os operadores precisam de treinamento mais efetivo;
- 2) a tecnologia moderna deve ser usada para aprimorar os *displays*.

Agradecimentos
ao Programa
RHAE-CNPq,
ao INT, à
CIENTEC, à
PETROBRÁS/
REFAP e à
ALTUS que
viabilizaram a
realização da
pesquisa

A primeira alternativa é de fazer com que o operador tenha uma imagem mental correta através de treinamento, quer por educação formal, instrução, manuais, livros, procedimentos etc. O treinamento deve inclusive repor toda interpretação errônea que a pessoa possa ter de um sistema. É uma saída *top-down* já que parte da estruturação de conceito e daí então para os detalhes do que ocorre na interface. Em situações extremamente complexas, muito provavelmente o operador não poderá aprender apenas por indução e irá necessitar também de instrução, mesmo que a interface com que trabalhe seja bastante adequada. Na maioria dos casos, uma mistura de treinamento e aprimoramento de *display* será necessária. No entanto, este capítulo irá se deter apenas nas questões relativas à segunda alternativa, isto é, ao *design* de interface.

Questões de representação que importam ao design de interfaces

A questão do *design* de *displays* não se baseia apenas na legibilidade de sinais e na *gestalt*. Estes fatores são importantes, sim, mas é a representação do funcionamento do sistema como um todo que vai definir a eficiência da interface. Apesar dos sistemas estarem se tornando mais complexos, não é esta complexidade que gera conflitos para o operador mas, sim, a complexidade da representação deste sistema, já que o diálogo entre sujeito e trabalho se dá com base nesta representação. Conforme enfatizado por Newman (*in* Vicente e Rasmussen, 1988c p.254), as pessoas não se importam de lidar com a complexidade se elas têm algum meio de controlá-la. Se uma pessoa tem como estruturar uma situação complexa de acordo com sua capacidade perceptual e conceitual, a complexidade deixa de ser um entrave para um desempenho eficiente. Uma saída para minimizar o problema é transformar a complexidade de fontes de informação em uma representação menos complexa, ou melhor, condizente com a imagem operativa que o operador tem do sistema. De forma geral, assume-se que a interface tem que munir o operador com a informação necessária e compatível com a imagem mental que ele tem do processo sob seu controle, de tal forma que ele tenha o suporte necessário para tomada de decisão, principalmente em situação de emergência. O desenvolvimento de uma interface adequada é uma saída *bottom-up* de induzir um modelo mental correto, já que se propõe a construir um conceito a partir de elementos representativos.

Conforme já mencionado no *Capítulo 5* deste volume, existem maneiras diferentes de interpretar uma mesma informação em uma interface de acordo com o tipo de tarefa demandada e da experiência do operador. Dentro da estrutura de controle cognitivo proposta por Rasmussen (1983) (veja *Capítulo 5* deste volume), os níveis mais baixos se dão no nível perceptual, exigindo menos do operador e resultando em ações mais eficientes. Em decorrência, as pessoas tendem a preferir se apoiar nestes níveis, sugerindo que a informação em um *display* deve ser apresentada em uma forma que os operadores possam atuar efetivamente, processando a informação nestes níveis. Desta forma, a informação deve ser apresentada em termos de sinal para induzir o processamento no nível da aptidão (SBB), e os padrões perceptuais devem ser sempre familiares para serem interpretados no nível de regras (RBB). No entanto, o controle cognitivo não depende apenas de como a informação é apresentada, mas também das exigências da tarefa e da habilidade do operador em poder resolver problemas com base em níveis mais baixos de controle cognitivo. Além disso, tarefas mais complexas vão sempre exigir a interação entre os três níveis, já que situações inusitadas requerem processamento no nível do conhecimento (KBB) e não é possível se prever todas as situações possíveis em sistemas mais complexos. Em situações não

rotineiras, cada anormalidade é geralmente uma situação única que apresentará um problema diferente para o operador. Fica muito difícil para o *designer* prever ou antecipar decisões que suportem todos os problemas que o operador venha enfrentar. Para que KBB seja ativado, o *display* deve mostrar a estrutura das relações entre as informações que importam ao sistema. Uma interface eficiente é, então, aquela que não força o operador a atuar em um nível de controle cognitivo mais elevado do que a tarefa demanda, mas ao mesmo tempo garante que, da forma que a informação está apresentada, ela é passível de processamento pelos três níveis.

Pode-se concluir, então, que, para suprir as necessidades de um usuário, uma interface deve ser desenvolvida com base em informação representada nestes três níveis. O nível mais baixo é suprido ao se permitir que o operador aja diretamente no *display* para que a interação se dê por meio de sinais nas dimensões de tempo e espaço. Já que o operador não pode observar ou atuar diretamente no processo, a percepção e interação direta com os sinais sendo emitidos, que é a forma de interação no nível SBB, só pode se dar por meio da manipulação dos elementos representados na interface, com base na utilização de comandos mais diretos como *mouse* ou *touch screen* em detrimento de comandos indiretos via teclado. O nível RBB é atingido quando a interface apresenta uma relação 1:1 entre os acontecimentos que ocorrem no processo e os estímulos ou sinais que a interface emite. Estes sinais são usados pelo operador para decidir sobre as alternativas e tomar uma ação apropriada. Ao fazer isto, está-se relacionando a representação mais simbólica do estado do sistema concretamente para a interface de forma que o operador pode operar eficientemente em RBB sem ter que recorrer ao nível mais alto de KBB. No entanto, como os símbolos estão representados como signos na interface é possível recorrer a KBB quando necessário. KBB é ainda mais reforçado porque as estruturas de relação entre os elementos estão mostradas de forma hierárquica para funcionar como modelo mental externalizado. Uma interface deste tipo (às vezes denominada ecológica) revela a problemática do sistema como um todo de forma que o operador não precisa ele mesmo montar um quadro da rede de causas de problemas e consequências. A problemática é apresentada de modo perceptualmente saliente, tornando a hierarquia de abstração evidente para o operador.

Esta hierarquia de abstração pode ser descrita em cinco níveis, ou cinco perspectivas diferentes de conceito, que vão da forma mais física do sistema (quais são os componentes, onde estão, como são), passando pela função física (características dos componentes e as conexões entre eles), pela função geral (as funções básicas que o

sistema deve exercer), pela função abstrata do processo em termos de fluxo, energia etc. (estrutura causal do sistema) até um nível mais elevado sobre a operação do sistema (quais as metas do sistema, sob que condições ele opera para atingir estas metas). Dentro desta hierarquia, as causas para funcionamento impróprio de elementos do sistema são explicadas *bottom-up*. No entanto, as razões para o mau funcionamento são derivadas *top-down*.

interface tradicional X ecológica

As interfaces convencionais diferem das ecológicas porque não representam o processo como um todo e portanto não existe uma relação consistente entre os estímulos físicos apresentados e as propriedades importantes que governam o comportamento do sistema. O controle, então, se dá com base na informação física de superfície. Para os defensores da interface ecológica (Rasmussen e Vicente, 1987; Vicente e Rasmussen, 1988a, 1988b), o problema com as interfaces convencionais é justamente que elas não fornecem ao operador os princípios físicos básicos, o “conhecimento profundo”, isto é, uma base consistente, e nem mesmo uma apresentação apropriada da informação para o operador fazer uma análise adequada da situação. Controlando o sistema com base apenas nas propriedades físicas, concretas, superficiais dos elementos apresentados, os sujeitos tendem a não considerar as propriedades funcionais, abstratas, do processo. Isto leva a erros porque os operadores tendem a esquecer e, portanto, a desconsiderar, as propriedades do sistema que não estão representadas: “Fora da vista, fora da mente”.

transparência da interface

A interface é o elo de ligação entre o estado do sistema sob supervisão e a imagem mental que o supervisor tem deste sistema e é considerada adequada quando torna as propriedades do sistema visíveis para o operador. Rasmussen e Vicente (1987) e Vicente e Rasmussen (1988b), entre outros, propõem que uma interface é melhor quanto melhor é sua correspondência com a realidade ou seja, a melhor interface é aquela mais transparente. A interface será transparente no sentido que o operador poderá concentrar-se no mundo, isto é, ter a sensação de que está interagindo com o real ao invés de um intermediário eletrônico. Transparência é obtida quando o teor semântico do sistema (as variáveis críticas, o relacionamento entre variáveis, os objetivos, os problemas etc.) é transferido de tal forma pela interface que torna fácil para o operador extrair a informação e decodificá-la. Em sendo transparente, pode-se assumir, então, que a imagem operativa que o operador desenvolverá será compatível com a realidade e não uma imagem distorcida. Se o operador conseguir aprender sobre o sistema com a interface, então as distorções deixarão de existir.

Desta forma, a avaliação do grau de transparência pode ser utilizada como medida de qualificação de uma interface. O objetivo é descobrir o que o *display* deve representar sobre o sistema, e de que forma, para que fique transparente para todos os operadores. Para tanto, a análise de interfaces vai esbarrar na relação entre três conceitos:

- a) semântica da representação, isto é, as propriedades do mundo e os *goals* que foram definidos pelo *designer*;
- b) imagem mental do operador;
- c) grafismo da interface, que deve mostrar as situações desta representação, de tal forma que o operador desenvolva uma imagem mental verídica do que está acontecendo.

pesquisa de campo

A fim de investigar quão próximo do usuário uma interface definida com base nos pressupostos de um *designer* pode chegar, foi feito um levantamento de campo sobre o trabalho de diversos operadores com um sistema selecionado para se fazer um paralelo entre o que estes operadores pensam que o sistema representa e o que o *designer* de *software* quis representar. Como, em tese, tanto um quanto o outro não têm o domínio do funcionamento do sistema que um *expert* (engenheiro, por exemplo) tem, a análise da imagem operativa dos operadores e dos *designers* comparada com a imagem operativa dos *experts* deverá mostrar o ponto ou pontos de discrepância entre imagens. Esta discrepância significa a diferença entre o que a interface deveria representar, como foi representada, e como está sendo interpretada, e justamente é o que pode comprometer o desempenho do operador. É o ruído provocado pela interface.

Uma das etapas mais importantes da pesquisa foi analisar as representações mentais de todas as pessoas envolvidas com um sistema supervisor, isto é, o *designer* de interfaces, o operador e o *expert*. Estes três personagens foram entrevistados e feita análise das representações que eles têm de um determinado sistema, o sistema de uma torre de resfriamento de uma refinaria de petróleo em níveis geral, de funcionamento e de controle.

sujeitos

Foram entrevistadas 33 pessoas (32 homens, 1 mulher; idade média 36.84 anos variando entre 23 e 64 anos; nível de escolaridade variando entre 2º grau completo até superior com mestrado) sendo que:

Doze destes sujeitos (11 homens e 1 mulher, idade média 33,3 variando entre 27 e 46 anos, nível de escolaridade variando de 2º grau completo a superior completo, sendo que as formações são em áreas como

direito, biologia, engenharia) são operadores do Setor de Utilidades (SETUT) da PETROBRÁS-REFAP, em Canoas, no Rio Grande do Sul, e têm experiência de operação com o sistema da torre de resfriamento. Eles foram classificados como operadores (OP).

Cinco sujeitos (5 homens, idade média 44,8 variando entre 30 e 64 anos e nível de escolaridade variando de 2º grau completo a superior completo) são especialistas internos, isto é, engenheiros da REFAP ou técnico com larga experiência (34 anos) com o sistema da torre de resfriamento. Foram classificados como *expert* interno (EI).

Cinco sujeitos (5 homens, idade média 60,2 variando entre 42 e 62 anos e nível de escolaridade variando de superior completo a mestrado completo) são engenheiros externos, isto é, sem qualquer envolvimento direto com a Petrobrás, sendo 3 técnicos da CIENTEC e 2 professores universitários da UFRGS, PUCRS). Todos têm experiência com sistemas termo-hidráulicos. Eles foram classificados como *expert* externo (EE).

Sete sujeitos desta pesquisa são *designers* na REFAP. Cinco deles (5 homens, idade média 29,2 variando entre 27 e 35 anos e nível de escolaridade variando de 2º grau completo a superior incompleto) estão desenvolvendo supervisórios para o novo sistema de caldeira e para o sistema de estocagem a serem implantados. Eles foram tirados das atividades de operação por terem conhecimento destas áreas e estão agora no Setor de Automação (SEAUT) aprendendo informática para desenvolver os supervisórios. Estes cinco sujeitos foram classificados como *designer/operador* (DO). Os outros dois sujeitos (2 homens, idade média 37,0 variando entre 33 e 41 anos e nível de escolaridade equivalente a 2º grau técnico e superior de engenharia completo) eram operadores que desenvolveram o sistema de supervisão e controle da torre de resfriamento de água da REFAP, adquiriram um bom conhecimento sobre operação e desenvolvimento de supervisórios e hoje instruem os outros *designers* da refinaria. Estes dois sujeitos foram denominados *designer/operador/expert* (DOE). Quatro sujeitos (4 homens, idade média 26,2 variando entre 23 e 31 anos e com nível superior incompleto a completo) são *designers* da Altus, empresa que desenvolve sistemas de supervisão e controle. Têm no mínimo 3 anos de experiência com sistemas informatizados e no mínimo 1 ano com supervisórios. Foram classificados como *designer* da Altus (DA).

Levantamento de dados

Após assinar um Termo de Consentimento em participar da pesquisa, os sujeitos foram indagados sobre seu nome completo, idade, nível de escolaridade, tipo e tempo de experiência profissional, com ênfase na

experiência com sistemas de supervisão e controle informatizado. As informações relativas a cada sujeito eram anotadas no diário da pesquisa, onde cada sujeito também era identificado por um número, e anotava-se o sexo e o resultado do teste de estilo cognitivo de cada um.

Algumas pesquisas têm mostrado que o estilo cognitivo de uma pessoa pode ter influência na percepção do ambiente, o que remete diretamente para o estudo da interação entre o ser humano e uma dada interface. O estilo cognitivo de um indivíduo se revela na maneira dele se relacionar com o mundo ao redor sendo uma característica estável da personalidade. Tendo-se em mente a importância que o estilo cognitivo pode ter em IHC, foi considerado pertinente levantar o estilo cognitivo dos sujeitos envolvidos na pesquisa. Para tanto, foi feita a tradução do teste de avaliação de estilo cognitivo GEFT (*Group Embedded Figures Test*) proposto por Witkin *et al.* (1971). Os sujeitos foram informados que o teste é importante para a pesquisa por ser diretamente relacionado à percepção visual de formas, e portanto, pertinente a uma pesquisa que trata de representação semântica e gráfica. Foi esclarecido que é um teste rápido (durando um máximo de 12 minutos), tipo “papel e lápis”, que não avalia coeficiente de inteligência ou quaisquer outras características psicológicas que não a articulação com o meio. Antes de iniciar a entrevista, os sujeitos foram indagados quanto à possibilidade de fazerem o teste, para o qual deviam preencher um consentimento. Apenas dois sujeitos (os dois mais velhos) entre os 33 participantes da pesquisa recusaram-se a fazer o teste.

A técnica do
desenho
comentado
ou desenhar
alto

Em seguida, os sujeitos foram solicitados a fazer um “desenho comentado” do funcionamento e do controle do sistema em questão, conforme descrito a seguir. Os dados levantados e os desenhos comentados foram a base para investigação da imagem mental que estes sujeitos têm do sistema, em níveis geral, de funcionamento e de controle.

Os sujeitos foram solicitados a responder às perguntas sobre: a) funcionamento e b) controle do sistema, desenhando este sistema, enquanto era filmado em VT. Foi solicitado ao sujeito que em a) ele desenhasse (esboçasse) um esquema, tipo diagrama de funcionamento e explicasse o funcionamento do processo e em b) fizesse um desenho comentando como se dá o controle do sistema em questão, isto é, verbalizasse seu raciocínio enquanto desenhasse (esboçasse) como achava que deveria ser representado o sistema, para que ele pudesse ser controlado. Foi deixado claro que a beleza, a correção etc., dos desenhos não seriam levados em conta, pois o experimento é científico, e não um concurso. Foi fornecido papel, lápis e borracha para o sujeito se expressar. Inicialmente, pensou-se em fornecer canetas coloridas, mas decidiu-se que o desenho seria monocromático para não introduzir

um elemento perturbador (como troca de canetas, ou se sentir na obrigação de colorir o desenho etc.). No entanto, um entrevistado reclamou da falta de canetas coloridas alegando que poderia se expressar melhor com o uso delas. Alguns sujeitos comentaram sobre as cores a serem usadas. Na parte posterior de cada desenho, para garantir que não houvesse confusão de desenhos, foi feito o registro do número, nome e classificação de cada sujeito.

A entrevista calçou-se em quatro perguntas básicas na ordem conforme a seguir, porque assumiu-se que elas deviam ser feitas em ordem crescente de dificuldade, e que os *experts* seriam capazes de esboçar o funcionamento de um sistema mas, nem sempre seriam capazes de esboçar o controle de um sistema (como de fato ocorreu). Este método adotado tem o problema de padronização das questões, o que tira a criatividade. No entanto, incrementa a objetividade da entrevista e permite a comparatividade dos dados levantados. As perguntas foram:

a) no nível de funcionamento:

Como funciona o sistema de resfriamento de água? Por favor, desenhe como é o funcionamento deste sistema e vá verbalizando o que você está desenhando.

b) no nível de controle:

Como tal sistema deve ser controlado? Por favor, desenhe como deve ser feito o controle deste sistema e vá verbalizando o que você está desenhando.

Quais são os pontos prioritários para controle de tal sistema?

A interface deve lembrar a área?

No caso da Altus, é importante frisar que a pergunta sobre o controle foi feita dentro de um cenário diferente. A postura da entrevistadora foi a de “cliente” já que os *designers* não sabiam como um sistema de resfriamento funcionava e não conheciam a REFAP. Desta forma, após a definição do sistema, e ficando patente que ela não era de nenhuma valia para os *designers*, a entrevistadora fez uma descrição do sistema, da mesma forma que seria feita por clientes “reais” da Altus. Além disso, foi explicado que o sistema era composto de uma torre, ventiladores e bombas, nos moldes do sistema desenvolvido pela Altus para a Cosigua (Companhia Siderurgica da Guanabara). Com base na descrição, os *designers* puderam dar seus depoimentos quanto à forma que dariam ao supervisor.

A gravação da entrevista e desenho comentado foi feita com uma câmera de vídeo focalizando, com zoom, o desenho que está sendo

traçado e simultaneamente o comportamento do sujeito já que um espelho fica posicionado à esquerda do sujeito (se destro) ou à direita (se canhoto) em um ângulo (aproximadamente 30°) que permite sua focalização. A utilização de apenas uma câmera de vídeo e um espelho facilitou a documentação e posterior análise das fitas pois eliminou o problema de sincronização de câmeras e vídeos. Isto ocorreria se tivessem sido utilizadas duas câmeras para gravação, uma para o desenho e outra para o sujeito, mas o problema seria ainda maior na fase de análise dos dados levantados que exigiria a sincronização de dois vídeos de reprodução.

O método demonstrou-se eficaz pois permitiu analisar a ordem em que cada elemento do sistema de resfriamento era desenhado, e a ênfase dada a cada um. A questão do viés que vai existir em cada reprodução em desenho de uma imagem mental não é questionável já que nenhuma imagem mental é objetivável sem viés. A única referência na literatura sobre a aplicação de um método semelhante foi feita por Sperandio (1981) sobre um trabalho não publicado realizado em 1968 por C. Enard. O autor registrou, em filme, imagem por imagem, à medida que iam sendo construídos, os desenhos efetuados por controladores de voo sobre a carta de voo "como ela era na cabeça de cada um".

Procedimentos de análise dos desenhos comentados e das fitas de documentação

Para que a análise a partir da gravação fosse correta e baseada nos dados realmente essenciais (e não super detalhada), foram definidas as ações relevantes à tarefa (por exemplo, movimentos gerados pelo processo de execução da tarefa, tais como direção do olhar; ênfase em detalhes dos desenhos etc.) e as ações relativas à tarefa (por exemplo, ações não essenciais à execução da tarefa mas que ocorrem, tais como tensão e ansiedade, mudança de postura por fadiga, expressão de concentração etc.) que serão analisadas.

O método utilizado para avaliação das fitas e dos desenhos foi: todos os desenhos foram identificados com o número do sujeito (correspondente à ordem da entrevista) na parte frontal do desenho, e, na parte posterior do desenho, nome e classificação isto é, se *expert* interno (EI), *expert* externo (EE), operador (OP), *designer*/operador (DO), *designer*/operador/*expert* (DOE) ou *designer* da Altus (DA). Para cada sujeito, os desenhos foram ordenados, utilizando-se os vídeos, e identificados de acordo com a pergunta a que se referia, isto é, se era resposta à pergunta quanto ao funcionamento do sistema ou ao controle do sistema. Quando o sujeito usou o desenho de funcionamento como base para o desenho de controle, o desenho de funcionamento foi refeito, em papel manteiga, traçando-se apenas o que foi desenhado quando indagado sobre o funcionamento.

Com base nas fitas de vídeo, foram feitos relatórios sobre o depoimento de cada sujeito, onde eram anotados todos os marcos importantes que cada sujeito enfatizava durante os desenhos comentados de funcionamento e controle. Houve duas fases de elaboração de relatórios: uma primeira análise se ateu às questões objetivas, isto é, equipamentos existentes, sequência de operação, pontos prioritários (na ordem enunciada) para controle do sistema em questão. Uma segunda análise se ateu às questões mais subjetivas, isto é, aos comentários pertinentes que não diziam respeito diretamente ao desenho, mas que eram importantes para a pesquisa tais como: “desenho de funcionamento é o mesmo de controle”, “não precisa ter representação de nada num supervísório, só a informação do *status* de um elemento importante”, “só o operador sabe do processo” ou “o operador não entende nada” etc. Todas as fitas foram analisadas, nos dois níveis, por pelo menos dois integrantes da equipe, separadamente. O relatório final das fitas é o resultado da análise destas pessoas.

Os dados do desenho comentado serviram para avaliar se havia ou não diferenças entre as opiniões dos sujeitos envolvidos (*experts*, *designers* e operadores) quanto ao que deveria compor o supervísório. As informações quanto aos equipamentos, componentes e configuração geral das telas, conforme foram desenhadas e mencionadas pelos sujeitos, foram analisadas detalhadamente, tendo-se computado as vezes em que cada elemento gráfico e/ou verbal foi referenciado. Para tanto, foram extraídos dos desenhos e dos depoimentos gravados, as variáveis e/ou elementos ressaltados por todos os sujeitos que, ao todo, resultaram em quinze. Em uma tabela, em cada célula, os elementos ressaltados, sujeito por sujeito, foram marcados com 1, e os não ressaltados, marcados com -1.

Análise dos Resultados

Para avaliar a hipótese de que os grupos diferem com relação ao que deve formar um supervísório, os dados foram analisados estatisticamente. A análise discriminante foi aplicada para identificar se as 15 variáveis permitiam discriminar os sujeitos em grupos de acordo com os cinco tipos de sujeito (OP, EI, EE, DOE, DO). Estes cinco grupos compreendem todas as pessoas com conhecimento da torre de resfriamento e que, portanto, puderam comentar sobre as características de um supervísório eficiente. Dois sujeitos, *designers*/operadores (DO) da Petrobrás, sem conhecimento da torre em questão, assim como o grupo de *designers* da Altus (DA), que não têm conhecimento sobre o sistema, não foram incluídos na análise. É importante notar que, apesar dos DA não terem podido contribuir para a geração de um supervísório específico destes *designers*, a opinião deles foi funda-

mental para se conhecer como se dá o desenvolvimento de supervisórios por empresas especializadas.

A análise discriminante gera funções que descrevem as direções (ortogonais entre si) nas quais são melhor evidenciadas as diferenças entre os tipos de sujeito. O procedimento filtra as questões que melhor discriminam entre os grupos buscando funções que agrupem os elementos com mesma opinião (dá maior peso aos grupos que dão mesma resposta). Em outras palavras, a partir das 15 variáveis de entrada, e dos valores atribuídos pelos sujeitos (1(sim) ou -1(não)), o procedimento gera de uma a $f-1$ funções (onde $f = 5$ que é o número de tipos de sujeito) que mapeiam os sujeitos no espaço n -dimensional ($n = 15$).

Cada uma destas funções permite definir qual o peso de cada uma das quinze variáveis na discriminabilidade dos 5 tipos de sujeito. Se houver relação entre os diferentes tipos de sujeito e as 15 variáveis, estas diferenças ficarão evidentes no gráfico cartesiano entre as principais funções discriminantes. A *Figura 5* exibe o plano definido pelas funções principais 1 e 2, responsáveis respectivamente por 82,45% e 9,26% da discriminabilidade entre tipos de sujeito. Ela mostra o comportamento dos 5 grupos (DO, EI, EE, OP, DOE) em relação às duas funções principais.

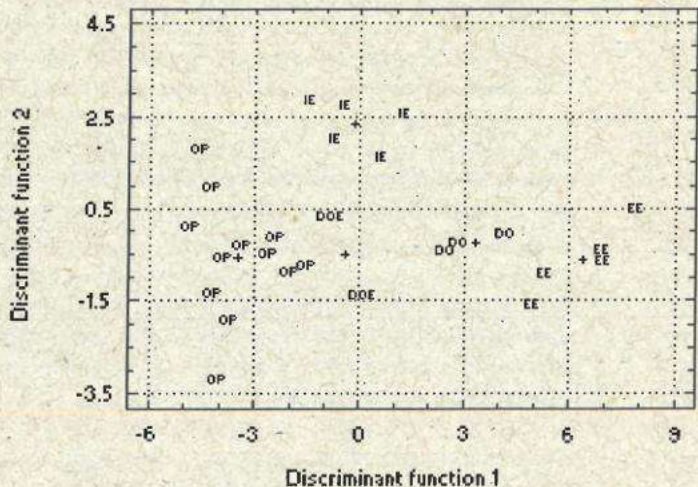


Figura 5 Análise discriminante usando o tipo de sujeito como variável discriminante. Os grupos têm opinião diferente quanto ao que deve figurar no supervisório

Pela *Figura 5*, fica claro que há diferença entre a opinião de operadores (OP); *experts* internos (EI) e *designers*/operadores/*experts* (DOE); *designers* da Petrobrás (DO); e *experts* externos (EE). Mais detalhadamente, percebe-se que, principalmente em relação à função 1, os DOE tendem a se agrupar com os *experts* internos, isto é, têm opinião similar aos EI.

Os resultados são plenamente justificáveis. Para desenvolvimento do supervisório da torre de resfriamento, os DOE tiveram que aprender muito sobre o sistema, passando a se preocupar muito com o *know how* do funcionamento do sistema, e não apenas com o *know that* da operação. Isto é evidenciado pelo depoimento de um dos dois *designers* responsáveis pelo supervisório da torre: Ele considera que as duas pessoas têm conhecimentos diferentes, que o *designer* tem que ir mais a fundo no funcionamento. O conhecimento do operador não é suficiente e ele mesmo, que tinha boa visão de operação, teve que aprender muito para poder desenvolver o supervisório: *“Para desenhar supervisório é necessário conhecer o funcionamento de todos os equipamentos. Conhecer o que o operador precisa para operar. Conhecer o sistema. O conhecimento que o designer adquire é diferente do operador. O designer vai mais ao fundo, sabe o range dos sensores etc.”*

De posse destas informações, foi possível definir os supervisórios a serem comparados em experimentos controlados em laboratório. Os desenhos e comentários do grupo EE resultaram bastante simplificados e não puderam configurar uma interface à parte. Eles apresentavam a base mínima para definição do funcionamento do sistema mas não continham elementos necessários para o controle deste sistema, isto é, para constituírem-se em um supervisório. Também não foi possível gerar supervisórios a partir das opiniões dos DOE e dos DO porque eles não puderam delimitar as informações necessárias para sua configuração. Conforme explicado anteriormente, ou porque tudo lhes parecia importante, como no caso dos DOE, ou porque nada era importante, como no caso dos DO. Desta forma, a análise concentrou-se em dois supervisórios a serem desenvolvidos e submetidos a estudo em laboratório: o supervisório segundo o enfoque dos *experts* internos e o supervisório na concepção dos operadores.

A configuração dos dois supervisórios base pode ser resumida conforme a *Figura 6*. Ela mostra quais das 15 variáveis devem figurar no *display* de acordo com operadores e *experts*. As variáveis assinaladas com (*) são aquelas que mais discriminam entre os grupos, de acordo com o resultado da análise discriminante.

Operadores**Experts**

Temperatura de Entrada *

Temperatura de Saída

Pressão de Saída

Vazão de Entrada *

Vazão de Saída

Vazão de Reposição *

Status da Bomba

Status do Ventilador

Químicos *

Rotoválvula

Controlador

Nível do poço frio

Vazão de Saída

Vent da Bomba *

Corrente da Bomba

Status da Bomba

Status do Ventilador

Figura 6
Elementos
componentes do
supervisório
segundo
operadores e
experts

Com relação à forma dos desenhos, à *gestalt*, outro procedimento estatístico foi utilizado pois o objetivo era agrupá-los de acordo com sua similaridade. Isto pode ser obtido por meio da análise de aglomerados. Este procedimento gera um espaço n -dimensional, onde n é o número de variáveis, no caso, o número de desenhos sob análise. A partir do valor da incidência, isto é, quantidade de vezes que um dado desenho é agrupado com os demais, é distribuído um ponto neste espaço multi-dimensional. A análise de aglomerados calcula as distâncias euclidianas entre todos estes pontos. A partir destas distâncias, é possível agrupar os pontos similares, ou seja, os que estão mais próximos.

A análise de aglomerados foi feita com base em duas matrizes de incidência de relação entre desenhos, obtidas a partir dos resultados dos julgamentos de cada um dos doze juizes sobre os 29 desenhos de funcionamento e os 31 desenhos de controle.

A análise dos dados dos desenhos de funcionamento (*Figura 7*) indica que há propostas distintas de desenho de supervisórios: a versão dos *designers/operadores* (DO) que configuram o grupo 1, a versão dos *experts* da Petrobrás (EI) que configuram o grupo 4, e a versão dos operadores (OP) que configuram o grupo 3. Os *designers/operadores/experts* (DOE), e *experts* externos (EE) tendem a se concentrar com os operadores no grupo 3.

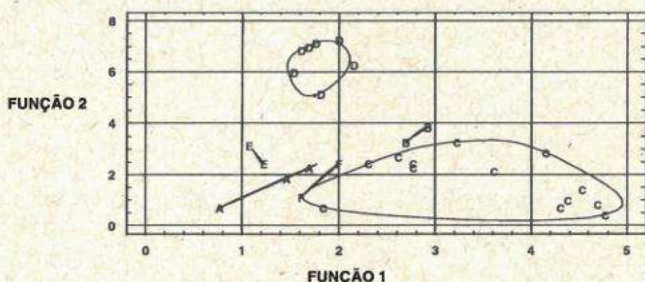


Figura 7 Análise de aglomerados sobre os dados dos desenhos de funcionamento de 29 sujeitos

Com relação aos desenhos de controle, o mesmo não acontece tão claramente. Como pode ser observado, há a versão dos DO (mais concentrados no grupo 1), mas EI, EE e OP tendem a formar um único grande grupo (grupo 3), sendo que os outros sujeitos estão espalhados nos demais grupos. É interessante o fato de não ter ocorrido a formação de grupos mais específicos, apesar dos desenhos terem como base os desenhos de funcionamento. Uma explicação plausível para isto é que os desenhos de controle foram tão "rabiscados", ficaram tão graficamente poluídos que foram descaracterizados, isto é, perderam elementos chaves para reconhecimento, tornando muito difícil a tarefa de agrupamento. Em consequência, os desenhos de funcionamento é que serviram de base gráfica para os supervisórios, juntamente com os depoimentos gravados nos vídeos. Isto porque, conforme já mencionado anteriormente, muitas vezes algum elemento não foi desenhado mas foi enfatizado verbalmente como importante para a interface. As Figuras 8 e 9 são exemplos característicos dos desenhos de funcionamento de operadores e *experts* internos, respectivamente. As Figuras 10 e 11 são exemplos de desenhos de controle característicos dos dois grupos.

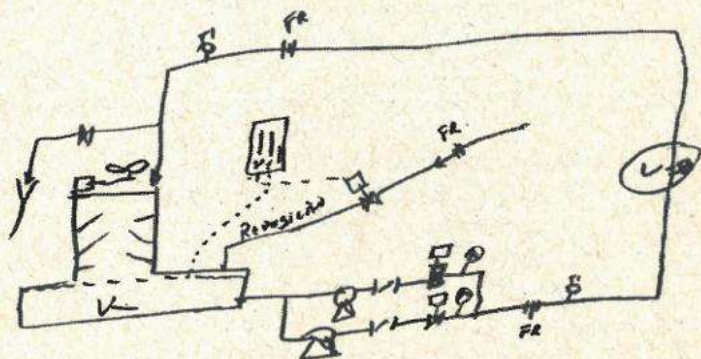


Figura 8 Desenho de funcionamento da torre de resfriamento típico dos operadores

Figura 9 Desenho de funcionamento da torre de resfriamento típico dos experts

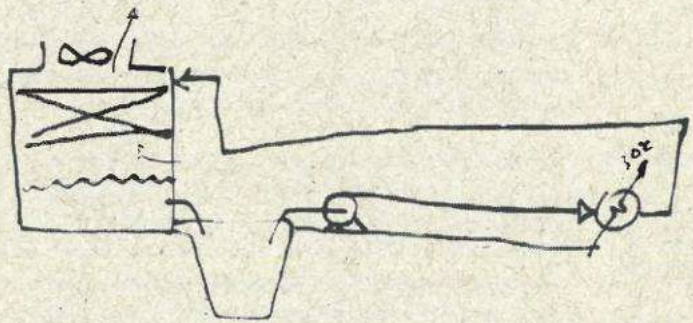


Figura 10 Desenho de controle da torre de resfriamento típico dos operadores

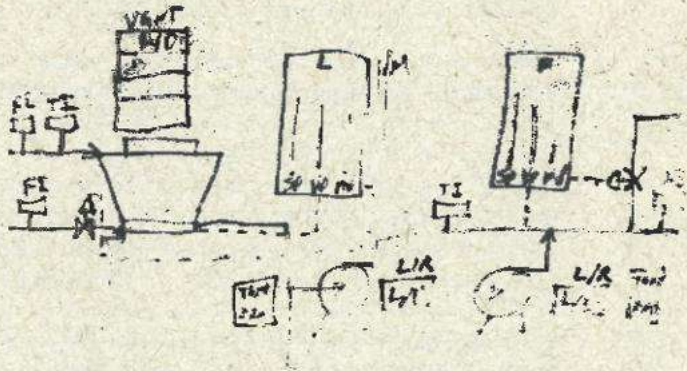
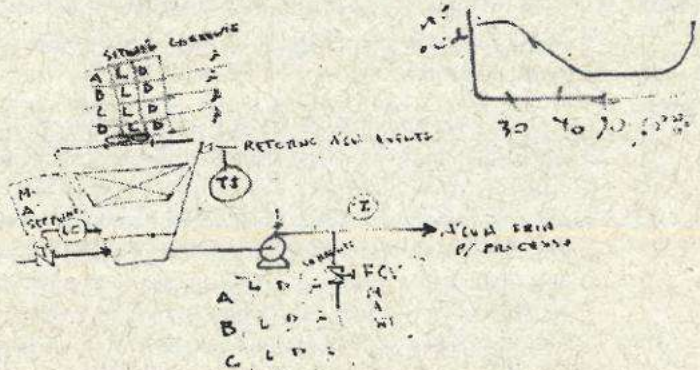


Figura 11 Desenho de controle da torre de resfriamento típico dos experts



Para definição gráfica dos supervisórios propostos por operadores e *experts*, foram observadas a disposição, quantidade e forma de elementos nos desenhos feitos pelos sujeitos dos dois grupos. Nota-se que os *experts* tendem a ser minimalistas: propõem menos elementos e menos variáveis do que os operadores.

Preparação de "supervisórios" para simulação em laboratório

Os desenhos propostos por *experts* e operadores, resultantes da análise do levantamento de campo foram transformados em "supervisórios" simulados para futura avaliação de desempenho durante experimentos controlados em laboratório. Esta avaliação deve considerar a semântica da representação (físico/convenção X funcional/ecológico); a imagem mental do sujeito (proposta dos *experts* X proposta de operadores); e o grafismo da interface (fluxograma convencional X pictórico) e cromaticidade (acromático (Preto/cinza sobre Branco) X cromático (R,G,B,Y sobre branco), além do grau de dificuldade da situação a ser controlada por meio do supervisório (fácil X difícil).

tipo de supervisório (v1): *expert* X operador

Esta variável incorpora as propostas de supervisório segundo *experts* e operadores, que foram definidas durante a fase de levantamento de campo, inclusive, a quantidade e a disposição de elementos que configuram os dois supervisórios seguiram a proposta dos dois tipos de sujeito. Os *experts* propuseram supervisórios com menos variáveis, e priorizaram diferentes pontos para controle. As Figuras 9 e 10 mostram estes dois tipos de supervisório. O controle desta variável é importante porque se ela for significativa, isto é, se houver diferença de resultado de acordo com o tipo de supervisório (os supervisórios são o resultado das propostas dos dois grupos) ficará claro que o desempenho varia em função desta variável, e será possível identificar quem fornece a melhor base para o *design* de interface: o *expert*, o operador ou os dois?

tipo de semântica (v2): físico/convenção X funcional/ecológico)

A semântica da representação diz respeito ao conteúdo da representação, que engloba as propriedades do mundo e os *goals* que foram definidos pelo *designer*, além da estruturação e organização deste conteúdo.

Nas interfaces convencionais, as variáveis apresentadas foram aquelas definidas por *experts* e operadores conforme listadas na Figura 6. As ligações virtuais entre as mesmas, ou seja, aquelas que as pessoas têm que representar mentalmente para poder entender a situação do sistema, não foram mostradas. Nas interfaces ecológicas, no entanto, todas elas foram explicitadas por meio de ligações em traço mm na cor branca. Além disso, algumas variáveis não listadas, mas que existem virtualmente na cabeça do operador quando ele realiza a situação, foram também explicitadas no ecológico: perdas, diferença entre temperatura de entrada e temperatura de saída (Δ temp).

tipo de
grafismo (v3):
fluxograma
convencional X
pictórico

O grafismo da interface diz respeito à forma visual que ela deve ter para mostrar as situações desta representação. A sémântica e o grafismo devem se interrelacionar de tal forma, que o resultado final seja uma interface transparente, que permita ao operador desenvolver uma imagem mental verídica do que está acontecendo.

Os grafismos foram selecionados considerando-se o que está sendo utilizado no momento em vários sistemas, inclusive no sistema da REFAP, e o que está sendo proposto por alguns autores (veja Bennet, 1993) como uma solução melhor para minimizar erros de interpretação. O primeiro tipo foi denominado fluxograma convencional com escala alfanumérica e o segundo, pictórico. Esta variável contrapõe duas opiniões ouvidas no levantamento de campo. De um lado a opinião, da maioria, de que o mais importante é manter o fluxograma principal, sem muitos detalhes; com desenhos simples, pois o fluxograma entra mais rápido na cabeça das pessoas. De outro, a de que uma representação mais realista, é melhor. A fidelidade à área que está sendo monitorada ajuda a pessoa a identificar e localizar os equipamentos e entender as diversas ocorrências.

As interfaces com grafismo convencional apresentam alguns elementos padronizados que foram extraídos da biblioteca do Fix Dmacs 5.0 (i.e., bomba, válvula de reposição e válvula de descarga, controlador) e que têm a mesma forma proposta no manual da REFAP para desenvolvimento de interfaces. Os elementos não disponíveis na biblioteca foram desenhados à semelhança do supervisório da torre de resfriamento da REFAP (por exemplo, torre, formato do controlador).

Apesar do supervisório da REFAP apresentar mostradores analógicos e digitais, este último tipo não foi adotado para nenhuma forma gráfica de mostradores. Foram selecionados apenas mostradores analógicos de escala alfanumérica por serem mais viáveis para o controle do processo em questão. As variáveis sob controle ou monitoramento são todas elas qualitativas, isto é, informam uma tendência ou uma taxa de variação, e é sabido que este tipo de informação é melhor mostrada em escalas fixas com ponteiro móvel. Isto, porque escalas móveis e contadores ou mostradores digitais exigem a leitura individual de números ou dados e são, então, utilizados para transmitir informação quantitativa. Para setagem de valores, que é o caso do controlador, os tipos de mostrador recomendados são o contador ou a escala com ponteiro móvel. Uma escala móvel é mais ambígua com relação ao *setpoint*. Para rastreamento, um ponteiro móvel é preferível, já que mantém a relação mais simples com o controle manual de movimento. Para maiores informações sobre desenho de *displays*, consulte

McCormick, 1976; Helander, 1987, Sanders e McCormick, 1993, entre outros). A melhor adequação dos mostradores analógicos foi ressaltada por alguns operadores entrevistados nesta pesquisa.

O outro tipo de grafismo considerado para avaliação foi o pictórico, que tem sido cada vez mais recomendado para facilitar a interpretação de informação em sistemas complexos. O partido deste tipo de *display* é imitar a forma e as conexões entre os vários elementos da interface, inclusive o dinamismo do sistema. Hollan, Hutchins e Weitzman (1984, 1987) consideram que, principalmente no caso de sistemas dinâmicos complexos, os *displays* pictóricos animados facilitam o desenvolvimento de modelos mentais apropriados porque produzem uma explicação gráfica do sistema. Uma possibilidade de dar a idéia de movimento é usando o movimento aparente. Movimento aparente é a experiência que ocorre quando ao menos dois estímulos, separados espacialmente, são apresentados ao sujeito durante certo tempo. Este recurso foi utilizado para veicular a informação da direção e intensidade de fluxo de água nas tubulações.

Deve ficar claro que, apesar dos supervisórios diferirem em grafismo, a posição dos elementos se mantinham praticamente iguais em todos eles para evitar que a localização fosse uma outra variável no experimento. Por exemplo, apesar do mostrador de temperatura da interface pictórica ter a forma de um termômetro e, na convencional, o mostrador ser um analógico alfanumérico, as posições dos mostradores se equivalem. No entanto, a forma (quadrada), cor (verde para liga e vermelho para desliga), inscrição dos botões (L para liga e D para desliga, conforme utilizado na REFAP e de acordo com o manual da REFAP) e a maneira de acionamento (clicar do *mouse*) foram mantidos constantes através dos supervisórios. Pretendeu-se com isto evitar incompatibilidade de ação quando o sujeito passava de um supervisório para outro. O desenho da torre e do poço frio, à semelhança da REFAP e conforme desenhados por *experts* e operadores, é o mesmo em todas as telas pois não eram elementos chaves na pesquisa (não são monitorados mas servem apenas de suporte).

Em todos os diferentes supervisórios foram inseridos dois sinalizadores de estado crítico, porque nas interfaces com poucas informações, como é o caso das resultantes das propostas dos *experts*, a operação em casos críticos ficava inviável. O primeiro deste sinalizadores aparece quando o nível do poço estiver abaixo de 10% do nível máximo, no caso, 60 m³. O outro sinalizador aparece quando a temperatura de entrada de água na torre estiver a 10% do limite máximo de 60° Celsius, no caso, 54° Celsius. Foi também colocado um marcador de estado crítico para a temperatura da água de saída.

Cada supervisor foi apresentado em uma só tela. Pensou-se em dividi-los em mais de um *display* componente, o que tornaria o experimento ainda mais compatível com a vida real. No entanto, optou-se por avaliar as interfaces em uma única tela para eliminar a questão de navegação. Este fator pode ser um complicador durante a operação com sistemas computadorizados e teria, então, que ser considerado como outra variável a ser controlada no experimento. A preferência pela eliminação de navegação foi ressaltada por alguns sujeitos durante o levantamento de campo.

tipo de
cromaticidade
(v4): Cromático
X Acromático

Para os *displays* cromáticos, foram selecionadas as cores vermelho (192 0 0), verde (0 144 0), azul (77 152 255), púrpura (160 91 255), rosa (191 0 101), laranja (242 128 0), além do branco (255 255 255), cinza (194 194 194) e preto. Foram utilizadas as primárias puras vermelho e verde do sistema RGB, mas não a azul, porque o fósforo azul, puro, a uma carga máxima de 255, não apresentava a luminância de 30 cd/m² desejada. A luminância máxima obtida com o fósforo azul a 255 foi de 9.3 cd/m², a do vermelho 17.7 cd/m², enquanto que o verde do equipamento disponível apresentou uma luminância máxima de 67.2 cd/m². A cor de fundo selecionada foi branco (227 227 227) a 70 cd/m² porque a neutralidade favorece o contraste das cores na tela e a discriminação de cores. Além disso, elimina a possibilidade de interferência devido a combinação cromática. As luminâncias foram sempre medidas em sala em penumbra, estando o botão de brilho do monitor em posição neutra e o botão de contraste na posição de intensidade máxima. Usou-se um luminômetro modelo 1101 da Bruel & Kjaer.

A seleção de cores baseou-se na literatura (Cahill e Carter, 1976) que sugere um máximo de 9 cores para manter a boa discriminabilidade em *displays* com mais de 20 elementos. Para telas menos densas, de 10 a 20 elementos, até 10 cores podem ser usadas sem risco. O código de cores adotado baseou-se no que propõe a literatura e normas estrangeiras. As normas ABNT, quanto à utilização de cores, foram consultadas, mas achou-se apenas poucas referências aplicáveis nesta pesquisa, principalmente aquelas relativas à cor na segurança do trabalho (NBR 7195). O código de cor adotado para dispositivo ligado (verde) e desligado (vermelho) está de acordo com as normas e com o manual da REFAP para desenvolvimento de interfaces. No entanto, é o oposto do utilizado na REFAP.

tipo de situação a ser controlada (v5): fácil (nível 1 e 2) X difícil (nível 3 e 4)

A operação dos sistemas supervisórios foi feita com base em situações simuladas, sendo que os estados apresentados eram semelhantes aos de um sistema real. Para isso, foram estabelecidas relações entre as variáveis de controle e monitoramento, com base em dados constantes em manuais (Alpina, 1992; Burger, 1979; ASHRAE, 1964-66) sobre o sistema de uma torre de resfriamento de fluxo cruzado com tiragem induzida.

As situações (cenários) a serem controladas dependiam do tipo de histórias apresentadas em dois níveis de dificuldade, divididos em dois subníveis, resultando em 4 tipos de ocorrências possíveis:

Situação muito fácil: umidade relativa do ar alta e constante, temperatura de bulbo seco baixa e constante, temperatura de bulbo úmido média e constante, ventilador ligado, bomba desligada.

Procedimento mais correto: desligar ventilador e ligar a bomba em rotação dupla para reduzir a perda d'água e a temperatura da água na torre ativando o sistema.

Situação fácil ou estável: umidade relativa do ar alta e reduzindo, temperatura de bulbo seco baixa e constante, temperatura de bulbo úmido média e reduzindo, ventilador desligado, bomba ligada em dupla rotação.

Procedimento mais correto: manter o sistema como está.

Situação difícil: umidade relativa do ar alta e reduzindo, temperatura de bulbo seco alta e constante, temperatura de bulbo úmido alta e reduzindo, ventilador desligado, bomba desligada.

Procedimento mais correto: ligar bomba e ventilador em dupla rotação para resfriar a água ao máximo.

Situação muito difícil: umidade relativa do ar baixa e constante, temperatura de bulbo seco alta e reduzindo, temperatura de bulbo úmido baixa e reduzindo, ventilador ligado em dupla rotação, bomba ligada em rotação simples.

Procedimento mais correto: desligar o ventilador para reduzir a perda d'água.

Experimento de laboratório

Nesta fase da pesquisa, algumas pessoas selecionadas deverão operar e avaliar as diferentes interfaces, que diferem em função de cinco variáveis sob controle em laboratório, e que configuram os diferentes cenários para ação dos sujeitos. Deve ficar claro que as variações de cená-

rio não dependem da ação dos sujeitos mas, sim, da composição dos níveis das 5 variáveis sob controle (v_1, \dots, v_5) e, também, das condições iniciais das variáveis a serem monitoradas e/ou controladas. Quatro das variáveis sob controle (v_1, \dots, v_4) referem-se ao teor semântico e gráfico da tela e a outra (v_5) refere-se ao tipo de problema introduzido na simulação, isto é, à situação a ser controlada. Pretende-se com isso estabelecer as variáveis mais importantes para o *design* de interfaces, considerando-se que as variáveis que contribuem para melhoria de desempenho são aquelas que tornam a interface melhor para operação, isto é, tornam-na mais transparente para o operador, sob diferentes graus de complexidade que se apresente o sistema.

Os cenários representam, de diferentes maneiras, o fluxograma do sistema de resfriamento de água utilizando uma torre de resfriamento de fluxo cruzado com tiragem induzida, do tipo utilizado na Refinaria Alberto Pasqualini (REFAP) da Petrobrás, em Canoas - RS.

Sujeitos

De imediato, pode-se supor que as pessoas qualificadas para a avaliação de interfaces para supervisão e controle de sistemas em uma refinaria, são justamente aquelas com experiência de operação deste tipo. No entanto, a inclusão de operadores dentro do universo amostral tem um ponto negativo: uma vez que já utilizam uma determinada interface, muito provavelmente já adquiriram vícios de referência que irão interferir nas suas ações. Neste caso, pessoas passíveis de serem sujeitos na pesquisa são pessoas com nível de instrução compatível com o dos operadores do sistema em questão e sem qualquer treinamento específico. Estas pessoas seriam operadores em potencial mas ainda sem "deformações do trabalho". Por não terem treinamento, não deverão ter vícios de monitoramento, ao contrário dos operadores reais. No entanto, estas pessoas precisam ter conhecimento mínimo sobre questões que embasam o funcionamento do sistema em questão. Em termos de conhecimento, podem ser consideradas como novatos.

Outra maneira de se avaliar diferentes interfaces sobre um mesmo sistema é investigando o desempenho de uma pessoa cuja imagem mental é isomórfica com o sistema em supervisão e avaliar qual interface lhe é mais transparente. Considerando que é o *expert* quem detém o conhecimento profundo do funcionamento deste sistema, esta pessoa é um engenheiro químico no caso de uma refinaria, um engenheiro nuclear no caso de uma usina atômica, um engenheiro industrial no caso de uma fábrica. No caso do sistema de torre de resfriamento, pessoas qualificadas para análise das interfaces são especialistas em sistemas de resfriamento, isto é, *experts*.

Os 16 sujeitos, de ambos os sexos, a serem selecionados para o experimento, serão novatos ou *experts* sem qualquer familiaridade ou ligação com o sistema da REFAP mas com algum conhecimento (pouco, no caso de novatos, ou muito, no caso de *experts*) na área de termo-hidráulica, e discriminados segundo sua classificação no teste GEFT (sendo G1 aqueles classificados no 1º quartil e G2 aqueles classificados no 4º quartil) e grau de experiência (sendo E1 os novatos e E2 os experientes).

Design do experimento

O *design* do experimento é do tipo 2^{5-1} em 4 blocos. Nesta pesquisa os 16 sujeitos atuarão em quatro ensaios, vendo um cenário diferente a cada repetição, em uma ordem aleatória para cada sujeito. Assim, pode-se superar o efeito da ordem de apresentação dos supervisórios e, também, a diferença de experiência entre os sujeitos. Apesar do nível de desempenho divergir, a classificação das interfaces quanto ao desempenho dos sujeitos deverá ser a mesma entre os sujeitos. A escala de classificação é ordinal, isto é, relativa, e não absoluta.

O Capítulo 7.1, a seguir, apresenta um estudo sobre o desenvolvimento de um *software* para um Centro de Controle Operacional ferroviário – CCO que seguiu o método tradicional de identificação de requisitos e compara os resultados com as reais necessidades dos usuários. No estudo fica claro que há necessidade de incluir a voz dos usuários na fase de concepção de projetos de *software*, a fim de reduzir os custos de projeto e atender as reais demandas, facilitar a interação humano-computador e tornar o trabalho mais seguro e eficaz.

REFERÊNCIAS

- ALPINA S. A. INDÚSTRIA E COMÉRCIO (1992) *Catálogo de Resfriadores ALPINA/BALCKE*. São Paulo: Alpina.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (1964-66) *ASHRAE guide and databook .1: Fundamentals, Equipment (1965-66)*. New York: ASHRAE.
- BECK, J. (1967) Perceptual grouping produced by line figures. *Perception and Psychophysics*, 2:(11):491-495.
- BENNET, K. B. (1993) Encoding apparent motion in animated mimic displays. *Human Factors*, 35(4):673-691.
- BURGER, R. (1979) *Cooling tower technology; maintenance, upgrading and rebuilding*. Dallas: Burger.
- CAHILL, M.; CARTER, R. Jr. (1976) Color code size for searching displays of different density. *Human Factors*, 18(3):273-280.

CHRIST, R. E. (1975) Review and analysis of colour coding research for visual displays. *Human Factors*, 17(6):542-570.

COLE, B. L.; MACDONALD, W. A. (1988) Defective colour vision can impede information acquisition from redundantly colour-coded video displays. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 8(2):198-210.

GIBSON, J. J. (1950) *The perception of the visual world*. Boston: Houghton-Mifflin.

GREEN, B. F.; ANDERSON, L. K. (1956) Color coding in a visual search task. *Journal of Experimental Psychology*, 51(1):19-24.

GUIMARÃES, L. B. de M. (1992) *The salience of primitive sensory cues and implications for the design of complex dynamic displays*. Tese. Department of Industrial Engineering, University of Toronto, Canada.

HELANDER, M. G. (1987) Design of visual display. In: SALVENDY, G. (Ed.) *Handbook of human factors*. New York: Wiley, pp. 507-548.

HOLLAN; HUTCHINS; WEITZMAN (1984) STEAMER: An Interactive Inspectable Simulation-Based Training System. In: *The AI Magazine*, pp. 15-27. AAAI, Seattle WA, Summer.

HOLLAN, J. D.; HUTCHINS, E. L.; WEITZMAN, L. M. (1987) In: Kearsley, G., (Ed.) *Artificial Intelligence & Instruction: Applications and Methods*. Massachusetts: Addison-Wesley Publ. Comp., Reading, pp. 126-127.

HUBEL, D.H.; WIESEL, T.N. (1962) Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *Journal of Physiology (Lond.)* 160:106-154.

JONIDES, J.; GLEITMAN, H. (1972) A conceptual category effect in visual search: O as letter or as digit. *Perception and Psychophysics*, 12(6):457-460.

KANARICK, A. F.; PETERSEN, R. C. (1971) Redundant color coding and keeping-track performance. *Human Factors*, 13(2):183-188.

KIMURA, D. (1992) Sex differences in the brain. *Scientific American*, September, p.119-125.

LIVINGSTONE, M. S.; HUBEL, D. H. (1987) Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth. *Journal of Neuroscience*, 7(11):3416-3468.

LUDER, C.B.; BARBER, P. (1984) Redundant color coding on airborne CRT displays. *Human Factors*, 26(1):19-32.

MATTHEWS, M. L.; MERTINS, K. (1987) The influence of color on visual search and subjective discomfort using CRT displays. In *Proceedings of the Human Factors Society 31st Annual Meeting* (pp. 1271-1275). Santa Monica, CA: Human Factors Society.

MCCORMICK, E. J. (1976) *Ergonomia*. Mc Graw-Hill.

MEISTER, D; SULLIVAN, D. J. (1969) *Guide to human engineering design for visual displays*. Bunker-Ramo Corporation.

MORGAN, B. B.; ALLUISI, E. A. (1967) Effects of discriminability and irrelevant information on absolute judgements. *Perception and Psychophysics*, 2:54-58.

NAJJAR, L. J.; PATTERSON, M. J.; CORSO, G. M. (1982) Redundancy in coding of a visual display as assessed by a signal detection paradigm. In *Proceedings of the Human Factors Society 26th Annual Meeting* (pp.586-588). Santa Monica, CA: Human Factors Society.

RASMUSSEN, J. (1983) Skills, rules, knowledge: signals, signs, and symbols and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*. SMC - 13: 257-267.

RASMUSSEN, J.; LIND, M. (1981) *Coping with complexity*. Riso-M-2293. Denmark:Riso National Laboratory.

RASMUSSEN, J.; VICENTE, K. J. (1987) *Cognitive control of human activities and errors: implications for ecological interface design*. RISO -M-2660. Denmark: Riso National Laboratories.

RIZY, E. R. (1967) *Dichroic filter specification for color display: II further exploration of tolerance areas and the influence of other display variables* (RADC-TR-67-513,AD659-346). USAF: Rome Air Development Center.

SANDERS, M. S.; MCCORMICK, E. J. (1993) *Human factors in engineering and design*. 2. ed. New York: McGraw-Hill, pp. 641-642.

SHURTLEFF, D. A. (1980) *How to make displays legible?* La Mirada, CA.: Human Interface Design.

SMALL, P. L. (1982) *Factors influencing the legibility of text background color combinations on the IBM 3279 colour display station.* (Report No HF066). Winchester, England: IBM Hursley Park.

SMITH, S. J. (1962) Color coding and visual search. *Journal of Experimental Psychology*, 64(5):434-440.

SPERANDIO, J. C. (1981) Tout traitement de l'information est opératif. In: UNIVERSITÉ DE PARIS 1 *L'image opérative*. Actes d'un séminaire (1-5 juin 1981) et recueil d'articles de D. OCHANINE.

SPERLING, G. (1960) The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs*, 74(498):1-29.

TREISMAN, A.; SYKES, M.; GELADE, G. (1977) Selective attention and stimulus integration. In: DORNIC, S. (Ed.) *Attention and performance* (vol.6 pp.333-361). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

VICENTE, K. J.; RASMUSSEN, J. (1988a) *The cognitive architecture of decision support systems for industrial process control*. Riso-M-2696. Denmark: Riso National Laboratory.

— (1988b) *A theoretical framework for ecological interface design*. Riso-M-2736. Denmark: Riso National Laboratory.

— (1988c) On applying the skills, rules, knowledge framework to interface design. *Proceedings of the Human Factors Society - 32nd Annual Meeting*. p.254-258.

VON WRIGHT, J. M. (1968) Selection in visual immediate memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20:62-68.

WICKENS, C. D. (1984) *Engineering psychology and human performance*. Columbus, OH: Merrill. 513 p.

WITKIN, H. A.; ÖLTMAN, P.; RASKIN, E.; KARP, S. A. (1971) *A manual for the embedded figures tests*. Consulting Psychologists Press, Inc. 577 College Avenue, Palo Alto, CA.

ZEKI, S.; SHIPP, S. (1988) The functional logic of cortical connections. *Nature*, 335(6188):311-317.

7.1

Concepção de Projetos de Software: questões que importam na qualidade em uso

Rosimeire Sedrez Bitencourt & Lia Buarque de Macedo Guimarães

As questões que importam no *design* de uma interface, apresentadas no *Capítulo 7*, são fundamentais para que o sistema desenvolvido satisfaça as necessidades geradas pela interação entre o computador e o homem (usuário) mas elas não garantem que o sistema seja bem sucedido quando colocado em uso no contexto real do trabalho. Questões relacionadas à organização do trabalho podem fazer com que a implantação de qualquer sistema acarrete em, por exemplo, uma sobrecarga mental nos operadores.

Não é possível projetar algo para o ser humano utilizar no seu trabalho, sem levar em consideração os aspectos humanos durante essa atividade e seus diversos planos de interação (Iida, 1990). O fato é que, questões relacionadas à produtividade, segurança, satisfação e eficácia extrapolam as fronteiras de conhecimento da engenharia de *software* o que torna difícil a percepção destas questões por profissionais sem a qualificação necessária (Earthy *et al.*, 2002). Para Hassenzahl *et al.* (2002), a qualidade em uso requer olhar a tecnologia a partir de uma perspectiva humana levando em consideração questões organizacionais e, segundo o autor, historicamente, os responsáveis pelo desenvolvimento de *software* não têm sido capacitados para isso.

Problemas relacionados ao contexto de uso podem ser introduzidos no *software* ao longo de todo o processo de desenvolvimento, contudo, a necessidade de prevenir estes prejuízos é o que justifica investimentos na tentativa de identificar os possíveis problemas o mais cedo quanto possível e preferencialmente ainda na fase de concepção do projeto (Selner, 1999).

Portanto, é uma necessidade real para a qualidade dos projetos de *software*, que a fase de concepção busque pela concordância entre

todas as partes interessadas no projeto, com base em informações geradas por métodos ergonômicos, que permitam a identificação de problemas relacionados ao contexto de uso do *software* a partir das demandas dos usuários.

Este capítulo discute a utilização da voz dos usuários na fase de concepção de projetos de *software* e a identificação de requisitos de maneira precisa e quantitativa. Para tanto, apresenta um estudo de caso com a aplicação do método *Design* Macroergonômico – DM, na fase de concepção do projeto de *software* desenvolvido para um Centro de Controle Operacional ferroviário – CCO. O projeto foi implementado, de forma terceirizada, seguindo o método tradicional de identificação de requisitos (Pressman, 1995) viabilizando o confronto dos resultados ao final do capítulo. O método DM foi proposto Fogliatto e Guimarães (1999) e faz parte do método de Análise Macroergonômica do Trabalho – AMT proposto por Guimarães (1999) e utilizado pelo Núcleo de *Design*, Ergonomia e Segurança – NDES do LOPP/PPGEP/UFRGS (NDE, 2004).

O método DM tem como bases a macroergonomia e a ergonomia participativa. Até o momento, o método DM foi utilizado com sucesso em projetos de postos de trabalho (Guimarães e Belmonte, 1998; Fogliatto e Guimarães, 1999; Krug, 1999), ambientes de trabalho (Van Der Linden, 1999; Ramires, 2000; Tramontin, 2000). No contexto de desenvolvimento de *software*, o DM foi aplicado por Endler (2000) na coleta e análise das demandas e dos índices de satisfação dos usuários e especialistas quanto à qualidade ergonômica de interfaces gráficas, contribuindo para a administração do processo de melhoria contínua no desenvolvimento de sistemas. O DM é apresentado em detalhes no *Capítulo 3.3* do Livro *Desenvolvimento de Produto*, desta Série Monográfica.

Para equalizar o entendimento do estudo de caso, algumas definições preliminares serão apresentadas.

Projetos de software: preocupação com a qualidade

A crescente preocupação com a qualidade dos projetos tem levado as empresas de desenvolvimento de sistemas a buscarem modelos e métodos orientados à qualidade, quer seja nos produtos quer nos serviços ofertados. Isto é justificável, à medida que a necessidade de vantagem competitiva é uma realidade no mercado de *software*. Hoje, e cada vez mais, a demanda por *software* insere-se num contexto onde as organizações buscam por aquele que melhor atende suas expectativas e metas organizacionais (Ouyang *et al.*, 1997; Highsmith III, 1999; Programa..., 2001).

A partir da década de 90, surgiram inúmeros modelos de desenvolvimento de *software* focados na melhoria da sua qualidade. Com a implantação destes modelos, aliada aos investimentos em atualização tecnológica, as empresas de desenvolvimento de *software* buscam maximizar o número de projetos bem sucedidos, objetivando o atendimento a prazo, orçamento e requisitos previstos (Weber *et al.*, 2001). O atendimento a estes objetivos consolidou-se como um dos principais desafios para a comunidade de engenharia de *software*, visto que 72% dos projetos de *software* desenvolvidos não conseguem ter sucesso, segundo pesquisa realizada em 2001 pelo *Standish Group* (Standish Group, 2002).

Apesar de haver um consenso entre os autores quanto à importância do atendimento aos prazos, custos e requisitos especificados para um projeto de *software* (Pressman, 1995; Weber *et al.*, 2001; Machado *et al.*, 2002), é questionável a visão de qualidade sob o foco apenas destes critérios. Para um projeto de *software* ser, de fato, bem sucedido, é necessário a visão do problema sob a perspectiva da organização em que o *software* será inserido (Highsmith III, 1999; ABNT, 2001). Para a organização, é necessário que o *software* se apresente como útil dentro de um contexto de uso real, vindo a contribuir, de forma efetiva, com as necessidades de negócio da comunidade de usuários, gerando maior satisfação, segurança e produtividade (Hiratsuka, 1996; Bevan, 1997; Hassenzahl *et al.*, 2002).

Avaliação da qualidade do software

Os critérios para avaliação da qualidade do *software* quando em uso foram inseridos na última versão da norma ISO/IEC 9126 (2000). Esta norma representa a padronização mundial para a qualidade de produtos de *softwares*, e considera que um produto que atenda aos requisitos não é necessariamente um produto de boa qualidade quando realmente utilizado. Para tanto, inseriu a Parte 4 da norma que define métricas para avaliação dos efeitos do uso do produto de *software* ou da “qualidade em uso”. A definição de qualidade em uso, segundo a ISO, é: “o quanto um produto, utilizado por usuários específicos, atende as necessidades desses usuários para que eles atinjam as metas especificadas com eficácia, produtividade, segurança e satisfação, num contexto de uso definido” (*Figura 1*). A norma aponta como necessário que os requisitos de qualidade sejam estabelecidos de maneira precisa e quantitativa, ao invés da subjetividade que vem sendo utilizada pela comunidade de desenvolvimento de *software* (Bevan, 1997; ISO/IEC 9126, 2000; ABNT, 2001).

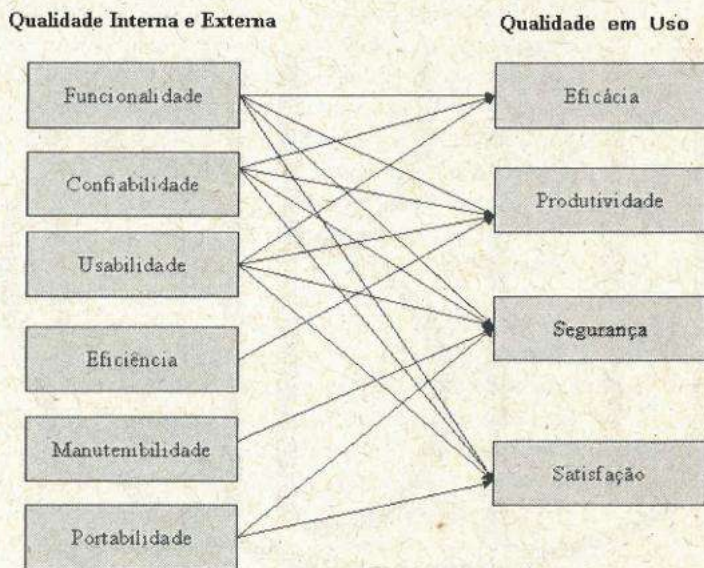


Figura 1
Qualidade Interna
e Externa versus
Qualidade em uso
(ABNT, 2001)

Contudo, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001) comenta sobre a dificuldade dos analistas de sistemas na identificação e priorização dos requisitos relacionados à qualidade em uso desde a fase inicial do projeto de *software*. Segundo Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001), os usuários não conhecem as reais necessidades até que utilizem o *software*, desta forma, a qualidade do produto é conhecida apenas na fase final do desenvolvimento, com o produto já acabado (Figura 2). Assim, os requisitos que devem ser atendidos, pela próxima iteração do *software*, são identificados a partir do *feedback* dos usuários (com o *software* já implantado).

A cada iteração, o *software* deve se apresentar mais adequado ao contexto de uso real, garantindo a evolução da qualidade em uso, entretanto, é necessário que o custo desta evolução seja avaliado (Bevan, 1997).

Processo de desenvolvimento de *software*

Existem vários tipos de processos de desenvolvimento utilizados pela engenharia de *software*. Os mais difundidos são (Pressman, 1995; Booch *et al.*, 2000, Rational, 2002): codifica-e-remenda, cascata, espiral, prototipagem evolutiva, entrega por estágios, entrega evolutiva, dirigido pelo prazo, dirigido por ferramenta, iterativo e incremental, etc.

Cada processo de desenvolvimento apresenta vantagens e desvantagens em relação ao contexto de sua utilização. Nos últimos anos, o processo de desenvolvimento do tipo iterativo e incremental tem apresentado flexibilidade para diversos contextos de utilização e tem sido aplicado como base para novos processos de desenvolvimento (Pressman, 1995; Booch *et al.*, 2000, Rational, 2002).

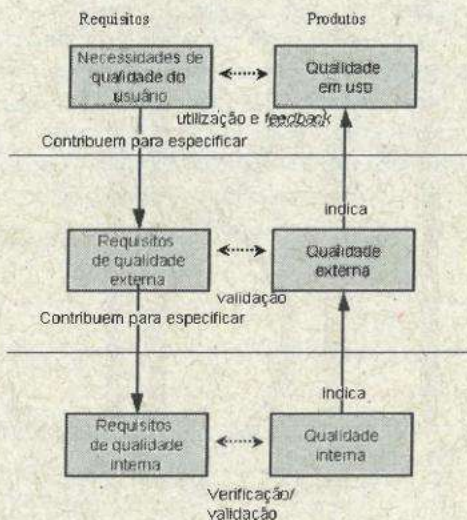


Figura 2
 Qualidade no ciclo de vida do software (ABNT, 2001)

Iterativo e incremental

O processo de desenvolvimento iterativo e incremental difere dos demais pois viabiliza o desenvolvimento do *software* em partes menores iterativamente, em função de revisões periódicas da evolução de suas funcionalidades, o que permite a redução de riscos de desvios de escopo e o aprimoramento da qualidade dos produtos gerados (Booch *et al.*, 2000). Ele é dividido nas fases de concepção, elaboração, construção e transição (Figura 3). Uma fase é o período de tempo entre dois importantes marcos de progresso do processo em que um conjunto bem definido de objetivos é alcançado, artefatos são concluídos e decisões críticas são tomadas em relação à passagem para a fase seguinte (Rational, 2002).

Fase de concepção do projeto de software

A fase de concepção é a primeira etapa do projeto e é responsável por: definir o contexto de uso do negócio, identificando a situação atual (problemas existentes, sistemas existentes, falhas nos processos) e os aspectos relevantes do contexto do negócio no qual o *software* irá

operar (critérios de sucesso, riscos e requisitos); delimitar o escopo do projeto, definindo os limites de atuação do *software*, determinando os objetivos do projeto, identificando as áreas, usuários e sistemas envolvidos, identificando as premissas e restrições impostas ao projeto e ao desenvolvimento e descrevendo uma visão geral do produto a ser desenvolvido sob a ótica dos interessados (Rational, 2002).

Ao final da fase de concepção, o projeto é verificado e analisado de forma crítica pelos envolvidos e somente continua se a concordância entre todas as partes interessadas for estabelecida (Rational, 2002). Esta concordância representa a busca por um equilíbrio entre pessoas, tecnologia e organização no contexto de uso real do *software*. Orientações sobre o contexto de uso do *software* são especificadas pela ISO na norma ISO 9241 (2001) - Requisitos Ergonômicos para Trabalho de Escritório com Computadores (ainda em processo de tradução para o Brasil) e, representam um dos focos de estudo da ergonomia (Cybis *et al.*, 1998; Dittrich e Lindeberg, 2002; Hassenzahl *et al.*, 2002).

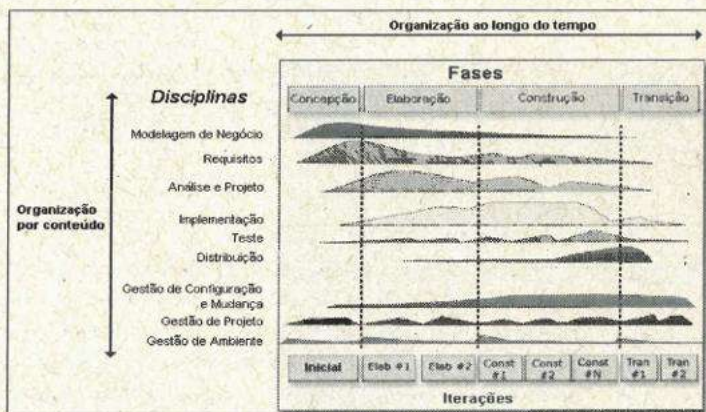


Figura 3 As fases e marcos principais do processo iterativo e incremental (adaptado de Rational, 2002)

Existem diferentes técnicas de identificação de requisitos e, tradicionalmente, esta fase é composta por entrevistas realizadas com os clientes e tem como objetivo produzir uma lista de requisitos para o *software*. Nesta etapa, o analista de sistemas, subjetivamente, elenca os elementos problemáticos para o projeto a partir destas entrevistas (Pressman, 1995; Rational, 2002).

Identificação e priorização dos requisitos - tradicional

Seguindo Pressman (1995), o primeiro passo na identificação de requisitos é conhecer quem são os envolvidos e, com eles, realizar as entrevistas buscando identificar os problemas atuais e as informações

desejadas (entradas e saídas). Este método não define como fundamental a participação dos usuários operacionais nem mesmo sugere visitas ao posto de trabalho onde o *software* será implantado.

A avaliação da importância dos requisitos é realizada de forma subjetiva e, segundo Pressman (1995), os requisitos são enquadrados em uma das três categorias:

- essencial: requisito sem cujo atendimento o *software* é inaceitável;
- desejável: requisito cujo atendimento aumenta o valor do *software*, mas cuja ausência pode ser relevada em caso de necessidade (por exemplo de prazo) e
- opcional: requisito a ser cumprido se houver disponibilidade de prazo e orçamento, depois de atendido os demais requisitos.

O papel da ergonomia no desenvolvimento de softwares

Na última década, métodos de ergonomia aplicáveis ao desenvolvimento de *software* e que buscam um equilíbrio sociotécnico têm sido testados e consolidados, todavia, tais métodos são principalmente focados na avaliação de usabilidade (Cybis *et al.*, 1998; Shneiderman, 1998; Endler, 2000; Prado, 2001; Laboratório de Utilizabilidade, 2003):

- a) constatar, observar e registrar, problemas efetivos de usabilidade durante a interação;
- b) calcular métricas objetivas para eficácia, eficiência e produtividade do usuário na interação com o sistema;
- c) diagnosticar as características do projeto que provavelmente atrapalhem a interação por estarem em desconformidade com padrões implícitos e explícitos de usabilidade;
- d) prever dificuldades de aprendizado na operação do sistema;
- e) prever os tempos de execução de tarefas informatizadas;
- f) conhecer a opinião do usuário em relação ao sistema;
- g) sugerir as ações de re-projeto mais evidentes face os problemas de interação efetivos ou diagnosticados.

Algumas técnicas em HCI

Com base nestes resultados podem ser identificados diferentes tipos de técnicas de avaliação ergonômica. Segundo Cibys (2003), as técnicas de avaliação ergonômica são classificadas em três tipos:

- a) técnicas prospectivas: buscam a opinião do usuário sobre a interação com o sistema;
- b) técnicas preditivas ou diagnósticas: buscam prever os erros de projeto de interfaces sem a participação direta de usuários e;

c) técnicas objetivas ou empíricas: buscam constatar os problemas a partir da observação do usuário interagindo com o sistema.

Técnicas Prospectivas	Este tipo de técnica está baseada na aplicação de questionários/entrevistas com o usuário para avaliar sua satisfação ou insatisfação em relação ao sistema e sua operação. Segundo Cibys (2003), muitas empresas de <i>software</i> elaboram e aplicam regularmente este tipo de questionário, como parte de sua estratégia de qualidade.
Técnicas Preditivas ou Diagnósticas	As técnicas diagnósticas dispensam a participação direta de usuários nas avaliações, que se baseiam em verificações e inspeções de versões intermediárias ou acabadas de <i>software</i> interativo, feitas pelos projetistas ou por especialistas em usabilidade. Elas são classificadas por Cibys (2003) como: Avaliações Analíticas; Avaliações Heurísticas e; Inspeções por <i>Checklists</i> .
Técnicas Objetivas ou empíricas	As técnicas objetivas (ou empíricas), que contam com a participação direta de usuários, se referem basicamente aos ensaios de interação e as sessões com sistemas espíões (Cibys, 2003):
Ensaio de interação	Consiste de uma simulação de uso do sistema da qual participam pessoas representativas de sua população-alvo, tentando fazer tarefas típicas de suas atividades, com uma versão do sistema pretendido. Sua preparação requer um trabalho detalhado de reconhecimento do usuário-alvo e de sua tarefa típica para a composição dos cenários que serão aplicados durante a realização dos testes.
Sistemas de monitoramento (ou sistema espião)	Estes sistemas são ferramentas de <i>software</i> que permanecem residentes na máquina do usuário simultaneamente ao aplicativo em teste. Eles são concebidos de maneira a capturar e registrar todos os aspectos das interações do usuário com seu aplicativo em sua própria realidade de trabalho.
Outras Formas de Avaliação de Interfaces	Algumas outras formas de avaliação de interfaces são: revisão de guidelines; inspeção de consistência; caminhos cognitivos e inspeção formal de usabilidade (Shneiderman, 1998). Na revisão de <i>guidelines</i> , a interface é checada pelo analista com os itens do <i>guideline</i> de desenvolvimento de interfaces. Na inspeção de consistência, são checadas as consistências de terminologias, cores, leiaute, formatos de entradas e saídas, bem como, a consistência de materiais de treinamento e <i>help on-line</i> . Os caminhos cognitivos são utilizados quando todos os possíveis caminhos e tarefas disponíveis na interface são testados, bem como a recuperação de erros. Na inspeção formal de usabilidade,

os méritos e defeitos da interface são discutidos com relação aos itens que caracterizam a usabilidade das interfaces.

LabIUtil

Ampliando um pouco o escopo da análise de usabilidade das técnicas recém apresentadas, para permitir uma análise menos pontual e com enfoque mais ergonômico da interface, está a proposta do LabIUtil, que é o resultado de várias técnicas de análise de usabilidade com a Análise Ergonômica do Trabalho – AET (Laboratório de Utilizabilidade, 2003).

A proposta do LabIUtil é focada, principalmente, na interação entre usuário e o *software* e utiliza-se do método AET para que o processo de desenvolvimento de *software* possa considerar os conhecimentos disponíveis sobre habilidades e capacidades cognitivas humanas e dos aspectos ligados ao trabalho como ele é, efetivamente, realizado (Laboratório de Utilizabilidade, 2003).

NDE/LOPP

Outra proposta é a Análise Macroergonômica do Trabalho – AMT de Guimarães (1999) adotada pelo NDE da UFRGS que é focada, principalmente, na priorização das necessidades, atividades e preocupações do usuário, além da observação do especialista, quanto ao trabalho realizado. Na fase de identificação e priorização de demandas, a AMT engloba o método *Design* Macroergonômico - DM, proposto por Fogliatto e Guimarães (1999), nas fases de apreciação e projeção. O DM utiliza-se de ferramentas para seleção de amostras e coleta de dados, como questionários e entrevistas estruturadas, assim como estratégias para organização das informações obtidas. As opiniões e os desejos manifestados pelos usuários são processados com base em um conjunto de técnicas estatísticas e de tomada de decisão, gerando dados confiáveis para elaboração de parâmetros ergonômicos de projeto. Esses dados são consolidados como características ou itens desejados pelo usuário diante das necessidades de sua tarefa ou de uso do produto em estudo.

A *Figura 1* apresenta as técnicas utilizadas por cada uma destas abordagens (LabIUtil e NDE) e aponta as principais diferenças entre as duas propostas.

As diferenças apontadas pela *Figura 4* mostram que, sob o foco de desenvolvimento de *software*, estas metodologias podem ser complementares. Enquanto a proposta do LabIUtil enfoca a usabilidade sistemas de *software* interativo, o DM é mais fortemente adaptado à fase de concepção de projetos de *software*, onde a identificação do

escopo do *software* é o alvo principal. O fato do DM não ser específico para o desenvolvimento de *software* permite que ele viabilize questões não observadas por outros métodos, como por exemplo: É realmente necessário o desenvolvimento de um *software* no contexto em que a empresa se encontra?; O *software* que deveria ser desenvolvido primeiro não deveria ser outro?; A inserção de um *software* no contexto atual da empresa sem a realização de algumas alterações organizacionais não irá prejudicar os usuários e, conseqüentemente, fazer com que a produtividade da empresa diminua?; O escopo do *software* a ser desenvolvido não deveria ser outro?

	Abordagem ergonômica segundo o LabiUtil	Abordagem ergonômica segundo o Núcleo de Design e Ergonomia da UFRGS
Métodos de levantamento e análise	AET: Emprega um método <i>top down</i> de projeto em que o designer e/ou ergonomista, com base principalmente em seu conhecimento, identifica, estuda um dado problema e recomenda soluções	DM: Tem uma abordagem <i>bottom up</i> , prevendo a participação dos usuários em todas as fases de projeto. O conhecimento gerado no estudo é fruto da interação entre o conhecimento tácito dos usuários do sistema e o conhecimento formal, em ergonomia, dos pesquisadores envolvidos.
Foco do levantamento	Foca nas tarefas executadas pelos usuários.	Foca nas necessidades observadas pelo trabalhador sobre seu trabalho.
Pergunta básica	Exemplo de pergunta feita aos usuários: "Descreva sua tarefa"	Exemplo de pergunta feita aos usuários: "Me fale do seu trabalho"
Definição do escopo de projeto	A partir de informações colhidas sobre o usuário e sobre suas tarefas, considerando os conhecimentos disponíveis sobre habilidades e capacidades cognitivas humanas e dos aspectos ligados ao trabalho como ele é, efetivamente, realizado	Baseada na priorização das necessidades, atividades e preocupações do usuário, além da observação do especialista.
Proposição de soluções	Utiliza-se do detalhamento das tarefas para a projeção ou prototipação das interfaces. Grupo focado p/ Brainstorming sobre Protótipo de Interface com base na tarefa. Discussão da prototipagem feita em função da tarefa.	O DM transforma os sujeitos em agentes de melhoria do produto e/ou sistema, qualifica o a identificar e resolver problemas. Desta forma, se o desenvolvimento do <i>software</i> realmente for a solução proposta para resolver o problema identificado, então um protótipo de interface poderá ser projetado.

Figura 4 Quadro comparativo entre a proposta do Núcleo de Design e Ergonomia LOPP/PPGEP/UFRGS e a proposta do LabiUtil

A partir do momento em que questões como estas são respondidas e já se tem a definição de que um determinado *software* deverá ser desenvolvido, então, propostas mais focadas na interface (como as apresentadas) podem estar sendo utilizadas na continuidade do processo de desenvolvimento de *software*.

Este estudo aplica o *Design* Macroergonômico – DM na fase de concepção de projeto de *software* de informatização do Centro de Controle Operacional (CCO) por meio da implantação de um sistema de gerenciamento dos vagões da ferrovia para uma empresa operadora ferroviária. O projeto foi desenvolvido, de forma terceirizada, seguindo o método tradicional (Pressman, 1995) o que viabilizou que os

resultados de ambos os métodos fossem avaliados. Na avaliação, confronta-se as demandas identificadas e priorizadas junto aos usuários pelo método DM com aquelas definidas pelo método de identificação tradicional de requisitos.

Identificação e priorização dos requisitos - método DM

No DM, os clientes são os operadores do CCO que irão operar o *software* e sua participação uma premissa para a aplicação deste método que segue a linha do projeto participativo.

Identificação do usuário e coleta organizada acerca de sua demanda ergonômica

Para identificação e priorização dos itens de demanda ergonômica (IDEs) dos operadores, esta etapa foi sub-dividida em duas atividades: identificação dos usuários e identificação dos itens de demanda ergonômica.

a) identificação dos usuários

Participaram do estudo todos os cinco operadores do CCO cujas características são apresentadas na *Tabela 1*.

Tabela 1
 Características dos Operadores do CCO

Operadores	Sexo	Idade	Grau de instrução	Tempo ferroviário	Opera computador
A	M	33	2. grau (11 anos)	11 anos	Não
B	M	45	1. grau (8 anos)	18 anos	Não
C	M	32	3. grau (16 anos)	02 anos	Apenas em trabalhos acadêmicos
D	M	35	1. grau (8 anos)	10 anos	Não
E	M	40	2. grau (11 anos)	06 anos	Não

Trabalho realizado no CCO

O trabalho realizado no CCO exige muita atenção durante todo o turno, pois qualquer erro na programação ou no acompanhamento dos trens para atender às solicitações do cliente pode acarretar em um acidente grave. Apesar disso, os operadores não possuem conhecimento em operação de computadores. Para fins de análise, como o CCO funciona 24 horas/dia, todos os dias da semana, foi realizado um acompanhamento das atividades em diferentes horários dos quatro turnos de trabalho, viabilizando a identificação do ciclo e observação direta das características do ambiente e do posto de trabalho.

b) identificação dos itens de demanda ergonômica (IDEs)

Os itens de demanda ergonômica (IDEs) consistem nas características ou itens de um produto almejado pelos usuários (por exemplo, um novo *software*, posto de trabalho). Neste estudo, os IDEs consistem nas necessidades gerais dos usuários para realização de seu trabalho. A identificação da demanda é gerada pelo levantamento da situação atual do trabalho por meio de entrevistas, e priorizados utilizando a frequên-

cia e a ordem de menção dos itens pelos entrevistados (outras estratégias de coleta de informações são apresentadas no *Capítulo 3.3* do Livro *Desenvolvimento de Produto*, desta série monográfica).

Devido a equipe ser pequena, adotou-se a estratégia de identificação da demanda ergonômica por meio de uma entrevista composta por um módulo espontâneo. A entrevista foi individual e procurou-se não induzir os usuários, para tanto, o entrevistador seguiu o roteiro abaixo:

- explicou os objetivos da pesquisa e garantiu sigilo e impessoalidade para as respostas fornecidas;
- solicitou a autorização da filmagem e gravação das entrevistas, justificando-se na dificuldade de anotar as respostas;
- ofereceu papel em branco e lápis para que, se o usuário achasse necessário e se sentisse confortável, poderia complementar a resposta fazendo esboços no papel;
- aplicou a seguinte questão: “Explique as atividades que você realiza no seu trabalho? Comentando os pontos positivos, os negativos, suas preocupações e os objetivos das atividades para a organização”.

Todos os usuários concordaram com a filmagem e gravação. Apenas um dos usuários não utilizou o papel para complementar a resposta, todos os outros desenharam um esboço da malha ferroviária. A filmagem foi feita para gravação da realização dos esboços pelos usuários caso fossem desenhadas as interfaces. Esta técnica de Desenho Comentado (Guimarães e Ribeiro, 1995), é apresentada no *Capítulo 7* deste livro, e pode ser observada, também, no projeto de Saouaya (2003) para transpor as características esperadas pelos operadores e engenheiros na elaboração de uma interface gráfica de um sistema supervisor de uma planta petroquímica. No entanto, este trabalho se limitou a fase de identificação de demandas e, portanto, a utilização da gravação não faz parte do escopo desta pesquisa. As informações coletadas acerca da demanda ergonômica dos usuários são priorizadas na etapa seguinte.

Priorização dos itens de demanda ergonômica identificados pelos usuários

A análise e a priorização dos requisitos foram realizadas com base na segunda, terceira e quarta etapas do método DM, como segue:

a) identificação e priorização dos IDEs a partir da entrevista

As respostas gravadas na etapa anterior foram ouvidas e compiladas. Assim, cada atividade desempenhada pelos operadores foi identificada como um IDE. Na seqüência, foi criado um *ranking* dos IDEs a partir da freqüência e da ordem de menção dos itens pelos entrevistados. Procu-

rou-se valorizar os primeiros itens mencionados nas entrevistas. Assim, o primeiro item recebeu peso $1/1=1$, o segundo $1/2=0,5$, o terceiro, $1/3=0,33$ e, assim, sucessivamente.

Os itens de demanda foram separados em “demandas das atividades” e “demandas das preocupações” dos usuários. Primeiro, foram tratados os itens de demandas das atividades. A Tabela 2 apresenta os IDEs-Atividades levantados e priorizados em ordem crescente, com os pesos decorrentes da ordem de menção pelos usuários.

Tabela 2 Lista dos
 Itens de Demanda
 - Atividades

Nro.	IDEs-Atividades	Peso Importância
10	Controlar recebimento de vagões - registrar recebimento	2,94
9	Controlar recebimento de vagões - enviar fax p/ ferrovia	1,55
24	Programar Locomotiva	0,69
19	Planejar e Acompanhar a escala das equipes por locomotiva	0,54
6	Controlar disponibilidade de vagões por cliente	0,52
7	Controlar liberação de vagões por cliente	0,45
...
17	Manter a gerência informada sobre os tempos de execução das tarefas	0,22
12	Controlar retirada de vagões por ferrovia - registrar retirada	0,21
15	Indicar vagões - para movimentação	0,21
1	Controlar a capacidade do Porto	0,15
4	Controlar a execução das Ordens de Serviço	0,13
16	Indicar vagões - para reaproveitamento	0,12
3	Controlar a devolução de vagões	0,10
2	Controlar a condição da linha	0,09
8	Controlar operações não permitidas - entrega de vagões fora do horário de trabalho do cliente	0,09
11	Controlar retirada de vagões por ferrovia - enviar fax p/ ferrovia	0,09
13	Controlar vagões aguardando liberação para encostar no terminal	0,07
22	Preencher planilha de saída de vagões carregados por cliente	0,07
23	Preencher planilha de saída de vagões descarregados p/ a ferrovia	0,06

b) agrupamento e ajuste no nome dos IDEs-Atividades identificados

A partir do resultado do passo anterior, os IDEs-Atividades foram agrupados por afinidade pelo analista de sistemas, unindo as atividades semelhantes.

c) elaboração do questionário

O questionário tem por objetivo medir o grau de importância de cada item demandado. Com este foco, os IDEs-Atividades identificados foram agrupados por afinidade e listados na forma de um questionário. A medição do grau de importância é feita utilizando uma escala contínua, de 15cm, com duas âncoras nas extremidades (pouco importante e muito importante) conforme sugerido por Stone *et al.* (1974).

d) resultado da aplicação do questionário

Foi realizada a análise de consistência do questionário pelo método Alfa de Cronbach. De acordo com Cronbach (1951), o alfa é uma medida de consistência interna de questionários que permite verificar se todas as questões medem situações similares (satisfação/insatisfação; importância/não-importância etc.). Pode-se dizer que é uma medida de compreensão da escala do questionário, e se os dados são minimamente confiáveis. A partir da medida, pode-se: i) reelaborar o questionário inteiro ou rever questões mal interpretadas; ii) recoletar dados. Valores de alfa de Cronbach maiores ou iguais a 0,55 indicam uma boa consistência interna. Na média, o alfa foi igual a 0,8027, mostrando que o questionário foi consistente.

O grau de importância de cada item demandado se deu pela razão entre o peso de importância decorrente da ordem de menção do IDEs-Atividade pelos usuários e o grau de importância dado pelo usuário para a questão. Com o objetivo de facilitar a identificação do grau de importância dos IDEs-Atividades, os valores foram convertidos para peso 10, via regra de três, conforme apresentado na *Tabela 3*.

Tabela 3 Lista dos Itens de Demanda-Atividades ajustados após questionário

Nro.	IDEs-Atividades	Peso Importância
10	Controlar recebimento de vagões - registrar recebimento	3,01
9	Controlar recebimento de vagões - enviar fax p/ ferrovia	1,59
24	Programar Locomotiva	0,65
6	Controlar disponibilidade de vagões por cliente	0,53
7	Controlar liberação de vagões por cliente	0,47
19	Planejar e Acompanhar a escala das equipes por locomotiva	0,41
1	Controlar a capacidade do Porto	0,16
4	Controlar a execução das Ordens de Serviço	0,13
16	Indicar vagões - para reaproveitamento	0,12
3	Controlar a devolução de vagões	0,11
8	Controlar operações não permitidas - entrega de vagões fora do horário de trabalho do cliente	0,10
2	Controlar a condição da linha	0,09
11	Controlar retirada de vagões por ferrovia - enviar fax p/ ferrovia	0,09
13	Controlar vagões aguardando liberação para encostar no terminal	0,08
22	Preencher planilha de saída de vagões carregados por cliente	0,07
23	Preencher planilha de saída de vagões descarregados p/ a ferrovia	0,06

Incorporação da opinião de especialistas e obtenção de um ranking corrigido de itens de demanda ergonômica

A partir da análise dos IDEs-Atividades identificados na etapa (ii) do método DM, foram incorporadas opiniões do especialista em ergonomia/analista de sistemas, que utilizaram como fonte de informação a observação do trabalho *in loco*. Com base na técnica de *Brainstorming*, os itens relevantes e não constantes na lista de IDEs-Atividades identificados passam a ser considerados. Com isso, foi gerado um ranking corrigido, no qual a importância de cada um dos IDEs-Atividades foi confrontado com a opinião do especialista, conforme apresentado na *Tabela 4*. Desta forma, o item "Manutenção das informações necessárias ao negócio" foi incluído, por ser também uma atividade dos operadores.

Tabela 4 Lista dos Itens de Demanda-Atividades c/ incorporação opinião do especialista

Nro.	IDEs-Atividades	Peso Importância
10	Controlar recebimento de vagões - registrar recebimento	2,99
9	Controlar recebimento de vagões - enviar fax p/ ferrovia	1,58
24	Programar Locomotiva	0,64
6	Controlar disponibilidade de vagões por cliente	0,53
7	Controlar liberação de vagões por cliente	0,46
19	Planejar e Acompanhar a escala das equipes por locomotiva	0,41
15	Indicar vagões - para movimentação	0,21
12	Controlar retirada de vagões por ferrovia - registrar retirada	0,20
1	Controlar a capacidade do Porto	0,16
4	Controlar a execução das Ordens de Serviço	0,13
16	Indicar vagões - para reaproveitamento	0,12
3	Controlar a devolução de vagões	0,11
8	Controlar operações não permitidas - entrega de vagões fora do horário de trabalho do cliente	0,10
2	Controlar a condição da linha	0,09
11	Controlar retirada de vagões por ferrovia - enviar fax p/ ferrovia	0,09
13	Controlar vagões aguardando liberação para encostar no terminal	0,08
22	Preencher planilha de saída de vagões carregados por cliente	0,07
23	Preencher planilha de saída de vagões descarregados p/ a ferrovia	0,06
26	Manter as informações necessárias ao negócio	0,06

Durante a coleta das informações acerca da demanda ergonômica dos usuários realizada na etapa (i) do método DM, são identificados um conjunto de itens correspondentes as preocupações dos usuários em relação a execução das atividades. Todas as preocupações são fontes de riscos e, sob o foco da concepção, os riscos é que devem ser priorizados (Bitencourt, 2003). É neste momento que os riscos quanto a qualidade em uso podem ser avaliados, permitindo, ainda na fase de concepção do projeto, a identificação de problemas relacionados às atividades reais dos usuários. Com este objetivo, os IDEs representam as preocupações dos operadores em função das atividades que eles realizam no CCO.

Os mesmos procedimentos adotados até a atividade (b) “grupamento e ajuste no nome dos IDEs identificados” da etapa (ii) do método DM foram repetidos em relação aos IDEs-Preocupações. A partir das entrevistas e dos objetivos e preocupações apresentados pelos operadores, foram identificados os Itens de Demanda – Preocupações (Tabela 6).

Os IDEs que correspondem às duas principais preocupações dos usuários, conforme a entrevista, são: “melhorar atendimento ao cliente” e “manter documentação/planilhas atualizadas”. Este fato foi uma surpresa, pois a requisição de contratação feita pelo cliente priorizava a informatização das atividades operacionais (o que é convencional sob o foco de implantação de sistemas) sem qualquer referência às preocupações dos usuários.

As preocupações foram classificadas de acordo com os enfoques: operacional, atendimento ao cliente e gerencial. O percentual das preocupações dos usuários, por enfoque, é apresentado na *Figura 3*.

Força de
relação entre
IDE-Atividade e
IDE-
Preocupação

A etapa seguinte estabelece a força da relação entre os IDEs-Atividades e IDEs-Preocupações, a qual, foi avaliada pelo analista de sistemas com base na escala sugerida em Fogliatto e Guimarães (1999): 0 para Nenhuma relação; 1 para Relação Fraca; 3 para Relação média e 5 para Relação forte.

A *Tabela 5* apresenta os IDEs-Preocupações priorizados atribuindo a força de relação com os IDEs-Atividades.

Tabela 5 Lista dos IDEs-Preocupações com força de relação

Ordem	IDEs-Preocupações	TI%	Enfoque
1	Melhorar atendimento ao cliente	67,62	Cliente
2	Manter documentação/planilhas atualizadas	18,39	Gerencial
3	Agilizar a manobra de vagões	4,84	Operacional
4	Manter a equipe instruída/acompanhada	0,66	
5	Agilizar o caminho da ferrovia até o cliente	1,59	
6	Atender corretamente os Terminais	1,82	
7	Não permitir a ocorrência de acidentes no percurso	1,51	
8	Fazer o controle operacional corretamente	0,64	
9	Diminuir o tempo de permanência de vagões no porto	1,40	
10	Agilizar o atendimento operacional	1,05	
11	Agilizar o retorno dos vagões p/ a ferrovia	0,37	
12	Melhorar imagem da empresa	0,11	

Com base nos valores de IT%, foi gerada uma priorização dos IDEs-Preocupações, separando-os em categorias: prioritários, secundários, terciários e irrelevantes. Optou-se por não considerar o intervalo de classificação "irrelevantes". Os limites de classificação foram calculados da seguinte forma: 100% dividido pelo número de classificações (três); é igual ao limite de classificação prioritário (de 33% e 100%) dividido pelo número de classificações restante (duas) é igual ao limite de classificação secundária de 17%. A *Tabela 6* apresenta os intervalos de classificação adotados. O resultado com as preocupações classificadas é apresentado na *Tabela 7*.

Tabela 6
Intervalos de
Classificação TI%

Classificação	TI%
Prioritários	Superior a 33%
Secundários	entre 17% e 33%
Terciários	Inferior a 17%

Tabela 7 IDEs-Preocupações classificadas em categorias de prioridade conforme valores de importância

	Enfoque	IT%
Primários	Atendimento ao Cliente	67,6
Secundários	Gerencial	18,4
Terciários	Operacional	14,0

Os itens primários “Atendimento ao Cliente” referem-se às principais preocupações dos operadores do CCO em relação as suas atividades.

Listagem dos itens de design a serem considerados no projeto.

Segundo o método DM, Itens de *Design* (IDs) são os itens a serem avaliados no *design* ergonômico de produtos e postos de trabalho. Na adaptação do método DM para a avaliação de interfaces (Endler, 2000), os IDs representam itens de usabilidade. Na identificação de requisitos funcionais utilizando o SQFD (*Software Quality Function Deployment*) realizada por Krogstie (2002), os itens de *design* são as características e sub-características de qualidade do *software* com base na ISO 9126 (1991), os quais foram apresentados na *Figura 1*.

Determinação da força de relação entre os Itens de Demanda Ergonômica e os Itens de Design.

A etapa (v) do DM é muito importante para a concepção de interfaces (que faz parte da fase de elaboração de projetos, conforme o processo de desenvolvimento de *software* do tipo interativo e incremental), já que mostra quais as características de qualidade são mais impactantes em relação às preocupações dos usuários.

Desta forma, a força da relação entre os IDEs-Preocupações e os IDs foi avaliada pelo analista de sistemas com base na escala sugerida em Fogliatto e Guimarães (1999): 0 para Nenhuma relação; 1 para Relação Fraca; 3 para Relação média e 5 para Relação forte. Com base nela, foram calculados os valores de importância técnica - IT.

As características de qualidade que receberam maior força de relação com as preocupações dos usuários são as características que correspondem à qualidade em uso conforme demonstrado na *Tabela 8*. Este resultado reforça que investimentos na construção de requisitos que atendam a qualidade interna/externa não é o suficiente para garantir a qualidade do *software* quando colocado em uso.

Sob o foco da fase de concepção, entende-se que esta é a última etapa aplicável do método DM. A aplicação da força da relação entre os IDEs-Atividades e os IDs não faz parte do escopo desta pesquisa já que ele foca apenas a fase de concepção do projeto de *software* conforme o processo de desenvolvimento de *software* interativo e incremental.

Tabela 8 Lista dos Itens de Demanda-Preocupações, com força de relação dos IDs.

IDEs-Preocupações	IDs											
	Interna/Externa						Em Uso					
	Funcionalidade	Confiançabilidade	Usabilidade	Eficiência	Manutenibilidade	Portabilidade	Eficácia	Produtividade	Segurança	Satisfação		
Melhorar atendimento ao cliente	3	3	1	3	1	0	5	5	3	5		
Manter documentação/plantilhas atualizadas	5	3	3	1	1	0	5	3	3	5		
Agilizar a manobra de vagões	1	1	3	1	0	0	5	5	3	5		
Manter a equipe instruída/acompanhada	3	1	3	1	0	0	5	5	3	3		
Agilizar o caminho da ferrovia até o cliente	5	5	3	1	0	0	5	5	5	3		
Atender corretamente os terminais	3	1	3	1	0	0	5	3	5	3		
Não permitir a ocorrência de acidentes no percurso	3	1	3	1	0	0	5	3	5	3		
Fazer o controle operacional corretamente	3	1	3	1	0	0	5	3	5	3		
Diminuir o tempo de permanência de vagões no porto	3	1	1	1	0	0	5	3	5	3		
Agilizar o atendimento operacional	3	1	5	1	0	0	5	3	5	5		
Agilizar o retorno dos vagões p/ a ferrovia	3	1	1	1	0	0	5	3	5	3		
Melhorar imagem da empresa	3	1	0	1	0	0	5	3	5	5		
Total	38	20	29	14	2	0	60	44	52	48		

Resultados e Discussão

O projeto para a empresa operadora ferroviária foi desenvolvido de forma terceirizada, seguindo o método tradicional. Na seqüência será apresentado um confronto entre estes resultados com aqueles identificados pelo método DM. O nome atribuído aos itens de demanda foram ajustados para nomes semelhantes aos constantes na proposta técnica/comercial já elaborada com a utilização do método tradicional, visando a viabilização desta comparação.

Identificação e priorização dos requisitos com o método tradicional

O método tradicional identificou 23 atividades a serem atendidas pelo *software* sob o enfoque operacional. Outros dois enfoques também foram identificados para o escopo do projeto, são eles: o enfoque gerencial e de atendimento aos clientes, os quais foram considerados, pelo cliente, como complementares e possíveis de implantação em um segundo momento.

Ajustes no escopo para atender prazo e orçamento

Com o escopo definido, a proposta técnica comercial foi apresentada ao cliente. Entretanto, após a avaliação da proposta, foram solicitadas algumas customizações, nos requisitos apresentados. Isto resultou em uma redução de 17% do número total de atividades identificadas pelo analista de sistemas, e representou a não implementação de quatro atividades demandadas pelo CCO. A justificativa gerencial (por parte do cliente) se deu baseada na preocupação com custos e prazo de desenvolvimento. O analista de sistemas alertou quanto a importância dos requisitos retirados, os quais haviam sido priorizados, de forma subjetiva, como "essenciais" para o projeto, mas esta informação não foi o suficiente para evitar a redução do escopo.

O projeto foi desenvolvido atendendo a prazos, custo e requisitos especificados na proposta técnica comercial sendo referenciado tanto pelos *Stakeholders* quanto pelos gerentes da empresa que desenvolveu o *software* como um projeto bem sucedido. Com o escopo identificado, os operadores não foram questionados e o *software* foi implantado atendendo apenas ao módulo operacional. A disponibilização da versão a ser implantada por parte da empresa que desenvolveu o *software* se deu no prazo previsto em contrato, entretanto o sistema somente conseguiu entrar em produção com um atraso de 50% no tempo desejado pelo cliente. Pôde ser observado, informalmente, que após a implantação do *software*, os operadores se mostraram insatisfeitos (mesmo o produto tendo atendido a todos os requisitos constantes na proposta). O *software* teve de sofrer diversas adaptações e, para a equipe de desenvolvimento, que se esforçou fazendo várias horas extras para atender aos requisitos pré-definidos dentro do prazo estipulado, cada solicitação de alteração feita por parte dos usuários era recebida de forma negativa. O CCO da ferrovia também teve de sofrer uma série de adaptações emergenciais, como por exemplo: tiveram de contratar estagiários para ajudar os operadores a utilizarem o computador, pois eles não tinham prática suficiente para controlar o mouse corretamente.

Resultados:
método DM e
tradicional
(fase de
concepção)

As duas metodologias se apresentaram adequadas à identificação de requisitos, sendo que neste aspecto poucas diferenças podem ser observadas. Contudo, os requisitos diferentes podem ser representativos em relação ao contexto de uso real do *software*. Além dos requisitos identificados, a priorização da importância destes requisitos e as preocupações relacionadas a cada um deles, refletem num diferencial representativo entre o resultado da aplicação das metodologias sob o foco da fase de concepção de projetos. Segue uma análise crítica do que foi identificado a partir do confronto entre estes resultados.

Envolvimento
de diferentes
grupos de
usuários

A metodologia tradicional busca pela participação dos *Stakeholders*. O método DM é fundamentado na participação os usuários que realizam as tarefas a serem informatizadas. A pesquisa de Endler (2000), dentre outras, comprova a existência de diferenças entre a visão do contexto do problema sob o ponto de vista gerencial e sob o ponto de vista dos usuários operacionais. O fato é que um ponto de vista não exclui o outro, entretanto, sob o foco da qualidade em uso, utilizar uma metodologia para a identificação de requisitos que exija a participação dos profissionais que executam as tarefas (operacionais) maximiza as chances de sucesso do projeto.

Com a aplicação do método DM, foi possível identificar duas atividades (demandas) a mais, por meio da entrevista aberta realizada com os operadores, do que com a utilização da metodologia tradicional por meio das entrevistas com os gerentes. Para o objetivo da fase de concepção, é fundamental a delimitação do escopo da forma mais completa quanto possível.

Este estudo reforça a necessidade da participação dos profissionais que executam as tarefas a serem informatizadas, não somente nas fases de Elaboração, Construção e Transição, mas também, de forma participativa, na fase de Concepção dos projetos de *software*.

Contexto de uso e possíveis problemas

O método DM permite a identificação acerca da demanda ergonômica das atividades, assim como das preocupações (possíveis problemas) relacionados às mesmas. Este entendimento contribui para que os riscos sejam minimizados. Sob o foco da fase de Concepção, não utilizar metodologias que busquem pela identificação de possíveis problemas (inclusive para o enfoque organizacional) gerados pelo contexto real onde o *software* será inserido, merece ser reavaliado.

Identificação e Priorização de Requisitos

As atividades priorizadas quanto a sua importância refletem nos requisitos que demandam por soluções adequadas a um contexto de uso. O ideal é que as soluções desenvolvidas para cada uma das atividades fossem totalmente focadas na minimização das preocupações relacionadas a cada uma delas. Entretanto, segundo ABNT (2001), é praticamente impossível garantir todas as características de qualidade para todas as partes de um produto de *software* de grande porte. Assim, a priorização das atividades em função das preocupações relacionadas permite que a empresa invista mais esforços nos requisitos que devem receber maior atenção. No projeto da ferrovia, a maioria das preocupações são relacionadas ao tempo de realização das atividades (“agilizar ...”, “diminuir ...” etc.). Consequentemente, neste projeto, as atividades que devem ser priorizadas são as que, se mal feitas, irão gerar maior perda de tempo (interferindo na performance). Em outros projetos, o foco principal de preocupação pode ser relacionado a uma ou mais características de qualidade, por exemplo, à segurança, a flexibilidade, a portabilidade etc.

O método DM gerou a importância dos três enfoques (classificações): gerencial, atendimento a cliente e operacional. Esta importância não pôde ser mensurada com a identificação tradicional de requisitos. As preocupações com o enfoque gerencial e com o atendimento ao cliente representam 81,1% das preocupações dos operadores, ou seja, é onde está a maior carga de concentração das suas atividades.

Reflexo para a organização: cliente x empresa de desenvolvimento

Durante a execução de suas atividades, os operadores do CCO focam seus esforços para evitar diferentes tipos de problemas: problemas relacionados ao atendimento aos clientes, problemas relacionados ao atendimento das solicitações dos gerentes e problemas relacionados à qualidade com que as atividades operacionais devem ser executadas. Este conjunto de preocupações que pode conduzir os operadores a cometerem erros, é um sistema complexo sob o foco da ergonomia cognitiva (ver *Capítulo 8.1* deste livro). Erros de decisão, segundo a ergonomia cognitiva, são erros mais difíceis de minimizar pois podem ser fruto da organização do trabalho mal concebida, fadiga, estresse etc.

Segundo Reason (1997), as pressões geradas em função do atendimento a uma determinada meta sem considerar os conflitos potenciais podem colocar os operadores em duplo conflito. Nestas situações, qualquer tentativa de atender a uma meta significa sacrificar o atendimento de outras metas conflitantes. Desta forma, os operadores são forçados a escolher uma situação menos danosa e, portanto, podem cometer algum erro. Este tipo de erro é apenas uma consequência de falhas organizacionais.

Sabendo-se que o papel do operador do CCO exige concentração, onde uma sobrecarga, estresse, fadiga etc. pode resultar em erros de planejamento ou de controle e, por consequência, gerar um acidente de trabalho, certamente, justifica uma reorganização e nova priorização da visão que a gerência tem das atividades e das metas a serem atendidas pelos operadores do CCO. Sob o foco da ergonomia, é questionável desenvolver e implantar um projeto de *software* para atender somente as preocupações sob um dos enfoques.

Forma de implantação de *softwares* por módulos

A implantação do módulo operacional, em sistemas de informação, antes do módulo de atendimento ao cliente e do módulo gerencial não é considerado errado e não é um procedimento raro. Entretanto, esta pesquisa permitiu observar que esta prática, quando o mesmo grupo de usuários possui preocupações em diferentes enfoques, pode refletir em consequências que inviabilizem a implantação do módulo.

DM x Tradicional

Apenas investir em tecnologia, sem um planejamento das soluções a serem priorizadas, sem avaliar as preocupações dos envolvidos não garante eficácia, produtividade nem a satisfação dos clientes.

Vale ressaltar que os resultados alcançados com a utilização da forma tradicional de identificação de requisitos poderiam ter sido diferente caso um analista de sistemas com outro domínio do negócio tivesse realizado o trabalho. Esta variação no resultado é possível porque a

subjetividade inerente ao método tradicional atrela os resultados ao feeling e idiosincrasias do analista de sistemas envolvido. Já o método DM, é menos subjetivo, tendo em vista que o analista conta com a opinião, principalmente, dos operadores e, portanto, sua opinião não cria o viés que resulta do método tradicional. Desta forma, o método DM permite maior independência entre o feeling do analista de sistemas quanto ao negócio e os resultados obtidos.

Por fim, cabe à engenharia de *software* questionar o papel e a responsabilidade dos profissionais que atuam no desenvolvimento de projetos de *software* quanto às conseqüências que a inserção de seus produtos podem gerar em um contexto de uso real.

A Tabela 9 apresenta um resumo comparativo entre os procedimentos utilizados na forma tradicional de identificação de requisitos e com a utilização do método DM.

Tabela 9
Comparativo entre os procedimentos utilizados na forma tradicional de identificação de requisitos e com o método DM

Procedimentos	Tradicional	AMT/DM
Envolvimento dos usuários	Opcional	Obrigatório
Acompanhamento das atividades dos usuários	Opcional	Obrigatório
Forma de priorização dos requisitos	Qualitativa	Quali-quantitativa
Identificação dos usuários	Opcional	Obrigatório
Avaliação se o projeto deve ou não continuar	Depende de decisões gerenciais	Depende de avaliação, por consenso do grupo usuários/ergonomistas/projetistas, quanto à qualidade do trabalho
Avaliação das demandas geradas pelo trabalho dos usuários	Não existe	Obrigatório
Envolvimento dos gerentes	Obrigatório	Opcional

CONCLUSÃO

Este estudo coloca como ponto de discussão a concepção de projetos de *software* particularmente a definição de escopo, sem a priorização das demandas com base na opinião dos usuários e sem uma preocupação macroergonômica. A fase inicial do projeto é um período crítico pois estabelece a correlação entre as demandas da empresa (organização), dos usuários (operadores que realizam as tarefas) e do próprio desenvolvimento do *software* (tecnologia/processo/...). Pode-se dizer que a fase de identificação de demandas e problemas é fundamental para o sucesso do projeto.

A aplicação da forma tradicional de identificação de demandas mostrou-se eficiente na identificação de requisitos. Entretanto, mesmo para um analista de sistemas experiente, que não tem dificuldades em perceber a influência de fatores que interferem diretamente no resultado do *software*, é difícil, por exemplo, transformar estas percepções qualitativas, que fazem parte do seu "*feeling*", em quantitativas, determinando sua importância à cada função requisitada para o projeto, assim como o comportamento do *software* no contexto do ambiente no qual será usado. As avaliações qualitativas mostraram-se com pouca força de persuasão frente aos gerentes.

Com a utilização do método DM, por ser uma ferramenta dependente da participação ativa dos usuários, foi possível identificar o grau de preocupação dos operadores sobre o enfoque gerencial e de atendimento aos clientes. Ficou evidente a existência de problemas organizacionais: por definição, a maior preocupação dos operadores deveria ser em relação às atividades operacionais. A preocupação em excesso com os outros dois enfoques se justifica porque durante as atividades operacionais, que exigem grande concentração, o trabalho é constantemente interrompido por ligações de clientes, desconcentrando os operadores. Após a implantação do sistema, isso acabou se agravando, pois no período inicial da implantação do sistema, as preocupações aumentaram (aumentando a carga mental). Aprender a operar o *software*, além de aprender a operar o computador, acabaram se tornando preocupações graves, e o risco dos operadores cometerem erros, conseqüentemente, aumentou. Além disso, parte do trabalho feito tem de ser resumido para repassar à gerência. Isso tudo, somando-se aos problemas gerados por aquelas quatro atividades que foram retiradas do escopo e as duas atividades não identificadas pelo analista de sistemas, é o que justifica a frustração dos operadores em relação ao *software*.

A utilização de metodologias específicas na etapa de Análise de Requisitos é fator crítico de sucesso para a redução de custos e do tempo de liberação do produto, a compreensão real dos requisitos dos usuários e sua satisfação, o aumento da produtividade, a minimização de mudanças nos projetos etc. Não se pode focar em uma simples dimensão de valor. É preciso entender o negócio e embasar a estratégia de desenvolvimento de *software* com a estratégia de negócios (Highsmith III, 1999). O método DM se mostrou adequado a este enfoque. Além disso, sua utilização independe do processo utilizado para o desenvolvimento de *software* e, portanto, este método pode ser utilizado e adaptado aos processos de desenvolvimento de *software* sem qualquer restrição.

Devido à grande competitividade existente entre as empresas de desenvolvimento de *software*, pode parecer inadequado colocar em discussão os reais benefícios que um determinado projeto de *software* pode trazer à organização (cliente) quando realmente colocado em uso. Entretanto, a situação atual é que poucos esforços têm sido gastos, neste sentido, por ambas as partes (clientes e fornecedores). Sob o foco sociotécnico, todos os envolvidos têm parte da responsabilidade sobre as conseqüências da inserção de soluções tecnológicas no contexto social (Comissão Européia, 1997). Construir, mesmo que com qualidade, a coisa errada, sempre custa mais caro.

REFERÊNCIAS ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (2001) *Modelo de Qualidade e Usabilidade de Software*. In: SEMINÁRIO DE QUALIDADE DE SOFTWARE DO SUBCOMITÊ DE SOFTWARE DA ABNT, 1., Ago. 20 01, Curitiba. Anais... Curitiba: ABNT.

BEVAN, N. (1997) *Quality in use: Incorporating human Factors Into the Software Engineering Lifecycle*. Disponível em: <<http://www.usability.serco.com/papers/qiuhf97.pdf>>. Acessado em: 22/01/2003.

BITENCOURT, R. S. (2003) *Avaliação da Forma Tradicional e Macroergonômica de Identificação de Requisitos, para a Concepção de Projetos de Software, sob o Foco da Qualidade em Uso*. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. (2000) *UML – Guia do Usuário*. São Paulo: Editora Campus.

COMISSÃO EUROPÉIA. (1997) *Comunicação sobre a Dimensão Social e Laboral da Sociedade da Informação*. Disponível em: <http://www.europa.eu.int/comm/employment_social/knowledge_society/97397pt.pdf>. Acessado em: 05/11/2002.

CRONBACH, L. J. (1951) Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Revista Psychometrika*, EUA, pág. 297 – 334.

CYBIS, W. de A.; PIMENTA, M. S.; SILVEIRA, M. C.; GAMEZ, L. (1998) *Uma Abordagem Ergonômica para o Desenvolvimento de Sistemas Interativos*. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/~ihc99/ihc99/AtasIHC98/Cybis.pdf>>. Acessado em: 08/12/2002.

DITTRICH, Y.; LINDEBERG, O. (2002) *Can Software Development be too Use Oriented? Going Native as an issue in Participatory Designing*. Disponível em: <<http://www.ipd.bth.se/uodds/papers/ydi/028-094-Dittrich-electronic.pdf>>. Acessado em: 18/03/2002.

ENDLER, A. M. (2000) *Método do Design Macroergonômico Aplicado ao Desenvolvimento de um Software Corporativo de Correio e Agenda na Web*. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

EARTHY, J.; PHILIP, R.; BEVAN, N. (2002) *Technical Competence Definition for Usability Professionals*. Disponível em: <http://www.iboro.ac.uk/ukup/competence_v0.53.doc>. Acessado em: 07/03/2002.

FOGLIATTO, F. S. e GUIMARÃES, L. B. de M. (1999) *Design Macroergonômica: uma Proposta Metodológica para Projetos de Produto*. Porto Alegre: Produto e Produção.

GUIMARÃES, L. B. M.; RIBEIRO, J. L. D. (1995). *Desenvolvimento de Metodologia para Design e Avaliação de interfaces*: Relatório final de pesquisa. Porto Alegre: CIENTEC.

GUIMARÃES, L. B. M.; BELMONTE, F. A. F. (1998) Utilização do QFD para orientação no processo de compra de produtos. In: PeD DESIGN, 1998, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Estudos em Design/AEND-BR, pág. 719-725.

GUIMARÃES, L. B. de M. (1999) *Ergonomia de Produto*. Produto e Produção, v.2, n.3.3, Porto Alegre.

HASSENZAHN, M.; BURMESTER, M.; KOLLER, F. (2002) *Usability Engineering: quality doesn't happen by accident*. Disponível em: <http://www.dir.de/it/iv/tagungsberichte/mti_tagung/12hassenzahl1.pdf>. Acessado em: 17/03/2002.

HIGHSMITH III, J. A. (1999) *Adaptive Software Development: a collaborative approach to managing complex systems*. EUA: Dorset House, pág. 179-200.

HIRATSUKA, T. P. (1996) *Contribuições da Ergonomia e do Design na Concepção de Interfaces Multimídia*. Florianópolis. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal de Santa Catarina.

IIDA, I. (1990) *Ergonomia: projeto e produção*. São Paulo: Edgard Blücher.

ISO/IEC 9126. (1991) *Standard for Information Technology, Software Product Evaluation - Quality Characteristics and Guidelines for their use*. Geneva.

ISO/IEC 9126. (2000) *Standard for Information Technology, Software Product Evaluation - Quality Characteristics and Guidelines for their use*. Geneva.

ISO/IEC 9241. (2001) *Ergonomic requirements for office work with visual display terminals, Part 11: Guidance on usability*. Geneva.

KROGSTIE, J. (2002) *Using Quality Function Deployment in Software requirements*. Disponível em: <<http://www.ifi.uib.no/konf/refsq99/papers/krogstie.doc>>. Acessado em: 16/05/2002.

KRUG, S. (1999) *Aplicação do Método de Design Macroergonomico no projeto de postos de trabalho: estudo de caso de posto de calibração*. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LABORATÓRIO DE UTILIZABILIDADE - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. (2003) *Curso de Ergonomia de Interfaces Homem-Computador*. Disponível em: <<http://www.labiutil.inf.ufsc.br/workshop96/workshop.html>>. Acessado em: 16/01/2003.

MACHADO, C. A. F.; SPINOLA, M. M.; REINEHR, S. S.; BALDUINO, R.; ARGOLLO, M.; PESSOA, M. S. P. (2002) Seminário de Gerência de Projetos e Tecnologia da Informação. In: WORKSHOP ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 3., Novo Hamburgo. *Anais...* Novo Hamburgo: Unisinos, 2002.

NUCLEO DE DESIGN E ERGONOMIA - NDE. (2004) *Laboratório de Otimização de Produtos e Processos - Engenharia de Produção*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.producao.ufrgs.br/ergonomia/>>. Acessado em: 21/08/2004.

OUYANG, S.; FAI, J.; WANG, Q.; JOHNSON, K. (1997) *Quality Function Deployment, paper, Department of Computer Science*. Disponível em: <<http://sern.ucalgary.ca/courses/seng/613/F97/grp2/report.htm>>. Acessado em: 11/05/2001.

PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE EM SOFTWARE. (2001) *Qualidade e Produtividade no Setor de Software - Resultados da Pesquisa 2001*. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/temas/info/Dsi/Quali2001/Public2001.htm>>. Acessado em: 27/02/2002.

PRADO, A. B. (2001) *Contribuições da Abordagem Semiótica ao Estudo de Interfaces de Sistemas de Informação Geográfica*. Campinas. Dissertação de Mestrado, Programa de pós-graduação em Sistema de Informação - Universidade Estadual de Campinas.

PRESSMAN, R. S. (1995) *Engenharia de Software*. São Paulo: McGraw-Hill.

RAMIRES, A. M. (2000) *Análise de acidentes rediológicos no contexto organizacional das empresas de radiologia industrial*. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em engenharia de produção - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RATIONAL. (2002) *Reaping the Benefits of the OO Revolution*. Object-Oriented Project Management v1.4 Copyright 998-99. Tutorial Rational Software.

REASON, J. (1997) *Managing the risks of organizational accidents*. Aldershot, UK: Ashgate.

SAOUAYA, R. (2003) *Avaliação das Demandas de Usuários, Operadores e Engenheiros na Elaboração de uma Interface Gráfica de um Sistema Supervisório (SDCD) de uma Planta Petroquímica*. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SELNER, C. (1999) *Análise de Requisitos para Sistemas de Informações, Utilizando as Ferramentas da Qualidade e Processos de Software*. Florianópolis. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção - Universidade Federal de Santa Catarina.

SHNEIDERMAN, B. (1998) *Designing the user Interface - Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. 3. ed.. EUA: Addison Wesley.

STANDISH GROUP (2002) *Chaos Report*. Disponível em: <<http://www.standish-group.com/>>. Acessado em: 27/02/2002.

STONE, H.; SIDEL, J.; OLIVER, S.; WOOLSEY, A.; SINGLETON, R. C. (1974) Sensory Evaluation by Quantitative Descriptive Analysis. *Food Technology*. 28(1), pp. 24-34.

TRAMONTIN, A. C. (2000) *Identificação dos itens de Demanda Ergonômica em Lojas de Cosméticos e Perfumes*. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VANDER LINDEN, J. C. S. (1999) *Identificação dos Itens de Demanda Ergonômica em Escritório Informatizado*. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado, Programa de Pósgraduação em engenharia de produção - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

WEBER, K. C.; ROCHA, A. R. C.; NASCIMENTO, C. J. (2001) *Qualidade e Produtividade em Software*. 4. ed. São Paulo: Makron Books.



Engenharia de Sistemas Cognitivos

Lia Buarque de Macedo Guimarães

Conforme mostra o desenvolvimento dos capítulos deste livro, a ergonomia cognitiva, por causa do impacto da computadorização, tendeu para o paradigma do processamento da informação e, conforme Hollnagell e Woods (2005), para o desenvolvimento de modelos lineares com uma visão fragmentada da interação humano-computador. Segundo Amalberti (1996), a última década do século XX concentrou em pesquisas sobre a modelização dos mecanismos do erro humano e o certo seria que as próximas décadas concentrassem na modelização dos mecanismos de detecção e recuperação de erros pelos operadores. É o que ocorreu a partir da divulgação dos princípios da Engenharia de Sistemas Cognitivos (Hollnagel e Woods, 2005; Woods e Hollnagel, 2006). Seus seguidores entendem que a psicologia ergonômica (*Capítulos 2 a 7.1*) é centrada no ser humano, e na interface humano-computador, e as perspectivas de confiabilidade humana (veja no *Capítulo 8.2*) seguem uma linha que foca na fragilidade dos seres humanos ou seja, a modelização é mais uma modelização de seus fracassos do que da sua capacidade de realizar a tarefa. As análises dos incidentes reforça esta idéia, pois recaem sobre o diagnóstico das falhas, o que já não é tão relevante, já que elas se tornam cada vez menos frequentes, apesar de mais graves (veja no *Capítulo 8.1*). Segundo Amalberti (1996) os estudos sobre a segurança de sistemas de risco, produzidos entre 1985 e 1995, insistem quase que exclusivamente na falha e não na maneira de manter a segurança. A ajuda ao operador que resultou destes estudos é orientada para a gestão da crise e não para a manutenção da situação em condições normais.

Geralmente, como foi apontado no *Capítulo 8.1* deste livro, a literatura em sistemas complexos aborda o desempenho humano na fronteira do insucesso, que culmina em erros e acidentes. Isto, porque é possível aprender com as falhas para gerar sistemas cada vez mais robustos, utilizando tecnologias cada vez mais avançadas.

As abordagens centradas na tecnologia ou em algoritmos considera que a tecnologia é a solução para os sistemas complexos, tendo em vista que os seres humanos são limitados e erram. No entanto, a idéia não está correta, pois conforme Woods e Hollnagel (1996 p. 2), qualquer sistema é limitado. Na realidade:

- todo sistema cognitivo é finito (seres humanos, máquinas, ou combinações);
- todo sistema cognitivo finito em situações de mudanças incertas são falíveis;
- portanto, sistemas cognitivos-máquina (e sistemas que interrelacionam humanos e máquinas) são falíveis.

Isto, porque quanto mais robustos os sistemas ficam, mais complexos eles também se tornam, e a complexidade cada vez maior destes sistemas faz com que ele opere cada vez mais próximo dos limites de segurança. Portanto, é de se esperar que, se ocorrerem e quando ocorrerem, estes erros serão mais graves. A literatura mostra, no entanto, que os erros são pouco frequentes frente à variabilidade e complexidade destes sistemas porque, de alguma forma, o sistema humano antecipa estas situações de risco e se ajusta à dinâmica dos sistemas cognitivos que são complexos. Conforme Woods e Hollnagel (2006, p.1), o caminho do sucesso é reconhecer o paradoxo do fato de que o ser humano é ao mesmo tempo a fonte de sucesso e de insucesso, já que é ele quem cria, opera, e modifica os sistemas para os propósitos da própria sociedade. Para entender e aprender com este sucesso, Hollnagel e Woods (2005) propõem uma visão humano-máquina e não uma visão humano-computador, centrada no trabalho “em ação” de grupos de pessoas (humanos como um operador e não como um usuário) e a tecnologia envolvida. Esta abordagem foi denominada Engenharia dos Sistemas Cognitivos (ESC) a qual considera que:

A Engenharia de Sistemas Cognitivos (ESC)

- nos sistemas cognitivos, os vários sub-sistemas e componentes estão ligados e esta relação de dependência precisa ser considerada na análise de seu comportamento;
- os eventos e as relações precisam ser entendidos dentro do contexto;
- a idéia de controle e de adaptação é fundamental na definição de um sistema cognitivo.

De certa forma, esta nova abordagem joga uma luz no que é um desafio para a perspectiva tecnológica: para esta, o comportamento humano é errático mas ao mesmo tempo gera perplexidade pois está sempre avançando fora dos limites prescritos.

Conforme Woods e Hollnagel (2006 p.72), a ESC começou com os estudos dos Sistemas Cognitivos Relacionados (Joint Cognitive Systems - JCS) no trabalho realizado nas salas de controle. Na perspectiva da ESC de que o JCS é um sistema de controle adaptativo, pode-se depreender as regulações, os padrões e até as leis do trabalho real (Woods e Hollnagel, 2006 p.12) para gerar informação para projetos. Um dos objetivos do JCS é ajudar na busca do que é vantajoso e/ou útil na prática dos trabalhos em constante mudança (Woods e Hollnagel, 2006 p.58).

A Engenharia de Sistemas Cognitivos (ESC) é uma forma de engenharia de sistemas que tem três premissas básicas:

1. interações e emergência: o comportamento de um sistema decorre das relações e interações entre as partes e não das partes isoladas;
2. interações em níveis cruzados (análise em múltiplos níveis): o entendimento de um sistema em um dado nível depende das influências dos estados e dinâmicas em níveis abaixo e acima;
3. perspectiva: é uma questão de perspectiva, como serão definidos as partes do sistema e os níveis de análise.

O interesse do ESC, como uma abordagem para sistemas complexos, são os fatores, processos e relações que emergem nas interseções entre pessoas, tecnologia e trabalho "em ação". Estes processos emergentes não podem ser vistos ao se atentar para apenas um deles. As disciplinas tradicionais que lidam com a cognição no trabalho separam as pessoas, a tecnologia e a situação de trabalho, em diferentes unidades de estudo ao considerar ou a perspectiva psicológica, ou a tecnológica, em separado. Na ESC, as interações entre estes três domínios (pessoas, tecnologia e trabalho) é o fenômeno de interesse. *"A relação é de adaptação mútua, onde as pessoas, como agentes que visam metas, se adaptam em função das demandas do trabalho e das affordances dos artefatos que usam"* (Woods, 1988 apud Woods e Hollnagel, 2006 p. 8). Esta idéia está em consonância com a visão ecológica de interação entre agente e ambiente, de Gibson (1979), que estabelece que cada um só pode ser entendido em relação ao outro e que cada um muda em função da sua adaptação ao outro (adaptação

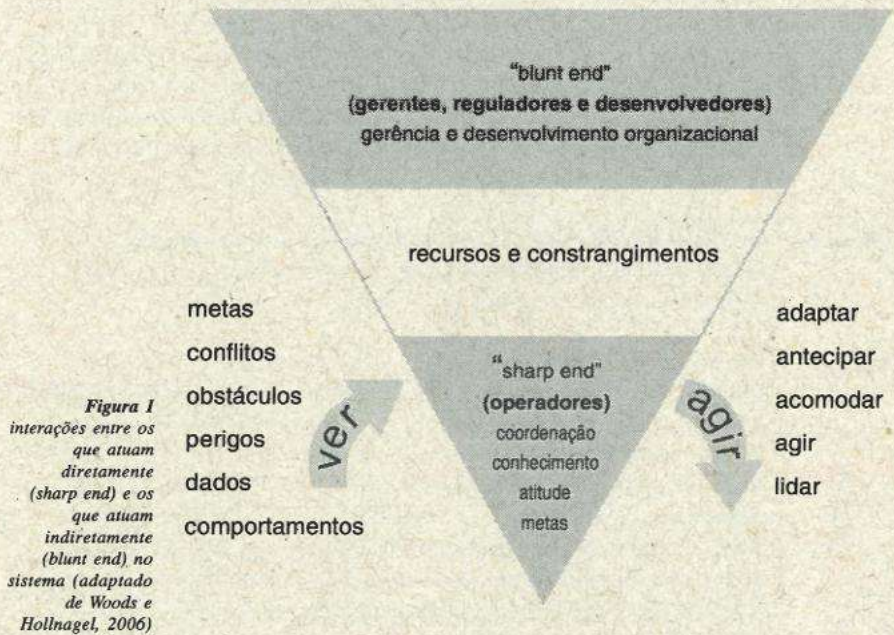
cruzada). As características dos artefatos e das tarefas interagem para impor as demandas sobre e entre os agentes. As características das tarefas e as necessidades de coordenação entre os agentes interagem para especificar como os artefatos dão suporte (ou não) ao trabalho. As propriedades dos artefatos e agentes interagem para adaptar estratégias de trabalho. O que resulta das interseções entre as pessoas, a tecnologia e o trabalho são:

- características de coordenação - ou o oposto, de descoordenação: como o trabalho cognitivo está distribuído e sincronizado entre múltiplos agentes e artefatos em consonância com as situações de mudança;
- características de resiliência - ou seu oposto, fragilidade (*brittleness*): a habilidade de antecipar e adaptar a potenciais surpresas e erros;
- características de *affordance* - ou seu oposto, não adaptação (*clumsiness*): como os artefatos suportam (ou não) a habilidade natural do ser humano de mostrar seu conhecimento em função das demandas do trabalho.

O ESC também considera as interações entre os diferentes agentes do sistema: os que atuam diretamente (*sharp end*) e os que atuam indiretamente (*blunt end*) (Figura 1). Os agentes diretos trabalham para que o sistema funcione de forma produtiva e segura, focando nas metas definidas e nos procedimentos definidos. No entanto, eles fazem mais do que seguir regras: eles resolvem conflitos, antecipam problemas, acomodam variações e mudanças, lidam com surpresas, contornam obstáculos, preenchem os vãos entre as situações planejadas e as reais, detectam e recuperam situações de má comunicação e má avaliação (Woods e Hollnagel, 2006 p.9).

Os agentes indiretos são os legisladores, administradores, os que definem a política econômica, e os que fornecem a tecnologia, que são quem controla os recursos e os incentivos e demandas que precisam ser balanceados pelos agentes diretos a fim de alcançarem suas metas. Sendo assim, de cima para baixo, a coordenação, a resiliência e as *affordances* são afetadas pela forma como o contexto organizacional gera ou facilita a solução de questões tais como pressões/metas e conflitos/dilemas. Por exemplo, conforme é discutido no Capítulo 8.1 deste livro, ao gerar conflito de metas ou introduzir uma tecnologia de automação *clumsy* (desajeitada, não adaptada) os agentes indiretos criam problemas de autoridade-responsabilidade para os agentes

diretos. De baixo para cima, a coordenação e a resiliência são afetadas pela adaptação dos agentes diretos pois as acomodações ou as novas táticas reverberam e influenciam mais metas estratégicas e interações.



As pessoas, como agentes adaptativos, que aprendem, colaboram, são responsáveis e criadores de ferramentas, criam sucesso sob pressão por recursos e desempenho em todos os níveis do sistema sociotécnico, pelo aprendizado e adaptação às situações que se impõem e as metas a serem atingidas. A questão, então, não é a falibilidade ou falência de recursos, mas o desenvolvimento de estratégias para lidar, ou até mesmo explorar, os recursos finitos e lidar com um mundo finito, dinâmico e incerto. *"O sucesso em sistemas complexos é gerado pelos Sistemas Cognitivos Relacionados (Joint Cognitive Systems - JCS); não por uma dádiva que pode ser degradada pelas limitações humanas e erro"* (Woods et al., 2005 p.1).

O comportamento do JCS está adaptado a determinadas necessidades, variações potenciais de constrangimentos no mundo do trabalho. Mas apesar de “bem” adaptado, as formas de adaptação podem ser incompletas, desbalanceadas, ou *brittle*, em relação a outras formas alternativas de adaptação. Os sistemas podem estar melhor ou pior adaptados a certos constrangimentos. Sistemas adaptados podem estar sujeitos a variações fora do que foi planejado. Os sistemas podem ser frágeis (*brittle*) ou robustos quando próximo dos limites de adaptação. Podem ser cegos ou cientes dos limites da faixa de adaptação. Portanto, a busca não é por estratégias ótimas ou melhores, mas busca-se gerar os passos ou projetar as consequências dos passos que vão mudar ou aumentar o poder de adaptação do JCS (Woods *et al.*, 2005 p.56).

A prática da ESC

A prática do ESC resulta da necessidade de estudar e projetar JCS. Basicamente, ela considera a forma de observação (a autenticidade desta observação e a abstração), a descoberta e inovação.

observação

Inicia com a observação do trabalho em situação real para entender como as pessoas se adaptam sob as pressões e demandas do trabalho (Woods *et al.*, 2005 p.4). Onde e como observar? os métodos variam para se adaptar às condições de observações possíveis sob as incertezas e variabilidade do trabalho real. O objetivo é identificar quais são as demandas cognitivas, como o trabalho é coordenado entre os vários atores, como outros níveis do sistema (no contexto organizacional) influenciam o trabalho no nível sob análise. Analisa-se tanto os que atuam diretamente (*sharp end*) quanto os que atuam indiretamente (*blunt end*).

autenticidade

Qual a autenticidade do que se está observando? para alguns ela emerge da cognição situada, para outros é obtida pela adoção de métodos etnográficos.

Segundo Woods e Hollnagel (2006), o risco da observação situada é que o observador pode rapidamente se perder nos detalhes de uma situação em especial (em uma dada tecnologia, em um determinado problema etc). Mas é com base na comparação e contratação com outras situações é que se abstrai os padrões e se gera as possíveis explicações para tais padrões. No estudo do JCS em situação de trabalho, pretende-se entender como os artefatos moldam a cognição e colaboração em função do contexto organizacional e problemas de demanda real, e como os sujeitos, individualmente ou em grupo, informal e formalmente, moldam os artefatos a fim de atender as demandas sob as pressões e recursos disponibilizados pelas organizações (Woods e Hollnagel, 2006 p.6).

técnicas de observação

Para a observação pode ser usada a técnica de análise funcional de diversas formas:

- a) observando em pontos onde naturalmente ocorrem mudanças;
- b) reconstruindo o caminho dos incidentes já que estas interrupções revelam os limites de adaptação do JCS (por exemplo, método de incidente crítico);
- c) introduzindo novos eventos nos limites suspeitos do sistema para forçar o comportamento adaptativo (por exemplo, o que ocorre em simulações de pilotagem);
- d) mudando os artefatos disponíveis (Woods e Hollnagel, 2006 p.42).

abstração

ESC se propõe a abstrair padrões das situações específicas.

descoberta e inovação

O fim das observações e abstração é a descoberta. O teste de compreensão é a habilidade de antecipar e guiar o impacto das mudanças tecnológicas. Portanto, a ESC pretende inovar conceitos e hipóteses sobre o que é útil para a situação. Esta atividade conecta a pesquisa com a inovação e processos projetuais. Esta busca, no entanto, é difícil porque os sujeitos adaptam seu trabalho em função das dificuldades e complexidades, re-moldando os artefatos para funcionarem como ferramentas que atendam as novas demandas. Assim, os líderes exploram as novas capacidades de atender as novas pressões, a fim de atender pressões ainda maiores e mais eficientemente (lei dos sistemas esticados). Sob a pressão por desempenho e eficiência, os avanços são no sentido de pedir ao pessoal que "façam mais, mais rápido ou de formas mais complexas" (relatório da NASA¹ apud Woods e Hollnagel, 2006 p.18).

¹NASA (2000)
relatório sobre a
Investigação da
Mars Orbiter
Mishap
participação

Os pesquisadores não ficam neutros ou distantes frente as situações experienciadas e acabam sendo parte do processo sob estudo, já que seu estudo faz parte do processo de mudança.

cinco desafios do projeto

Para participar da geração de novas possibilidades futuras, os métodos de análise devem ser tais que atendam os cinco desafios do projeto (Woods e Hollnagel, 2006 p.58):

1. o problema da vantagem: como os estudos em JCS ajudam a decidir onde gastar os recursos limitados a fim de ter impacto significativo?
2. o problema da inovação: como os estudos em JCS dão suporte aos processos de inovação?

3. o problema do mundo envisioned: como os resultados que caracterizam as atividades cognitivas e cooperativas na situação atual informam ou se aplicam ao processo projetual já que a introdução de uma nova tecnologia irá transformar a prática natural?

4. o problema da adaptação pelo uso: como é possível prever e moldar o processo de transformação e adaptação que se segue a uma mudança tecnológica?

5. o problema dos erros no projeto: a falácia da substituição da visão do projetista quanto aos impactos das novas tecnologias na cognição e colaboração, pelos achados empíricos mas generalizáveis sobre os efeitos reais sob o ponto de vista dos sujeitos trabalhando na prática.

padrões de funcionamento do JCS

Existem conceitos centrais que descrevem os padrões de como o JCS funciona: demandas e adaptação, coordenação, colaboração e cooperação, *affordance* e resiliência. Como os primeiros são auto-explicativos, os dois últimos padrões serão definidos a seguir.

affordance

Affordance é a relação entre os atores e os artefatos utilizados para atender as demandas do trabalho. *Affordance* é o ajuste (correspondência direta) entre a tríade demanda, agente e artefato (Woods et al., 2005 p.64).

resiliência

Resiliência diz respeito a como um sistema reconhece e lida com situações que desafiam ou transcendem os limites do trabalho normal. Estes episódios de variabilidade inantecipável, ou perturbações requer uma mudança de estratégia e coordenação. O conceito da resiliência deu origem a uma nova forma de gerenciamento de segurança, sob o ponto de vista da ESC, denominada Engenharia de Resiliência.

Engenharia de Resiliência

Em virtude da dinamicidade dos sistemas, novas formas de erro e de riscos surgem a cada dia, fazendo com que seja impossível prever todas as condições latentes do sistema, ou seja, aquelas falhas estruturais que não possuem conseqüências imediatas, mas que aguardam um fator desencadeador para vir à tona (Reason, 1997). Por isso, Woods e Wreathall (2003) acreditam que o gerenciamento da segurança e da qualidade da produção deve ser focalizado na habilidade da organização em adaptar-se ou absorver distúrbios, perturbações ou mudanças, ou seja, em propriedades que caracterizam a resiliência desta organização.

Desta forma, surge a idéia de tornar as organizações mais resilientes. A Engenharia de Resiliência é uma abordagem recente que utiliza as

percepções das pesquisas em sistemas complexos de alta confiabilidade e de alta performance humana para desenvolver práticas de mensuração de recursos, suporte a decisões balanceadas entre produção e segurança e, principalmente, *feedbacks* para incrementar a habilidade da organização em monitorar riscos e orientar os investimentos em segurança (Woods e Wreathall, 2003; Hollnagel e Woods, 2005). A definição de Wreathall (2006) resume a importância desta nova engenharia para o sucesso das empresas:

No contexto da variabilidade que permeia o trabalho, a resiliência é a habilidade de uma organização (sistema) de manter, ou recobrar, rapidamente, a um estado estável, permitindo que ela continue operando durante e depois de um incidente ou na presença de um estresse contínuo (Wreathall, 2006 p.258).

As organizações que desempenham operações potencialmente perigosas associadas a baixos índices de incidentes, como as usinas nucleares, petroquímicas e a aviação, caracterizam uma organização de alta confiabilidade. Estas organizações, segundo Reason (2000), são um exemplo de sistemas resilientes, pois embora não sejam imunes aos eventos adversos, elas aprenderam a converter os retrocessos ocasionais em melhorias na resiliência do seu sistema. Uma proposta de utilização dos princípios da Engenharia de Resiliência para a redução de situações de estresse e incidentes é capacitar o indivíduo para identificar as situações de sobrecarga de trabalho e/ou perigo iminente ou de desempenho mal sucedido e prepará-los para ser pró-ativos e tomar uma atitude de controle da situação. É claro que, para tanto, os indivíduos precisam de autonomia que lhes assegure confiança suficiente para que enfrentem o problema.

Engenharia
de
Resiliência é
o enfoque da
segurança
da
Engenharia
de Sistemas
Cognitivos

Portanto, o conceito de Engenharia de Resiliência, conforme Woods e Hollnagel (2006), é o enfoque da segurança da Engenharia de Sistemas Cognitivos. Ela tem aplicação direta na remodelação da abordagem da segurança das organizações, no que tange a elaboração de estratégias que incrementem a resiliência do sistema, de modo a anteceder e prevenir acontecimentos inesperados e minimizar as conseqüências de possíveis acidentes. É basicamente uma releitura da ergonomia cognitiva até então aplicada nos estudos de incidentes: ao invés de analisar os incidentes para entender as situações críticas, a Engenharia de Resiliência dá ênfase às situações bem sucedidas, quando a empresa opera em situações críticas, a fim de aprender com esta situação. Além disso, uma diferença importante entre a abordagem da Engenharia de Resiliência e as abordagens tradicionais de gerenciamento da segurança (veja nos *Capítulos 8.1 e 8.2* deste livro) é que estas estão mais

preocupadas em identificar e criar defesas para um conjunto de problemas prescritos, usando técnicas que são limitadas no sentido de representar o comportamento humano e capturar as influências de fatores organizacionais e externos. Portanto, usar apenas estas técnicas não é o suficiente para entender o comportamento das organizações. Wreathall (2006 p.261) propõe ampliar a análise com indicadores, dados e informações no nível do operador (*sharp end*) e da organização (*blunt end*). Os indicadores típicos no nível do operacional são a interface com outros grupos, falta (ou deficiência) de informações relevantes no momento necessário, falta de ferramentas, equipamentos e recursos em geral, e falta de pessoal adequado para o trabalho. Indicadores da organização são sete, definidos a partir de um estudo de Reason sobre 65 modelos que descreviam os processos organizacionais que levavam ao sucesso e segurança (Wreathall, 2006 p.262):

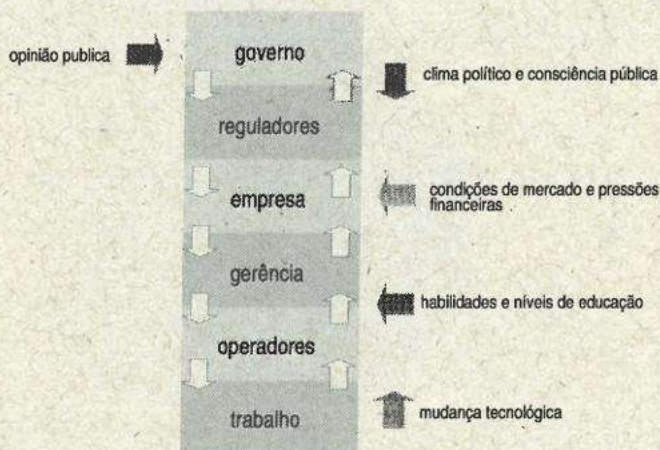
1. comprometimento da gerência, que valoriza o desempenho do ser humano;
2. consciência, valoriza as informações quanto o estado do sistema, a qualidade do desempenho humano e da empresa, avalia os problemas e as defesas;
3. preparo, está a frente dos problemas pois os antecipa;
4. flexibilidade, ou o grau de facilidade da empresa em adaptar-se a um novo problema;
5. cultura de geração de relatos, uma cultura de justiça, que incentiva e não pune os relatos, mas não aceita ações culposas;
6. cultura de aprendizagem ou como a empresa responde às ocorrências: negando-as ou se preparando para enfrentá-las;
7. opacidade a empresa tem consciência das fronteiras e sabe quão perto está dos limites.

estrutura
sistêmica de
segurança
(Vicente,
2004)

Na mesma linha do ESC, Vicente (2004), com base em Rasmussen (1997), propõe que virtualmente todos os sistemas complexos comportam uma hierarquia de participantes (indivíduos e organizações). O número de níveis hierárquicos e seus rótulos diferem em função da empresa, mas a *Figura 2* apresenta a estrutura genérica. A parte de baixo da estrutura compreende os fatores técnicos e ambientais associados com um dado trabalho (por exemplo, petroquímica, aviação,

metalúrgica etc). Os níveis seguintes descrevem as atividades dos indivíduos que atuam diretamente na linha de frente das operações (o *sharp end* no ESC). O terceiro nível descreve as atividades dos gerentes que supervisionam os operadores, o quarto nível descreve as atividades da empresa como um todo. O quinto nível diz respeito aos reguladores e, o sexto descreve as atividades do governo, cujas atividades políticas estão relacionadas à opinião pública. As ações e reações dentro e entre cada nível estão interrelacionadas. Assim, a segurança pode ser entendida como uma propriedade emergente de um sistema sociotécnico complexo que é influenciada por todos os integrantes do sistema.

Figura 2
hierarquia de participantes (indivíduos e organizações) e interações na segurança de sistemas complexos (Vicente, 2004)



estrutura
sistêmica de
segurança
5C (Fischer,
2005)

Fischer (2005) desenvolveu um modelo sistêmico de segurança do trabalho (denominado 5C) com base nos fatores causais e contributivos aos acidentes do trabalho abordados na literatura, na análise macroergonômica do trabalho e no ponto de vista de quem os percebe (fator subjetivo). O Modelo 5C (que considera a carga de trabalho, a confiabilidade do sistema, capacitação de pessoal, custos e cultura de segurança) evoca a perspectiva multifatorial (em consonância com a abordagem multicausal do acidente) e o pensamento sistêmico, impelindo a uma reflexão acerca da complexidade do sistema de segurança do trabalho. Sua estrutura apresenta hierarquia, (sub)fatores 5C, relações e níveis, representando, portanto, um modelo sistêmico que, no caso, é sociotécnico. A estrutura hierárquica (Figura 3) prioriza os fatores 5C em função do potencial de permeabilidade de cada fator no contexto do modelo, segundo a lógica quão maior, mais crítico. Os (sub)fatores 5C e os fatores hipotéticos de distância e

proximidade podem atuar tanto no sentido de minimizar quanto de maximizar as condições de trabalho (in)seguras. A relação constrangimento-resposta adverte para o fato de que cada (sub)fator C pode gerar e/ou operar sob um conjunto de restrições (constrangimentos) que podem ampliar as condições ou eventos inseguros, dependendo das respostas que lhe forem retribuídas. Os níveis visam à abstração e transposição dos fatores 5C ao plano operacional, passo pequeno, mas importante, para a condução de uma segurança do trabalho sistêmica.

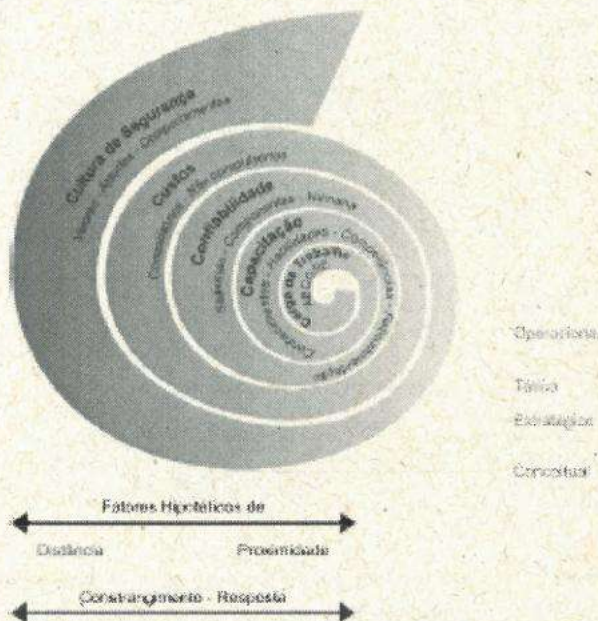


Figura 3 modelo sistêmico 5C de segurança no trabalho (Fischer, 2005)

As abordagens mais contemporâneas relacionadas à cognição (ESC) e ao gerenciamento de segurança (Engenharia de Resiliência) vem a favor de suprir a qualidade do trabalho e de vida dos sistemas. As exigências por aumento de produtividade, associadas à adoção de novas formas de tecnologia e de conhecimentos, incrementam os riscos de ocorrência de situações extremas e consequente erros humanos e incidentes nas organizações. No entanto, a literatura mostra que poucos são os estudos que abordam estratégias para antecipação e previsão destas situações, de modo que os incidentes possam ser evitados ou ter seus danos minimizados. Adotando uma percepção de

que os incidentes não são decorrentes de comportamentos inapropriados dos trabalhadores, mas, sim, consequência de um contexto organizacional desfavorável, como sugerido por pesquisadores como Reason (1997), Rasmussen, (1997), Vicente (2004) e Woods *et al.* (1994; 2005), iniciativas sistêmicas que se propõe a aplicar o conceito sociotécnico, macroergonômico, e da Engenharia de Sistemas Cognitivos (e da Engenharia de Resiliência), enfim, são fundamentais para entender o comportamento das empresas, e principalmente, dos grupos que operam em situação de risco constante. Não importando o tipo de representação gráfica, todos os modelos descritos abordam basicamente os mesmos fatores, e enfatizam a interdependência entre os mesmos. A meta das abordagens sistêmicas são uma alternativa melhor do que as tradicionais da engenharia de segurança, pois permite antecipar situações extremas, reduzir o número de incidentes que, se não fosse pela experiência dos atores envolvidos, seriam maiores, mais graves e em maior número.

REFERÊNCIAS

AMALBERTI, R. (1996) *La conduite de systèmes à risques*. Paris: Presses Universitaires de France.

FISCHER, D. (2005) *Um modelo sistêmico de segurança do trabalho*. Porto Alegre - UFRGS - Tese de Doutorado. Engenharia de Produção - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.D. (2005). *Joint cognitive systems: foundations of cognitive systems engineering*. Boca Raton: CRC/ Taylor & Francis,

HOLLNAGEL, E., WOODS, D.D. AND LEVESON, N., editors. (2006). *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. London: Ashgate.

RASMUSSEN, J. (1997) Risk management in a dynamic society: a modeling problem. *Safety Science*, v.27, n.2 e 3, p.183-213, 1997.

REASON, J. (1997) *Managing the risks of organizational accidents*. Aldershot, UK: Ashgate.

VICENTE, K. (2004) *The human Factor: revolutionizing the way we live with yechnology*: Vintage Canada.

WOODS, D. D. (2005) Discovering How Distributed Cognitive Systems Work. In: HOLLNAGEL, E., *Handbook of Cognitive Task Design*. In press.

WOODS, D.D.; HOLLNAGEL, E. (2006) *Joint cognitive systems : patterns in cognitive systems engineering*. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis.

WREATHALL, J. (2006) Properties of resilient organisations: an initial view. Hollnagel, E., Woods, D.D. and Leveson, N. (editors). *Resilience Engineering: Concepts and Precepts* (capítulo 17 p. 258-68). London: Ashgate.

A Complexidade do Erro, “Erro Humano” e Sistemas Complexos

Lia Buarque de Macedo Guimarães

Errar é humano. Segundo Amalberti (1996), a aeronáutica, o sistema nuclear, o transporte ferroviário e a marinha mercante apresentam relatórios onde cerca de 75% das causas dos acidentes são imputáveis ao ser humano. Na medicina, o “erro humano” foi considerado a causa de 44000 a 98000 mortes/ano em hospitais americanos (Brennan *et al.*, 1991). Para se ter uma idéia da importância destas estatísticas, considere que é o equivalente à queda de um jato, sem sobreviventes, a cada dia ou dois. Considerando a estatística mais conservadora, o erro médico seria a oitava causa de mortes nos EUA, matando mais que a AIDS (16516), câncer de seio (42297) e acidente de trânsito (43458). Isso é quase inacreditável, considerando que os EUA são conhecidos por terem a mais avançada medicina do mundo.

Como o “erro humano” é geralmente considerado a causa de incidentes (acidentes, quase-acidentes e falhas), o ser humano é, então, o ponto fraco de um sistema, limitador de seu desempenho e segurança. A solução é, portanto, eliminar, ou reduzir ao máximo, a participação humana nos sistemas e, sem dúvida, separar a “maçã podre” do resto da cesta. Segundo Vicente (2004 p.146), para muitas pessoas, o obstáculo para um sistema de saúde seguro são os profissionais incompetentes e descuidados, as “maçãs podres”, cujos erros acabam por matar os pacientes e, portanto, a solução está na punição. Será? Vicente (2004 p.146) cita uma passagem de um relatório do médico Lucian Leape, de 1994, sobre erros médicos:

“Espera-se que os médicos atuem sem erro, uma expectativa traduzida, pelos médicos, como a necessidade de serem infalíveis. Um resultado disto é que os médicos...entendem o erro como uma falha de caráter - voce não foi cuidadoso o suficiente, voce não tentou o suficiente...Já foi sugerido que esta necessidade de ser infalível cria uma forte pressão para a desonestidade intelectual, de esconder os

erros ao invés de admiti-los... As lições aprendidas são repassadas para um grupo muito restrito, se é que são, e raramente ocorre uma avaliação externa, objetiva, daquilo que deu errado...O modelo da perfeição: se os médicos e enfermeiros pudessem ser corretamente treinados e motivados, eles não errariam. Os meios usados para atingir tal meta são o treinamento e a punição.

No entanto, a teoria da "maçã podre", que simplifica a solução para o problema punindo os criminosos culpados, já que os bons não erram, não funciona porque: i) a solução punitiva dificulta o entendimento da real situação de um sistema e impacta nas reais estatísticas de incidentes, já que muito não é reportado para salvaguardar a reputação dos profissionais envolvidos; ii) além de dificultar o entendimento do real problema por trás dos erros, a busca por criminosos é inútil na redução do alto índice de incidentes, pois segundo Vicente (2004 p.146), as investigações médicas mostram que o erro criminoso é muito raro em medicina, sendo a grande maioria dos erros cometida por profissionais honestos, com boas intenções e capacitados. Esta evidência põe um fim na teoria da "maçã podre" e descortina a complexidade por trás do erro humano, não só na área médica mas em todos os tipos de sistema.

Por um lado, a análise isolada do desempenho humano após um acidente ou um quase-acidente apenas fomenta a tendência tradicional de punir os indivíduos; por outro lado, a crença de que os erros humanos são atos randômicos básicos no desempenho humano bloqueia o entendimento e, portanto, o controle dos fatores que estão por trás das falhas de sistemas, principalmente em sistemas complexos. As pesquisas (veja em Christoffersen e Woods, 1999; e Woods *et al.*, 1999) mostram que as falhas técnicas são cada vez mais raras pois a tecnologia permite o projeto e instalação de sistemas técnicos cada vez mais robustos. No entanto, as falhas, quando ocorrem, são cada vez mais graves nos sistemas cada vez mais complexos porque segundo Amalberti (1996): i) há um distanciamento cada vez maior entre o operador e a condução manual do sistema (uma condução assistida pela tecnologia); ii) há exigência por desempenho cada vez mais próximos dos limites de segurança; iii) há uma busca pela proteção contra os riscos e as responsabilidades.

Conforme Amalberti (1996), a fim de assegurar o sistema contra os riscos de falhas técnicas e humanas, o projetista impõe o modo de operação e reduz as graus de liberdade do operador, principalmente reduzindo sua responsabilidade ("o que não está prescrito, está

proibido"). Ao final, o projetista se apropria do trabalho do operador e o dirige.

Para Woods *et al.* (1994), fundamentalmente, três fatores principais influenciam o desempenho humano e criam oportunidades para falhas e que, portanto, o erro humano é um sintoma mais do que a causa de um problema: fatores de *design* da tarefa, da interface entre a tecnologia e o ser humano, e da organização moldam o desempenho humano, principalmente em sistemas complexos. Desta forma, de acordo com Woods *et al.* (1994) o erro humano não é uma conclusão mas, sim, o ponto de partida para uma investigação. A oportunidade de se aprender a partir dos incidentes para gerar sistemas mais confiáveis e robustos depende de se compreender os fatores que transcendem o erro humano (Woods *et al.*, 1994).

A ergonomia com enfoque mais macro, mais sistêmico, e mais recentemente a engenharia de sistemas cognitivos (veja no *Capítulo 8*) procuram entender os fatores por trás do erro humano considerando os problemas que as pessoas enfrentam, o desenho das ferramentas que as pessoas usam, e a organização que fornece os recursos para o trabalho e especifica suas metas. Ergonomicamente falando, o erro geralmente é do sistema e, não, do ser humano. Para que uma desatenção ou negligência resulte em acidente, houve uma série de situações e decisões que criaram as condições de erros e acidentes.

estrutura de comportamento SRK, proposto por Rasmussen (1986): no nível da aptidão (SBB) ocorrem lapsos ou deslizes. Erros estão relacionados ao nível das regras (RBB) e do conhecimento (KBB)

Errar é humano, acontece frequentemente, mas apresenta características diversas em função do tipo de controle do indivíduo e das características da situação em que ocorre. Reason (1990), entre outros autores, utiliza a estrutura de comportamento SRK, proposto por Rasmussen (1986) (veja *Capítulo 5* deste livro), para diferenciar entre os lapsos ou deslizes (ou os erros relacionados ao nível da aptidão (SBB), e erros que ocorrem no nível das regras (RBB) e do conhecimento (KBB). Cada um dos três níveis de processamento do sistema SRK está relacionado com diferentes demandas cognitivas e diferentes desempenhos. Estes níveis se diferenciam tanto sob o ponto de vista psicológico do controle quanto da característica da situação, conforme descrito a seguir.

Sob o ponto de vista psicológico, pode-se considerar que os seres humanos controlam suas ações com base na combinação de dois modos de controle: o consciente e o automático. O modo consciente é restrito em capacidade, lento, sequencial (ou seja, só permite executar uma ação de cada vez), laborioso, sujeito a erro mas bastante "inteligente". É o modo

que entra em ação quando se está prestando atenção a alguma coisa. Mas como a atenção é uma fonte limitada, quando se foca em algo é necessário desviar a atenção de alguma outra coisa.

O modo automático é o oposto. É inconsciente, ou seja, apesar de estarmos cientes do produto (uma palavra, uma ação, uma idéia, uma percepção) não estamos cientes do processo que gerou tal produto. Como independe da atenção, o modo automático é virtualmente ilimitado em capacidade. É um modo muito rápido e opera em paralelo (ou seja, permite executar várias ações ao mesmo tempo). Este modo não exige esforço, o que é essencial para que o ser humano possa desempenhar suas tarefas do dia-a-dia. No entanto, ele não é "inteligente" (opera com o mínimo de conhecimento na memória de trabalho) e, portanto, não resolve problemas como ocorre no modo consciente.

Sob o ponto de vista da situação, considera-se um contínuo cujas extremidades são uma situação altamente familiar, do dia a dia, e uma situação de um novo problema totalmente novo. A Figura 1 mostra os três níveis de desempenho em função do modo de controle e da situação, de acordo com Reason (1997).

Figura 1
Localização dos três níveis de desempenho em relação ao modo dominante de controle cognitivo da atividade e a natureza da situação (Reason, 1997)

situação	Modos de controle		
	automático	misto	consciente
Problemas complexos			Baseado no conhecimento
Treinado para problemas		Baseado nas regras	
rotina	Baseado nas aptidões		

A atuação no nível da habilidade (*skill based behaviour* ou SBB) reflete alta familiaridade, prática, rotina e alocação de pouca atenção consciente. Passa-se para o comportamento no nível das regras (*rule based behaviour* ou RBB) quando há necessidade de modificar o comportamento pré-programado de SBB devido à ocorrência de uma mudança na situação. RBB envolve regras (do tipo "se esta situação então esta ação") que o trabalhador evoca da memória ou obtém de fontes tais como guias, manuais, ou do conhecimento tácito dos colegas etc. Ao aplicar estas regras, automaticamente se compara os sinais e sintomas de um dado problema com uma dada estrutura de conhecimento estocado. Aplica-se, então, o raciocínio consciente para avaliar se a solução é a certa para aquela situação. Recorre-se ao nível KBB (*knowledge based behaviour*), que é lento e trabalhoso, em última instância, quando, após várias tentativas em RBB, não se

consegue chegar a uma solução com as alternativas disponíveis. Operar em situações não familiares de KBB demanda uma bagagem maior de conhecimento, geralmente formal, demandando mais das fontes de processamento de informação.

Segundo Reason (1990), uma condição para que os erros RBB e KBB ocorram é a consciência de que um problema existe. Como no nível RBB e KBB o controle é consciente, os erros são de planejamento, e ocorrem porque, apesar das ações estarem de acordo com o plano, o plano é inadequado. Os deslizes e lapsos precedem a detecção de um problema, enquanto no RBB e KBB, os erros ocorrem na busca consciente por uma solução. Como o comportamento SBB representa o desempenho sensoriomotor, inconsciente, ele é propenso a erros de execução, e não de intenção: são lapsos ou deslizes, ou seja, desvios de uma dada intenção correta devido a falhas ou na execução ou no sistema de armazenamento de informação.

lapsos e deslizes
como erros de ação no dia-a-dia (nível SBB)

Segundo Norman (1988), as pessoas cometem erros rotineiramente porque as ações subconscientes, automáticas, do comportamento baseado na habilidade (SBB) sofrem alguma forma de interferência. A maioria dos erros do dia-a-dia são lapsos e deslizes, também chamados erros de execução. Mais detalhadamente Reason (1990) discrimina entre deslizes de atenção e lapsos de memória: deslizes são as ações observáveis e geralmente associadas com falhas perceptuais ou atencionais. Os lapsos são eventos mais internos e envolvem falha na memória. Eles ocorrem quando o operador tem intenção de atuar corretamente mas o processo de traduzir esta intenção correta em uma seqüência específica de ações detalhadas necessárias para essa intenção é perturbado. Em suma, no caso dos lapsos e deslizes, o objetivo é correto mas a ação não.

Lapsos e deslizes geralmente são de pouca importância e podem ser facilmente detectados pela simples observação ou monitoramento: uma ação desejada e não executada, um objeto errado movido etc. Norman (1988) comenta que eles não são frequentes durante um aprendizado (ou seja, quando o comportamento se dá no nível RBB ou KBB) pois esta situação requer alocação de atenção e lapsos e deslizes do nível SBB são inatencionais.

Em parte, os lapsos são devidos à falta de atenção ou à pouca atenção alocada quando se executa mais de uma tarefa automática de uma só vez. O rompimento de uma seqüência pré-programada ou automática, que é típico de SBB, pode resultar no esquecimento de atividades ou

Design da tarefa: erro de ação por omissão de atos isolados

repetição de atividades já executadas. Por exemplo, suponha que o operador desempenha uma série de operações tipo ABCD que requer pouca atenção em virtude da prática. Quando uma modificação na atividade é feita e requer proceder de forma ADB ao invés de ABCD, o operador vai proceder B logo após ter feito A. É um lapso classificado como erro de inatenção (SBB) pois se o operador investisse mais atenção para superar a tendência de atuar em função da rotina anterior, o erro seria evitado. Outro exemplo de lapso SBB é a omissão de um ato isolado (geralmente a última ação numa seqüência prescrita) por alguma interrupção. É o caso também quando o operador tem a intenção de iniciar uma seqüência de trabalho mas é interrompido por um alarme. Depois de responder ao alarme, o trabalhador se devota a outras atividades esquecendo o que tinha iniciado. A exigência de um controle atencional excessivo, em um dado momento, também pode levar a lapsos SBB, como é o caso do trabalhador ter que interromper alguma atividade para analisar uma situação.

Design da tarefa: sobrecarga de memória

Os exemplos mostram que geralmente os lapsos ocorrem quando uma ação não está conectada física e funcionalmente com ações prévias ou sucessivas. Como resultado de como a tarefa foi desenhada, não existe nenhuma pista na estrutura das atividades para funcionar como uma memória externa e lembrar o usuário daquela operação. Esta característica aumenta a memória de trabalho do operador. Quando essa sobrecarga da memória se conecta com a ocorrência de outros fatores que também exigem a memória de trabalho do usuário (por exemplo, quando se tem opções de múltiplas tarefas, sobrecarga de trabalho, fadiga) aquela ação isolada é facilmente comprometida. Quando a tarefa influencia a carga de memória, comprometendo as atividades cognitivas do pessoal envolvido no sistema, e outros fatores presentes também desafiam a memória de trabalho, uma ação errada pode ocorrer.

Norman (1988) faz referência a uma conspiração contra a memória humana tendo em vista as ações erradas por sobrecarga da memória dos usuários em virtude de como muitas tarefas são desenhadas. Sintomas da sobrecarga da memória são algumas adaptações que os usuários fazem no console de controle, tais como colocar avisos grudados na tela do computador. Norman (1988) identifica seis tipos de lapsos:

erro de captação

O erro de captação ocorre sempre em que duas ações diferentes têm etapas iniciais comuns mas uma tem seqüência pouco conhecida, enquanto a outra é habitual. Por exemplo, pegar o carro para ir ao parque no domingo mas chegar no escritório.

erro de descrição	O erro de descrição caracteriza-se pela ação correta com o objeto incorreto. A probabilidade de se cometer um erro aumenta quanto mais próximos estão estes objetos e quanto mais parecidas são as ações para um mesmo fim. Por exemplo, jogar a roupa suja no vaso sanitário ao invés da cesta.
erro de dados	O erro de dados ocorre quando as informações sensoriais interferem no curso de uma ação, modificando-a inconscientemente. Por exemplo, o indivíduo lê o número de telefone a ser discado (estímulo visual), mas inconscientemente disca para o próprio telefone que está utilizando.
erro por ativação associativa	O erro por ativação associativa é causado por associações internas entre pensamentos e idéias. Por exemplo, um indivíduo atende ao telefone dizendo: pode entrar! (associa o toque da campainha do telefone ao toque na porta).
erro por perda de ativação	O erro por perda de ativação ocorre quando se esquece o objetivo da ação, pois os mecanismos de ativação da ação perdem a importância antes que ela seja concluída. Por exemplo, um indivíduo desloca-se em direção a uma estante e pára pois não lembra mais o que foi buscar.
erro de modo	O erro de modo ocorre quando vários dispositivos têm diferentes modos de operação e o ato correto, para um determinado modo, tem outro significado em modos diferentes. Este tipo de erro é freqüente em equipamentos desenhados para ter múltiplas funções. Por exemplo, ao tentar ativar a luz para ler a hora em um relógio digital de pulso mas, como resultado, zera-se o cronômetro. Casey (1993 p.13-21) apresenta o caso da máquina de radiação Therac-25 que foi desenhada para ser o que havia de melhor na área: raio X em um modo (pressionando a tecla "x") e feixe de elétrons em outro (pressionando a tecla "e"). No entanto, o projetista não previu que o operador poderia errar a seleção e optar por cancelar aquele modo para substituir por outro. Quando isto acontecia, a máquina retornava a informação "Mal funcionamento 54" e deflagrava raios 125 vezes mais fortes do que o programado. Várias pessoas morreram de sobrecarga de radiação até que o fabricante atentasse para o problema de projeto.
Design da interface humano-tecnologia: erros de ação do dia-a-dia (erro de modo)	O erro de modo é um exemplo clássico de como os fatores de <i>design</i> podem criar desempenhos ruins. O erro de modo pode ser entendido como uma ruptura da interação entre seres humanos e máquinas, especialmente em dispositivos computadorizados. Norman (1988) sumariza que esse tipo de erro acontece só pelo fato de se mudar as regras: é só deixar que algo seja feito de um jeito em um modo e, de outro jeito, em outro modo. Quando isto ocorre, o ser humano pode

errar a partir do momento que executa uma ação apropriada em um modo mas que significa outra ação em outro modo. Em outras palavras, diferentes modos de operação num mesmo dispositivo gera oportunidade para erros. É o tipo de erro de ruptura do sistema. Billings (1996) mostrou que os erros de modo são fatores críticos contribuintes para os acidentes de avião.

Amalberti (1996) salienta que na história dos últimos acidentes da família de aviões Airbus, ocorreram dez acidentes em seis anos (sem nenhuma pane técnica): cinco acidentes com aviões A300/A310, quatro acidentes com aviões A320 e um acidente com um A330. Entre os quatro acidentes com aviões A320, dois foram por erro de modo: má interpretação e seleção de modos de piloto automático em Bangalore (Índia, 1990); um erro de seleção do modo de descida vertical no piloto automático em Mont Sainte Odile (França, 1992).

Woods e Sarter (2006) comentam que os erros de modo em sistemas complexos podem advir de vários fatores inclusive a falta de indicação evidente do status e/ou comportamento do sistema, ou falha no modelo mental do operador, que dificulta a interpretação do que o sistema está informando. Os autores propõem três maneiras para redução de erros de modo:

- eliminação de modos desnecessários (reconhecendo que existe um custo operacional associado à adoção de modos para flexibilidade, marketing etc);
- procurar maneiras de aumentar a tolerância do sistema a erros de modo. Procurar erros de modo e: a) assegurar que há uma forma de recuperação antes da ocorrência de algo negativo; b) as ações são reversíveis;
- prover uma boa indicação do modo de operação e feedback quando houver a mudança de modo.

A segurança pode ser aumentada se (veja em Woods e Sarter, 2006, para mais detalhes):

- aumentar a tolerância a erros;
- reduzir o excesso de complexidade operacional;
- avaliar o potencial que as novas tecnologias e treinamento têm na geração de erros;

- aumentar a habilidade para a detecção de informação aumentando o poder de observação do estado do sistema;
- investir na expertise dos operadores.

Erros como erro cognitivo (nível RBB e KBB)

Enquanto os deslizos e lapsos são falhas de uma ação automática apesar do objetivo estar correto, os erros, por outro lado, decorrem de um objetivo errado e, portanto, são o resultado de uma deliberação consciente. Os erros (e não os lapsos do dia-a-dia), a complexidade do erro e suas consequências em sistemas complexos, são o foco deste capítulo.

diferença entre erros e violações

Primeiro, é importante diferir entre erros e violações. As ações erradas geradas conscientemente, mas sem o intuito de dano, que ocorrem no nível RBB e KBB, são entendidas como erros, enquanto as ações intencionalmente erradas são consideradas violações. Lawton e Parker (1998) fazem a seguinte diferença entre erros e violações:

- erros não intencionais são falhas geralmente associadas com fatores cognitivos, tais como a capacidade limitada de processamento da informação e de memória de curta duração;
- violações são desvios dos métodos de trabalho considerados seguros, que podem ter origem tanto em fatores psicológicos quanto sociais.

erros e violações mais frequentes em cinco canteiros de obras (Saurin, Formoso e Cambraia, 2005)

Um estudo de Saurin, Formoso e Cambraia (2005), que discutiu o impacto de um modelo de planejamento e controle da segurança (PCS) no controle dos erros humanos, incluiu o levantamento e análise dos "erros humanos" mais frequentes em cinco canteiros de obras na região metropolitana de Porto Alegre, RS. A definição dos erros levantados considerou:

- planejamento e controle: treinamento não fornecido, interferência entre equipes, perigos e ações preventivas mal especificadas, falhas no planejamento de métodos, perigo não identificado, falhas no planejamento das proteções coletivas;
- erros (trabalhadores): falhas de comunicação entre membros da equipe; erros no método de execução;
- erros (gerentes): treinamento ineficaz;
- violações (trabalhadores): operação imprudentes de equipamentos, falta de uso de EPI, outros atos inseguros;
- violações (gerentes): falta de implantação ou manutenção de proteções coletivas.

A distribuição das causas de falhas de segurança se apresentaram conforme a *Tabela 1*.

Tabela 1
Distribuição das causas de falhas de segurança em cinco canteiros de obra (Saurin, Formoso e Cambraia, 2005)

	Obra A	Obra B	Obra C	Obra D	Obra E
Falhas de planejamento e controle	51,6 %	51,4 %	66,7%	35,4%	51,8%
Erros (trabalhadores)	0,0 %	0,0 %	2,2%	0,0%	6,2%
Erros (gerentes)	2,2%	1,7%	5,9%	1,3%	6,2%
Violações (trabalhadores)	16,5%	27,8%	12,6%	54,7%	16,2%
Violações (gerentes)	9,9%	19,1%	12,6%	8,6%	19,6%
Violações (interferências do cliente)	19,8 %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

As falhas foram detectadas com base na análise de quase-acidentes e na coleta de um indicador de aderência entre os planos de segurança e o desempenho real. Vale notar que algumas das violações apresentadas na *Tabela 1* são causas imediatas (por exemplo, falta de uso de EPI) e não causas raízes. De fato, essa limitação da análise ocorreu pois às vezes não havia informação disponível para identificar claramente as causas subjacentes às violações. Além disso, a análise causal realizada neste estudo teve certo grau de subjetividade, como geralmente ocorre em análises deste tipo (Rasmussen *et al.*, 1994). Deste modo, algumas das falhas que foram classificadas como violações podem na realidade ter sido erros não intencionais ou falhas de planejamento e controle. Por exemplo, um trabalhador pode ter operado uma máquina de modo imprudente porque ele não entendeu completamente os procedimentos explicados durante o treinamento, ao invés de conscientemente ter tomado a decisão de não seguir o método seguro. Embora isso reduza a confiabilidade dos dados apresentados, cabe enfatizar que apenas como última opção uma causa foi classificada como violação. Também cabe salientar que as causas foram enquadradas em categorias específicas a partir de consenso entre os pesquisadores e o técnico em segurança das obras.

As falhas no planejamento e controle foram consideradas uma categoria específica de causas a fim de enfatizar esses problemas. Contudo, este tipo de falha também poderia ser considerada uma forma de erro não intencional na qual os gerentes desempenharam o papel central.

Como ilustrado na *Tabela 1*, as falhas de planejamento e controle foram a principal categoria de falhas nos cinco canteiros estudados (em média,, 51,4% do total). Devido a essa grande participação, bem como devido ao fato desses problemas serem mais facilmente controláveis em comparação às falhas comportamentais, parece razoável enfatizar a redução das falhas de planejamento e controle nos estágios iniciais das iniciativas de gestão da segurança em canteiros de obras.

Quatro das sete categorias de erros podem ser primariamente classificadas como violações (operação imprudente de equipamentos, falta de uso de EPI, falta de instalação ou manutenção de proteções coletivas e outros atos inseguros), enquanto as três restantes são tipicamente erros não-intencionais (treinamento ineficaz, falhas de comunicação entre membros da equipe e erros no método de execução). As violações corresponderam a vasta maioria dos erros (92% na obra A, 96% na obra B, 76% na obra C, 98% na obra D e 74% na obra E). Os tipos mais frequentes de violações foram a falta de instalação ou manutenção das proteções coletivas (35% do total de erros na obra A, 38% na obra C e 37% na obra E) e a falta de uso de EPI (43% do total na obra B e 55% na obra D).

É importante notar que os trabalhadores não foram os responsáveis pelas falhas ativas em duas categorias de falhas. A falta de implantação ou manutenção de proteções coletivas foi na maior parte decorrente da falta de ação de gerentes de produção, técnicos de segurança e mestres-de-obras. Suas violações foram principalmente causadas por pressões de prazo e alocação de responsabilidade mal definida. O treinamento ineficaz foi um erro não-intencional que tem como importante causa a falta de um programa de treinamento estruturado em nível corporativo.

O percentual de falhas dos trabalhadores em relação ao total de falhas de segurança foi similar nas obras A (16,5%), B (27,8%), C (14,8%) e E (22,4%), porém foi maior na obra D (54,7%). Os menores percentuais nas obras A, B, C e E podem ser explicados pelas exigências mais rigorosas dos clientes e pelo fato de que naquelas obras o percentual de mão-de-obra terceirizada era menor (menos de 40%). Em contraste, na obra D não havia praticamente nenhuma pressão do cliente em termos de segurança e cerca de 95% da mão-de-obra era terceirizada.

Nota-se que nos cinco canteiros de obras investigados, os erros não-intencionais de trabalhadores e gerentes tiveram pequena participação no total de falhas de segurança (5,1% do total). Os autores comentam que no que diz respeito aos trabalhadores, isso pode ser devido ao fato de que a demanda física é geralmente maior que a demanda mental no trabalho de construção, mas isso pode não ser verdadeiro em atividades de alto risco. De fato, é necessária investigação adicional em diferentes cenários de construção para avaliar a carga de trabalho física e mental e o consequente impacto nos erros. Além disso, foi identificada uma alta incidência de violações dos limites (43,5% do total de falhas nas cinco obras estudadas), principalmente pelos trabalhadores. Uma explicação para isso é o fato de que, ao enfatizar o palnejamento e controle da segurança, o modelo de PCS focalizou em garantir que os gerentes respeitassem os limites e não os trabalhadores.

erros no nível
RBB

No nível RBB, o potencial para erro tem início com a subespecificação cognitiva, ou seja, em algum ponto do processamento a especificação da informação estava incompleta ou inconsistente. Esta subespecificação, que resulta de processamento de informação e memória limitados, pode gerar dois vieses: o viés de frequência e o viés da similaridade que refletem, respectivamente, tendências de processar a informação com base na frequência com que um determinado comportamento acontece ou no grau de semelhança que alguma ocorrência tem com outras situações já vividas. A manifestação destes vieses no tipo de erro cometido depende do nível de desempenho, do contexto e das características individuais. Considere uma situação em que o *setup* da máquina se baseia em fatores tais como tipo de componente e processamento de operação. No entanto, o componente não segue completamente as especificações disponíveis para o operador. Apesar dessas inconsistências de subespecificação cognitiva, o operador decide utilizar a regra que sempre teve sucesso antes, mesmo ela sendo incorreta para a situação corrente. Este tipo de erro representa uma má aplicação de uma regra que, quando no contexto correto, é bem-sucedida. Reason (1997) apresenta uma classificação que relaciona o resultado do desempenho com o tipo de regra utilizado (Figura 2). Contudo, há uma importante situação que não está contemplada; a incorreta, porém bem sucedida, violação de boas regras.

Figura 2 As variações de desempenho no nível das regras (REASON, 1997)

	Boas regras	Más regras	Sem regras
Resultado positivo	Obediência correta	Violação correta	Improvisação correta
Resultado negativo	Violação	Conformidade infeliz	Erro no nível do conhecimento

Vicente (2004) chama a atenção para o aumento gritante de regras e procedimentos. Amalberti¹ (apud Vicente, 2004), notou que na Regulação Européia de Aviação, há um aumento médio de 200 novas regras por ano. Vicente (2004) comenta que a tendência por regras é tão grande que conheceu empresas onde haviam procedimentos para mudar procedimentos. Este engessamento do trabalho acaba por dificultar a atuação do operador e facilita a tendência à violação.

¹AMALBERTI, R. (2001) The paradoxes of almost totally safe transportation system. *Safety Science* 37:109-26

erros no nível
KBB

De acordo com Sharit (1999), o maior número de erros, inclusive de maior gravidade, ocorre no nível KBB, tendo em vista que a variabilidade do comportamento humano neste nível é maior. Os erros no nível RBB são menos drásticos e, portanto, o desafio consiste em (re)projetar sistemas de forma a fazer a transposição do nível KBB para o nível RBB ou SBB, onde as chances de erros são menores. Por exemplo, a colocação de ajudas de memória, como é a proposta das

interfaces ecológicas (Rasmussen e Vicente, 1987), pode transformar uma representação mais complexa (no nível KBB) em uma no nível RBB onde o operador tem mais oportunidade de ser bem-sucedido.

Classificação de erros segundo Wickens (1984) Wickens (1984) classifica os tipos de erro como de ação, de detecção e de decisão. Os dois primeiros tipos de erros estão bastante ligados à tecnologia utilizada e geralmente relacionados aos níveis RBB e SBB. Erros de decisão também são afetados pela tecnologia, mas estão mais ligados ao comportamento do ser humano, sendo mais drásticos no nível KBB.

Erros de ação Erros de ação são os que dependem de ação muscular, tais como posicionamentos errados, trocas de controle (como no caso do erro de modo) ou demora de ação. Grande parte destes erros são minimizados por postos/organização de trabalho melhor projetados.

Erros de detecção Erros de detecção ocorrem por falha na percepção de sinais, identificação ou classificação incorreta da informação. Exemplos de erro por projeto ruim de interface são vários no dia-a-dia. Os clássicos são o vídeo cassete (que ninguém programa), a painel do automóvel BMW série 7 (2003) com 800 possibilidades de controle (Vicente, 2004 p.35) que ninguém quer, sabe ou conseguiria usar. O exemplo anedótico é o documento de voto de Palm Beach (EUA) que, de tão confuso, pode ter dado a vitória ao presidente George W. Bush, em 2000, já que vários eleitores comentaram ter votado errado, e não conseguiram reverter o voto.

Design da interface humano-tecnologia: erros de ação e detecção Este tipo de erro é minimizado por produtos (documentos, painéis, controles etc) bem desenhados, legíveis (veja *Capítulo 3* sobre legibilidade) e ambiente de trabalho propício (nível reduzido de ruído, boa iluminação, temperatura agradável etc). Dentre os dez acidentes com aviões Airbus citados por Amalberti (1996), um dos cinco com aviões A300/A310, ocorrido em Nagoia (Japão, 1994) foi por erro de identificação de comando na troca de gás. Vicente (2004 p.142) descreve os acidentes (sobredosagem de morfina, por exemplo) que ocorreram em função de má programação da máquina de Analgesia Controlada pelo Paciente (ACP). O Emergency Care Research Institute (ECRI), que é líder mundial em segurança de equipamentos médicos, alertou para o fato que tal equipamento era suscetível a erros de programação, sendo que o risco de mal funcionamento aumentava pelo fato da interface humano-máquina e lógica de programação do aparelho serem complexas e entediadas (pela repetitividade de entrada de comandos e o longo tempo gasto na operação). No entanto, estima-se que entre 1998 e julho de 2000, o aparelho tenha sido responsável por 65 a 667 mortes (Vicente, 2004 p.143).

Muitos problemas de interface são decorrentes de um design ruim, e muitos problemas são evitados pela intervenção dos operadores que não são passivos no processo mas, sim, ativamente adaptáveis. Não apenas os operadores se adaptam às novas características do sistema, mas eles também alteram as características do sistema, de uma forma muito pragmática, e geralmente não prevista pelo projetista, para que fiquem de acordo com seus critérios e com suas preferências. Na verdade, os processos adaptativos ocorrem para compensar a informação mal projetada, até que ela se torne uma ferramenta útil. Casos claros de "melhoria" de interface de baixa usabilidade são os painéis cheios de "post its" colocados pelos operadores para auxiliar no dia-a-dia da tarefa. Rasmussen e Vicente (1987) e Vicente e Rasmussen (1988a, 1988b) consideram que a melhor interface é aquela que representa a situação de modo mais direto e econômico, ou seja, a interface ecológica (veja no *Capítulo 7* deste livro), que incorpora a idéia de "affordance" (veja no *Capítulo 8* deste livro) e, portanto, reduz os riscos de erros.

adaptação da tecnologia

Woods *et al.* (1994) chamam de adaptação do sistema, quando a adaptação foca na alteração da tecnologia para que ela se adapte às estratégias preexistentes dos operadores e às demandas das atividades: por exemplo, a adaptação do *setup* do equipamento, da configuração do sistema. Em um estudo de Cook e Woods (1996), os operadores setaram os equipamentos de forma a minimizar a necessidade de interação com a nova tecnologia durante períodos muito críticos ou de tempo prolongado. Isto ocorreu apesar desta nova configuração dos operadores ter neutralizado muitas das vantagens do novo sistema (a flexibilidade para atuar com um grande número de dados). Os operadores desprezaram ou alteraram uma função com o objetivo de alcançar a simplicidade de uso.

Design da tarefa

a adaptação da tarefa para minimizar erros de decisão que advém do design da tarefa

Principalmente no contexto de introdução de uma nova tecnologia, quando o sistema entra em operação, o ser humano altera as características do sistema para atender as características do novo trabalho. Mas além de alterar o sistema, a tarefa também é adaptada. Woods *et al.* (1994) chamam de adaptação da tarefa quando os operadores adaptam suas estratégias, e especialmente as estratégias de processamento cognitivo, para desempenhar tarefas com constrangimentos impostos pela nova tecnologia. Portanto, a adaptação da tarefa foca em como os operadores ajustam suas atividades e estratégias em função das características do equipamento. Por exemplo, um sistema de informação que força os operadores a acessar os dados de maneira serial ao invés de em paralelo, resulta numa proliferação de janelas e gerenciamento de

novas janelas para controle da tarefa (por exemplo, na busca de dados relacionados, fechando janelas quando elas começam a se acumular etc). Os operadores podem alterar o equipamento configurando janelas que relatam os dados disponíveis em paralelo mas eles ainda têm que adaptar suas atividades. Por exemplo, eles podem ter que aprender quando reescalar uma nova tarefa para minimizar a possibilidade de gerar situações críticas e, portanto, sua primeira necessidade é configurar a interface para que eles possam ver o que está acontecendo.

Esta readequação da tarefa e da tecnologia são processos básicos do sistema humano-máquina que abrem oportunidade para erros e falhas no sistema. Tarefas novas e novas tecnologias geram erros de ação e detecção mas, principalmente, erros de decisão.

Erros de decisão

São aqueles que ocorrem durante o processamento de informação, tais como erros de lógica, avaliação incorreta, escolha de alternativas erradas. A pessoa toma uma decisão errada, avalia mal uma dada situação, ou deixa de considerar todos os fatores relevantes para a tomada de decisão. Muitas vezes as pessoas tomam uma decisão com base na memória, mas esta, por exemplo, sofre o viés da generalização para o que ocorre mais comumente, e da supervalorização daquilo que é discrepante. São erros mais difíceis de minimizar pois podem ser fruto de produtos mal projetados, organização de trabalho mal concebida, fadiga, monotonia, estresse, falta de treinamento, instruções erradas etc. Dentre os dez acidentes com aviões Airbus citados por Amalberti (1996), um dos cinco com aviões A300/A310, por duas vezes, em Katmandu (Nepal, 1992), ocorreram erros de aproximação, em virtude de interpretações equivocadas de instrução de voo ou de rota. O acidente em Seul (Coreia, 1994) deveu-se a tomada de decisão errada (por uma tripulação que discutia violentamente), de aterrissar sob condições meteorológicas ruins. Dos quatro acidentes com aviões A320, um, ocorrido em Varsóvia (Polônia, 1993), foi por erro de avaliação e de decisão, em uma aterrissagem com mau tempo. O acidente com o A330 (França, 1994) foi devido a uma reação tardia da tripulação frente a uma situação inusitada durante exercícios de voo.

desvios que levam a erros de decisão (Wickens, 1984)

Segundo Wickens (1984), por natureza, o ser humano é um mau estatístico e mau vidente e isto introduz desvios que interferem na tomada de decisão. Estes desvios não são conscientes, mas intrínsecos à percepção humana. Dois ou mais desvios (Wickens, 1984), listados a seguir, podem ocorrer associados em uma dada situação:

simplificação	O ser humano reduz as alternativas de escolha (a duas ou três) devido à capacidade de memória de curta duração ser reduzida (veja <i>Capítulo 4</i>);
conservadorismo	A tendência natural é manter as hipóteses originais, mesmo que fatos novos evidenciem o aparecimento de novas hipóteses;
tendência central	Tende-se a superestimar as probabilidades de baixíssima frequência e a subestimar aquelas de alta frequência. Por isso, têm-se medo de doenças raras mas desafia-se (tomando-se pouco cuidado) acidentes de trânsito que ocorrem com alta frequência;
predominância de fatos mais recentes	Fatos mais recentes tendem a predominar sobre os mais antigos mesmo que estes tenham sido mais graves. O tempo ameniza os fatos;
influência de fatores estranhos	Fatores sem ligação podem parecer correlacionados. No caso de se instalar dois sistemas exatamente iguais em dois modelos de computador, por exemplo, o computador com aparência mais nova, mais arrojada etc., dará a impressão de ser melhor;
preferência do observador	Tende-se a preferir aquela informação mais saliente ou que está no meio do campo de visão. Esta preferência se agrava em situação de fadiga ou tensão;
utilidade marginal decrescente	Não há linearidade entre o sentimento de ganhos e perdas. O sentimento de utilidade é relativamente maior para ganhos menores e é relativamente maior para perdas maiores. Por exemplo, um ganho de 5 em 100 é considerado maior que um ganho de 50 em 1000. Uma perda de 50 em 1000 é considerada maior que a perda de 5 em 100. Além disso, comparando-se perdas e ganhos de mesmo valor absoluto, as perdas sempre parecem maiores.
aceitação do risco	Pode-se acrescentar a esta lista o fator de aceitação do risco, que pode levar a uma redução do controle de segurança da situação e um consequente incidente pois de acordo com Amalberti (1996), a percepção de risco aumenta as margens de segurança no planejamento das atividades e no nível esperado de desempenho. Amalberti (1996) comenta que o risco de um acidente de automóvel é bem mais aceito pelas pessoas do que o risco de acidente nuclear, ferroviário ou aéreo. Para o autor, a diferença está na apropriação do risco: por um lado, um risco ativo, que as pessoas consideram poder controlar e, por outro, um risco passivo, que não pode ser recuperado em caso de incidente.

A adaptação é um conceito potente para descrever e interpretar a natureza dos sistemas humano-máquina: particularmente, com respeito às implicações de como o sistema evolui com o tempo e como as pessoas devem interpretar o erro humano nesses sistemas. Rasmussen (1990) vem chamando atenção para a necessidade de se compreender

as forças que guiam e limitam a adaptação em trabalhos em ambientes complexos. Tanto *bottom up*, a partir da natureza da tecnologia usada para suportar o trabalho quanto *top down* a partir das práticas de gerenciamento e estruturas organizacionais. A adaptação pode ser interpretada como um tipo de processo em busca de equilíbrio, guiado por critérios subjetivos (por exemplo, velocidade, qualidade, robustez contra variabilidade não antecipável) que as pessoas consideram para manter o seu comportamento de acordo com o estado do ambiente. Isto é, com base na experiência e conhecimento do ambiente e com base na informação disponível, as pessoas vão buscar um equilíbrio dos seus critérios alterando seu comportamento, modificando o ambiente ou os dois.

exemplo de adaptação: *tradeoff* entre velocidade e precisão

Os erros em um contexto de mudanças representam a informação sobre os limites de uma adaptação de sucesso. A adaptação se baseia então no aprendizado sobre o sistema que se pode tirar das falhas, quase-falhas e incidentes. Um exemplo é o *tradeoff* entre a velocidade e a precisão que ocorre em tarefas manuais. Neste caso, quando a velocidade com que uma tarefa manual é realizada aumenta, a precisão e qualidade dessa tarefa se reduz. O ponto de *tradeoff* pode variar em função da experiência do operador, mas sempre vai existir uma relação entre o limite de velocidade de execução e a qualidade da tarefa. Neste caso, cada indivíduo deve prestar atenção no equilíbrio entre esses dois fatores. Em geral, a única forma de encontrar o ponto ótimo é aumentando a velocidade até que a precisão comece a mostrar algum sinal de deterioração.

adaptação e erro em sistemas flexíveis de manufatura

Em qualquer ambiente complexo e dinâmico, este processo de adaptação ocorre enquanto os constrangimentos mudam, aparecem e desaparecem. Sempre haverá forças impelindo as pessoas a explorar novas e diferentes maneiras de desempenhar a tarefa. Isto é especialmente verdade nos sistemas de manufatura que exigem que o sistema e as pessoas sejam flexíveis e ágeis significando que o sistema tem que se reinventar constantemente para a acomodação a novas demandas de produção, integrar novos processos, e gerenciar rupturas no sistema. Os sistemas de gerenciamento da qualidade total e melhoria contínua exigem que as pessoas se adaptem constantemente. No entanto, não importa o quão bem desenhado e estruturado o sistema foi no papel, sempre haverá uma diferença para a situação real de trabalho. O papel dos projetistas é criar sistemas que funcionem e o trabalho dos operadores é fazer com que o sistema funcione.

adaptação de sucesso: premia o operador. adaptação de insucesso: "erro humano"

Em atividades complexas, o acesso limitado às condições do ambiente em composição com a alta variabilidade e incerteza significa que cada modificação tem o potencial de resultar negativamente, principalmente se o sistema estiver operando no limite aceitável de desempenho. Quando o resultado é positivo denomina-se adaptação de sucesso e se premia o operador. Quando o resultado é negativo denomina "erro humano" e se dá início a uma ação para remediar o problema. A questão é que para minimizar esses problemas de adaptação, as pessoas devem ter o direito de errar. Tolerância zero com relação ao erro ou políticas que reforçam os procedimentos de operação padrão com o objetivo de eliminar os erros geram um problema a partir do momento que forçam os operadores a estabelecer práticas a despeito das forças que alteram o ambiente e exigem que o operador se adapte.

a adaptação do sistema humano

Além das características humanas que acabam por envicizar a decisão em uma dada situação (conforme Wickens, 1984, por exemplo, já mencionadas anteriormente), a atuação do ser humano depende do conhecimento que ele tem do sistema, como este conhecimento está organizado e é utilizado em diferentes contextos, e como os diferentes processos cognitivos são ativados para resolver problemas. A seguir são apresentados alguns fatores diretamente ligados ao comportamento do ser humano, que têm relação com o seu conhecimento, nível de atenção e tipo de estratégia, e que impactam no seu desempenho ao lidar com os mais variados sistemas.

fatores do conhecimento

Woods *et al.* (1994) consideram que os problemas relativos ao conhecimento ocorrem porque este conhecimento é "buggy", está descalibrado, sofre de inércia ou utiliza heurísticas simplificadas.

modelos mentais e conhecimento "buggy"

Alguns problemas que ocorrem na operação dos mais variados sistemas são função de um modelo mental incompleto ou errado ("buggy"). Isto acaba por gerar dificuldade no monitoramento e entendimento do comportamento do que está sendo apresentado ao operador, e ele acaba por se perguntar sobre "o que está acontecendo?". Mudanças frequentes de tecnologia acabam por colocar o operador em situações em que ele não consegue estabelecer um modelo mental compatível com a tecnologia que está sendo utilizada, o que leva a erros.

calibração do conhecimento

Outro problema é que geralmente as pessoas não têm a compreensão de como um sistema funciona por completo, devido a falhas no modelo mental que eles têm do sistema. Para Woods *et al.* (1994) isto é um problema relacionado à calibração do conhecimento, que acontece quando as pessoas são superconfiantes e consideram que têm domínio da situação quando, na realidade, seu conhecimento, em algumas

áreas, tem falhas. Estas falhas existem ou porque ficam escondidas no sistema ou porque a pessoa tem pouca chance de confrontar seu conhecimento com situações onde tais falhas ficariam evidentes.

descalibração de conhecimento causa principal de incidentes em anestesia no estudo de Holsbach (2005)

O estudo de Holsbach (2005) identificou que a descalibração de conhecimento era a causa principal de incidentes em anestesia na amostra estudada de casos reportados pelo FDA (Food and Drug Administration) dos Estados Unidos, pela Sociedade Brasileira de Anestesia (SBA) e no estudo exploratório (EE) de dezessete casos de incidentes em hospitais do Rio Grande do Sul: apesar de terem sido originalmente relacionadas à falha de equipamento, uma re-análise dos casos mostrou que em 50% (FDA), 58,8% (EE), 44,4% (SBA) as falhas estavam relacionadas à pouca familiaridade do anestesiológista com as tecnologias (dispositivos médicos). Cooper *et al.* (1978) em um estudo pioneiro na área de ergonomia e anestesia, haviam encontrado resultados semelhantes na análise de 359 incidentes em anestesia: apenas 14% dos acidentes envolviam falha de equipamento e 82% envolviam erro humano induzido pelo projeto de equipamentos.

O problema de calibração de conhecimento, que não tem a ver com a experiência, é principalmente crítico em situações de sistemas informatizados porque eles nem sempre dão o *feedback* adequado sobre seu funcionamento, aos usuários. Isto impede que o sujeito possa aprender com a experiência e corrigir as falhas de seu modelo mental. Em suma, pode-se concluir que a falta de calibração de conhecimento é um problema porque *i)* leva a avaliações incompletas e/ou erradas sobre o uso de uma dada tecnologia e, *ii)* dificulta a reconstrução correta da sequência de eventos em uma investigação de acidentes.

conhecimento inerte

Outra parte do problema é o operador ter o conhecimento mas não saber aplicar este conhecimento no momento necessário. Este é o caso dos erros por conhecimento inerte, que ocorre quando o operador tem conhecimento de um problema e sua solução, mas não consegue trazê-los à tona em uma dada situação crítica. Erros deste tipo deixam claro que, mais do que adquirir conhecimento, os operadores necessitam praticar seu conhecimento em diferentes circunstâncias para "operacionalizá-lo" em situações difíceis de lidar.

super simplificação

Uma forma de lidar com sistemas complexos é utilizando heurísticas simplificadas. As heurísticas tendem a minimizar o esforço cognitivo na tomada de decisão, e podem ser úteis se forem aproximações que ajudem o operador a atuar. Mas podem ser distorções que aparentam

funcionar satisfatoriamente sob uma dada condição, mas levam a erros em outras. Alguns exemplos de simplificações são (Woods *et al.*, 1994):

- considerar algumas entidades mais similares do que realmente são;
- tratar um fenômeno dinâmico como estático;
- assumir que alguns princípios gerais servem para todos os fenômenos;
- tratar um fenômeno multidimensional como unidimensional ou segundo alguns subsistemas;
- tratar variáveis contínuas como discretas;
- tratar fatores altamente conectados como separáveis;
- tratar o todo como uma mera soma das partes.

Woods *et al.* (1994) comentam que Feltovich e seus colegas realizaram uma pesquisa sobre o ensino e treinamento de materiais complexos, que mostra como a decomposição de conceitos complexos em módulos simplificados (na esperança de que o aluno vai acabar juntando as peças) pode comprometer o aprendizado, pois alguns aspectos complexos podem ser deixados de lado, assim como as interações entre os elementos.

As supersimplificações podem ocorrer *i)* em função do tempo que o operador tem para atender uma demanda, *ii)* em função das incertezas, imprecisões e conflitos que precisam ser resolvidos. Portanto, as heurísticas são adaptações necessárias às demandas reais do trabalho e podem não ser um problema em si, se os operadores tiverem ciência dos limites das mesmas e forem capazes de usar conceitos mais complexos quando uma dada situação demandar.

fatores da
dinâmica
atencional

Dinâmica atencional tem relação com os fatores que operam em situações dinâmicas, que estão sempre evoluindo. Refere-se a como o operador lida com a carga de trabalho durante um período de tempo, como ele controla a atenção sob múltiplos sinais e competição de tarefas por um foco de atenção limitado. De acordo com Woods *et al.* (1994), pelo menos dois problemas de desempenho humano são devidos à dinâmica atencional: perda de consciência da situação, e falha na análise da situação ou fixação psicológica.

perda de
consciência da
situação

Consciência da situação é um processo cognitivo pertinente, por exemplo, ao controle de atenção, atenção dirigida, simulação mental, formação de expectativas e planejamento de contingências. Como ela envolve o acompanhamento do que está ocorrendo durante um período de tempo, pode ser também entendido como um processo de acompanhamento de múltiplas fontes de problemas diferentes, mas que

interagem. Para tanto, a consciência da situação requer a alocação de atenção sobre várias fontes, e também esforço mental, já que as mudanças de foco de atenção ocorrem para permitir que se monte um modelo do sistema como um todo. Os problemas com relação à consciência da situação são maiores em situações de mudanças rápidas, e onde uma confluência de forças torna uma situação complexa em uma situação crítica.

fixação
psicológica

Na fixação psicológica, também conhecida como bloqueio cognitivo e histeresia cognitiva, a avaliação inicial de uma dada situação parece ser coerente, ou seja, estar de acordo com a sinformações parciais disponíveis nos primeiros estágios de um incidente. No entanto, à medida que ele evolui, as pessoas não revisam suas avaliações em função de novas evidências, que estão apontando em uma direção diferente daquela que o operador está seguindo. Mas como o operador está fixado em dados já ultrapassados, ele não consegue revisar suas avaliações e re-planejar uma ação apropriada para a nova situação apresentada.

fatores da
estratégia

tendência para
a super-
especialização

a
superespeciali-
zação que
advém das
experiências
anteriores
pode levar a
falhas quando
as condições
mudam

A estratégia adotada pelo operador é um outro fator que impacta no desempenho. A adaptação da tarefa e da tecnologia, já discutidos anteriormente neste capítulo, são exemplos da estratégia adaptativa dos operadores para que possam trabalhar com novas tecnologias, geralmente como resposta a sobrecarga de trabalho, esforço cognitivo, facilidade de uso, robustez a erros comuns etc. O perigo associado às estratégias é que as adaptações baseadas em critérios definidos pelos operadores podem levar a uma mistura de fatores em sistemas maiores e mais complexos. Na linguagem da adaptação, a prática se torna superespecializada com relação às condições anteriores e podem ser sensíveis a falhas quando as condições mudam. Por exemplo, a estratégia de monitoramento de dados desenvolvida na rotina das operações pode gerar problemas sérios em função da não identificação e detecção de uma falha.

O problema é que a adaptação do operador é fundamentalmente um fenômeno local, tanto em termos de tempo quanto de espaço. Na ausência de influências contrárias, os critérios que servem para moldar a adaptação tendem a ser utilizados para experiências novas e para o estado atual do sistema. A tendência para a superespecialização ocorre quando os operadores (conscientes ou não) trocam a habilidade de se adaptar com sucesso a uma nova condição pela adaptação à situação atual. Em outras palavras, a tendência é de se trocar a adaptação de longo termo pela adaptação mais simples e mais eficiente de curta duração. Portanto, enquanto a adaptação pode ser uma força poderosa

para mudanças, não há garantia de que o indivíduo vai se adaptar em um sentido mais amplo. A adaptação pode ser interessante ou pode ser um problema, pois ela pode conflitar, competir e gerar fraquezas no sistema. Portanto, para se ter sucesso no sentido mais global, a adaptação no nível local tem que ser guiada pelo fornecimento de critérios apropriados, por fontes informacionais e materiais e por *feedback*. Isto pode ser entendido como a função primária do gerenciamento. Tendo em vista que os operadores têm acesso privilegiado aos detalhes dinâmicos e demandas de um certo contexto, a gerência deve dar liberdade de ação a eles (ver adiante a questão da autonomia), e dar insumos suficientes para que os operadores se adaptem às condições locais. Mas, ao mesmo tempo, a gerência tem que providenciar maneiras de construtivamente restringir e coordenar a adaptação de forma que as metas globais, tais como produtividade e segurança, sejam protegidas.

"adivinhações educadas"

Os processos adaptativos que levam a um desempenho altamente robusto e qualificado são exatamente aqueles que levam a erros. Adaptação é basicamente um processo de exploração de novos comportamentos em busca de um modo de desempenho estável e eficiente. Às vezes, a exploração acontece de forma não intencional, outras vezes a exploração se dá de uma forma deliberada para modificar o comportamento atual em função de pressões ou mudanças no ambiente. Estas explorações não são randômicas, mas "adivinhações educadas", normalmente baseadas em modificações pequenas de estratégias existentes ou geração heurística de novas estratégias e métodos.

o operador não percebe os efeitos das suas ações

Woods *et al.* (1994) comentam que um erro típico dos sistemas complexos é decorrente do fato do operador não perceber os efeitos das suas ações. Tendo em vista que os parâmetros de controle e de sistema podem interagir, as ações dos operadores podem ter efeito nas partes do sistema. Quando estes efeitos não são antecipados ou considerados, os operadores são levados a entendimentos errados. Por exemplo, o operador pode julgar que ocorreu um problema novo, independente, quando de fato ele é resultado das ações prévias do operador. Na presença de uma única ou múltiplas falhas, o funcionamento do sistema pode estar tão alterado que fica impossível para o operador antecipar os efeitos das suas ações. Estas adaptações podem se tornar uma falha latente, que será discutida adiante neste capítulo.

coordenação

A coordenação também tem impacto nos erros em sistemas complexos. Acompanhar o *status* e comportamento do sistema torna-se mais difícil quando um operador pode interagir com o sistema (fazer alterações, por

trabalho em
equipe e
liderança

exemplo) sem consultar os demais colegas envolvidos. Esta questão é principalmente importante quando dois operadores experientes têm diferentes estratégias sobre o uso do sistema.

Outro problema é de trabalho em equipe e liderança. O acidente do voo 401 da United Airlines que caiu no Parque Nacional das Everglades na Flórida (já comentado nos *Capítulos 1 e 7* deste livro) deveu-se ao desvio da atenção da equipe de três tripulantes (que não notaram que o piloto automático estava desligado) que não trabalhavam em grupo, mas individualmente. Conforme Vicente (2004 p.159), muitos pilotos comerciais são originários da área militar, e são treinados para serem "infalíveis" e não pedir ajuda. O contrário do que se espera para o trabalho em grupo. O capitão não assumiu uma posição de liderança, definindo tarefas e responsabilidades e se certificando que tudo o que era importante estava sob controle. Assim, todos se preocuparam com a luz do trem de pouso e ninguém monitorou os instrumentos.

Outro padrão de conduta errada de liderança é o caso do voo DC8 -61 da United Airlines que caiu no Oregon. A investigação concluiu que a atitude de "macho" do capitão intimidou o resto da tripulação a avisá-lo que o combustível estava terminando.

Caso pior de má conduta de equipe é o do cirurgião em Macaé, no Rio de Janeiro, em março de 1996, que durante uma discussão, matou, a tiros de revólver, o anestesista (e seu sócio na clínica) em plena sala de cirurgia. No meio médico, é sabido que situações de tensão entre os membros da equipe cirúrgica ocorrem não só devido à tensão do procedimento, às diferenças de metas entre os integrantes (o anestesista protela ao máximo o ato anestésico para evitar um período muito longo de inconsciência do paciente, ao passo que o cirurgião quer entrar na sala com o paciente pronto para o ato cirúrgico) mas, também, em função de disputas de poder entre os médicos e aos fatores organizacionais que forcem a rapidez e "eficiência" do ato cirúrgico.

Problemas de equipe começaram a reduzir a partir de 1980 com o programa de treinamento de pilotos denominado Cockpit Resource Management (CRM) que é composto de um módulo em sala de aula e outro em um simulador de um *cockpit*. O sucesso do programa foi tal que ele foi adotado na área de saúde, primeiramente para o treinamento de anestesistas, com pacientes em bonecos "simulados" que respondem, como se fossem humanos, às ações dos médicos.

Fatores organizacionais

A violação de limites que leva a erros pode estar sendo influenciada não só por questões técnicas ou de cunho pessoal mas, também, pelos valores e objetivos da organização, que conflitam com as intenções humanas no contexto de trabalho (tomada de decisão). Segundo Woods *et al.* (1994), as pessoas estão sempre tendo que decidir entre metas diferentes e às vezes conflitantes, entre custos e benefícios de diferentes resultados possíveis, ou entre os riscos de diferentes erros. Estas decisões geralmente têm que ser tomadas sob uma situação de incerteza, risco e pressão (de tempo, de oportunidade de negócios, de limitação de verbas, etc).

O acidente do ônibus espacial Challenger é um exemplo típico de componente organizacional levando a erros. Conforme Vicente (2004), geralmente os engenheiros precisavam provar para a gerência da NASA que o "lançamento era seguro". Mas em janeiro de 1986, eles tiveram que provar "porque não era seguro o lançamento", apesar das dúvidas que pairavam sobre os retentores aguentarem a temperatura fria daquela manhã.. As razões para forçar o lançamento eram financeiras, políticas e jornalísticas, as quais levaram à explosão da Challenger, matando os sete tripulantes em frente a milhões de espectadores no mundo inteiro. Em fevereiro de 2003, outro acidente com o ônibus espacial Columbia matou outros sete tripulantes. A história se repetiu: houve um problema técnico na largada da nave que rompeu a proteção isolante. Apesar de terem notado o problema, os responsáveis pelo voo não consideraram que houvesse risco de acidente e nenhuma medida foi tomada. Na volta da missão, na reentrada na atmosfera, a falta de proteção levou ao superaquecimento e o ônibus explodiu. O Columbia Accident Investigation Board, comissão que avaliou o acidente (NASA, 2003), considerou que o defeito foi uma consequência da cultura da NASA que não privilegia a segurança e a comunicação entre os vários níveis de decisão e operação da empresa, exigindo resultados sem fornecer os insumos necessários.

conflito de metas

Estes conflitos de metas geralmente derivam de fatores organizacionais os quais, segundo Reason (1997), também moldam a cognição e a colaboração, podendo gerar ações erradas. As organizações provêm as fontes mas também criam os dilemas que os operadores têm que encarar. As pressões que são exercidas para atender uma determinada meta sem considerar os conflitos potenciais pode colocar os operadores em duplo conflito. Nestas situações, qualquer tentativa de alcançar uma meta significa sacrificar o atendimento de outras metas conflitantes resultando em situações onde todos os graus de liberdade de ação do operador são consumidos pelas várias demandas, e não há nenhuma

saída que não viole alguma das metas. Nessas situações, os operadores são forçados a escolher a situação menos danosa e, portanto, podem cometer algum erro.

²DE KEYSER, V.;
NYSSSEN, A.S.
(1993) Les erreurs
humaines en
anesthésie. Le
Travail Humain,
56(2-3), 243-266.

De Keyser e Nyssen (1993² *apud* Amalberti, 1996) dão o exemplo de um erro em anestesia, quando a retirada precoce dos tubos de ventilação causou um espasmo de laringe do paciente. A decisão do anestesista considerou três conflitos: a duração da intervenção, a obrigatoriedade da passagem do doente para outra equipe médica, e o programa das cirurgias que apressam o anestesista e o cirurgião.

Amalberti (1996) comenta sobre a colisão na decolagem de dois Boeings 747, em Tenerife (1977) quando morreram 587 pessoas. Os tripulantes dos vôos estavam desorientados devido a uma ameaça terrorista no aeroporto. O primeiro avião autorizado a decolar foi o da KLM, que estava a ponto de ultrapassar o limite legal de trabalho. Se o limite fosse ultrapassado, deveria permanecer em solo, alojar os passageiros, e pedir à companhia o envio de nova tripulação, sendo que tudo isto resultava em um procedimento demorado e caro. A análise do acidente mostrou que o comandante precisou tomar muitas decisões muito rapidamente, sem estudar todas as alternativas ou consultar a tripulação. As decisões resultaram, entre outras causas, de dois conflitos principais: o vôo e a substituição da tripulação.

³Moshansky, V. P.
(1992) Final report
of the Commission
of Inquiry into the
the Air Ontario
crash at Dryden
Ontario. Ottawa,
Canada: Ministry
of Supply and
Services.

Woods *et al.* (1994) contam que no clássico acidente de avião descrito por Moshansky (1992³), existiam diferentes pressões organizacionais para reduzir os custos da empresa criando situações que fizeram o piloto ter que decidir se decolaria ou não sob uma condição de tempo desfavorável. Se ele não decolasse, causaria problema para os passageiros, haveria problemas de reescalonamento dos horários dos aviões e a empresa perderia dinheiro. Uma decisão de não levantar vôo poderia ser encarada com uma falha econômica e poderia resultar em sanção para o piloto. No entanto, os meios para minimizar o problema de conflito das condições do tempo (nesse caso, o equipamento anti-congelamento) não estava disponível porque a empresa tinha decidido não investir nesse tipo de equipamento em aeroportos periféricos, como era o caso. No final, o piloto resolveu decolar, a despeito dos riscos, e o avião caiu.

responsabilidade/
autoridade

Em algumas situações, os operadores são responsáveis pelos resultados, mas não têm autonomia para agir da forma que seria mais adequada em uma dada situação, pois eles devem seguir os procedimentos. É o caso de um operador de uma planta de processo contínuo, por exemplo, que é treinado para seguir o que está prescrito no manual, mas é

“punido” se ele arrisca pouco e não burla o regulamento para que a empresa perca menos em uma situação de crise. Quando esta “burla” dá certo e a empresa lucra, ele é um bom operador, destemido e agressivo. Mas se ele segue o manual e desliga o sistema para evitar um incidente, ele é um mau operador porque a empresa teve perda. O que está por trás deste exemplo é que, geralmente, o operador tem a responsabilidade de gerar lucro com segurança, mas não tem autonomia formal para tomar decisões diferentes do prescrito. Quando ele enfrenta o sistema e toma uma decisão diferente do prescrito, mas sua ação é bem sucedida, ele é um herói. Se a decisão é mal sucedida, ele é um fracasso e acaba sendo punido.

responsabilidade/
autoridade de
eletricistas de
linha viva
(Guimarães *et al.*, 2002)

Em um estudo (Guimarães *et al.*, 2002) feito com eletricitas de uma empresa gaúcha, este problema de responsabilidade/autonomia era bastante evidente, e foi apontado pelos eletricitas como um dos maiores problemas de seu trabalho. A fim de se resguardar de vários problemas de segurança, a empresa dá responsabilidade aos eletricitas mas não dá autonomia para ação. Assim, o eletricitista deve seguir o procedimento prescrito para restauração de energia que é esperar a ordem da central de operações (COD) para desligamento/religamento. Ao mesmo tempo, a empresa estabelece que ele tem um prazo máximo para efetuar o serviço, pois a empresa é punida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) se não atingir as metas estabelecidas. No entanto, o eletricitista depende do COD para agir, sendo que a interação entre o eletricitista em campo e o COD na sede é via telefone, que geralmente falha quando o serviço é mais drástico: nas emergências em dias de tempestade, quando o trabalho é mais inseguro. O eletricitista fica entre o conflito de metas (atender a necessidade de religar a energia ou atender a necessidade de agir com segurança), tem a responsabilidade de religar mas não tem autonomia para agir sem a ordem do COD. Se ele não esperar a ordem a fim de fazer o serviço no tempo previsto, e o conserto é feito sem incidentes, ele é um eletricitista exemplar e um herói. Se o conserto é feito e ele sofre um acidente, ele é culpado pois foi incauto. Se ele segue o procedimento, espera a ordem e não atua no tempo previsto, ele é um mau eletricitista porque a empresa paga multa. Os problemas organizacionais por trás de situações como esta, junto com os constrangimentos do posto e da organização do trabalho são um canal aberto para erros e acidentes.

As seções a seguir foram baseadas em Christoffersen e Woods (1999) e abordam como a ocorrência de erros passam a ser mais graves e difíceis de controlar, em função dos avanços da tecnologia e complexidade do sistema. A complexidade pode ser caracterizada segundo três

as características dos sistemas complexos

categorias: 1) as características do sistema (dinâmica, grau de risco, caráter incerto ou vago das informações, as exigências da tarefa); 2) as características dos agentes; 3) as características das representações (das interfaces). Tendo em vista o escopo deste capítulo, a seguir é feita uma caracterização do que são sistemas complexos. Alguns fatores são determinantes na dinâmica do sistema: seu grau de dependência/encadeamento, linearidade, reversibilidade e seu grau de variabilidade/previsibilidade.

interconexão e interdependência entre componentes do sistema

Sistemas complexos são caracterizados pelo grau de interconexão e interdependência entre os componentes do sistema (Perrow, 1984). Apesar de ser difícil medir objetivamente a complexidade, os sistemas complexos têm subsistemas altamente interconectados, inúmeros tipos de *feedback* e parâmetros de controle que interagem de uma certa forma. Em parte, estas características são uma resposta à pressão por um desenho de sistemas mais eficiente. Essas qualidades podem formar os sistemas que respondem mais prontamente a mudanças sob demandas que apresentam alguma perturbação. Um exemplo são os sistemas de manufatura em células ligadas, pois a atividade de uma máquina determina a de outra e, assim, uma nova ordem de produção ou a falha de uma máquina do sistema gera uma ruptura que vai ter reflexo em todo o sistema (tais como gerar efeitos no reescalonamento de produção, exigir re-ordenamentos de rota e reconfiguração de máquinas), ou seja, o sistema tem que se redesenhar para dar uma resposta às condições de mudança.

encadeamento

O encadeamento está geralmente associado com a complexidade e é uma outra dimensão dos sistemas complexos. Nos sistemas altamente interligados, os efeitos de uma falha podem se propagar rapidamente para todas as partes do sistema. O encadeamento é uma qualidade desejável em sistemas que necessitam dar uma resposta a situações novas, em constante mudança. Os sistemas *Just in Time* - JIT são um exemplo de que o encadeamento da produção resulta em desempenho eficiente. No entanto, em sistemas que são altamente encadeados, as alterações se propagam rapidamente e deixam pouca oportunidade para intervenção. Por exemplo, uma greve do sistema de transporte pode gerar uma ruptura no sistema de abastecimento de componentes que é a base do JIT.

dinâmica não linear

O aspecto negativo dessas qualidades é a tendência para uma dinâmica de sistemas bastante não linear e difícil de ser compreendida pelos operadores, principalmente quando ocorre alguma perturbação no sistema. Devido ao interrelacionamento das partes do sistema, qual-

quer anomalia pode produzir efeitos que estão distantes (tanto física quanto funcionalmente) da origem. Uma simples alteração pode ter repercussões graves no sistema; múltiplas falhas podem influenciar simultaneamente cada um dos elementos do sistema.

incerteza

Existe um grau de incerteza irreduzível nos sistemas complexos. Para os projetistas, gerentes e operadores, a complexidade desses sistemas é tal que é difícil, ou até impossível, se ter certeza dos efeitos que uma dada decisão pode ter. No contexto da tomada de decisão pelo operador, a incerteza resulta da natureza indireta da informação. Os operadores têm de considerar a possibilidade de falha de sensores, ruído de informação, falta de precisão na coleta de dados, presença de falhas. A complexidade do sistema também significa que pode haver uma série de motivos para uma mesma situação. O operador tem que negociar entre confiar em seus atos ou em utilizar mais tempo e esforço para ganhar mais informação. Tendo em vista que os elementos do sistema são altamente interdependentes e interconectados, os efeitos de uma demora na tomada de uma ação pode se espalhar rapidamente por todo o sistema. Dessa forma, os operadores ficam sob pressão para atuar de forma a preservar a integridade do sistema, mesmo que as decisões tenham que ser tomadas com base em dados incertos.

variabilidade

A variabilidade inantecipável é um exemplo primário dos fatores que podem forçar o sistema operacional a se adaptar, tanto estrutural quanto comportamentalmente, saindo dos padrões ou práticas estabelecidas, a fim de lidar com uma mudança em potencial. Segundo a lei de Ashby (1956), a variabilidade de um determinado ambiente tem de ser controlada por variáveis de controle que atendam a esta variabilidade. Existem duas maneiras que garantem que as variáveis essenciais de um sistema fiquem impunes e não afetadas pela variabilidade no ambiente: a primeira é fazer com que o sistema controle e restrinja os canais de entrada de variação externa do sistema; a segunda abordagem é proteger as variáveis essenciais projetando variedade no sistema de controle de forma que ele responda à variedade tanto externa quanto interna. Isto é geralmente alcançado quando se pode antecipar as classes de variabilidade e projetar medidas para reconhecer e responder a estas condições. No entanto, este método é limitado porque não é possível para os projetistas antever todas as anormalidades, todas as alterações e mesmo todas as combinações de eventos que podem ocorrer no sistema. Em outras palavras, é impossível antecipar e eliminar a variabilidade no sistema. Em casos extremos, novos eventos podem ocorrer (por exemplo, a explosão de um tanque de oxigênio na Apollo13). Nesses casos, os operadores precisam improvisar uma resposta com base nas fontes de informação disponíveis. Em outro

extremo, há casos que podem se basear em casos rotineiros que já aconteceram. Nestas situações, a existência de procedimentos de operação padrão são importantes.

Em geral, as manifestações mais frequentes de variabilidade consistem em complicações pequenas que diferem dos casos descritos nos livros. Por exemplo, apesar de todo esforço da indústria de energia nuclear em desenvolver procedimentos compreensivos e bastante detalhados de forma a guiar os operadores em uma dada situação, Roth *et al.* (1992⁴ *apud* Woods *et al.*, 1994)) mostraram que podiam ocorrer cenários altamente plausíveis envolvendo fatores complicadores que colocavam em cheque os procedimentos.

⁴ROTH, E. M.;
MUMAW, R. J.;
POPLE, H. E.
(1992) Enhancing
the training of
cognitive skills for
improved human
reliability: lessons
learned from the
cognitive
environment
simulation project.
In *Proceedings of
the IEEE Fifth
Conference on
Human factors in
Power Plants*,
Monterey,
CA:IEEE.

**Por que os
sistemas
complexos
ainda
falham?**

as marcas
das falhas
em sistemas
complexos

Portanto, apoiar o sistema operacional, ou seja, humano-máquina, para confrontar e absorver a variabilidade de um certo domínio é uma questão crítica para o projeto de sistemas altamente robustos. A noção de que o sistema é confiável no sentido de que ele atua conforme projetado não é correto: primeiro, porque uma alta proporção nunca é 100 % e, segundo, porque novas circunstâncias vão aparecer que desafiam o projeto do sistema.

Usualmente, considera-se que o sistema falha quando alguns eventos catastróficos ocorrem, deixando as pessoas incapacitadas para atuar. No entanto, como os engenheiros estão a par do potencial para o desastre, desenvolvem mecanismos múltiplos e redundantes, sistema de segurança, e elaboram políticas de procedimento que mantêm os sistemas o mais longe possível de resultados desastrosos. A combinação de medidas operacionais e de engenharia tornam esses sistemas relativamente seguros com relação a falhas em pontos isolados. Em outras palavras, eles são protegidos contra a falha de um componente isolado ou procedimento que leva diretamente a um problema.

Mas a escala, complexidade e a ligação destes sistemas criam um padrão diferente de falhas muito sérias onde os incidentes se desenvolvem através de uma conjunção de muitas falhas pequenas por parte tanto do homem quanto da máquina. Este padrão tem sido visto em vários desastres ou incidentes em várias indústrias, apesar do fato de cada incidente crítico ser único em muitos aspectos.

1) os
incidentes
evoluem para
a falha

Estes incidentes se desenvolvem através de uma série de interações entre o pessoal responsável pela integridade do sistema e o comportamento do próprio sistema técnico. Um atua e o outro responde, o que gera uma resposta do primeiro sobre o segundo. A evolução do incidente pode ser interrompida ou redirecionada em vários pontos.

2) múltiplos contribuintes

Neste caso, a falha do sistema é caracterizada pela concatenação de várias pequenas falhas e eventos que contribuem para o desastre. Ao invés de um único e simples fator, a contribuição múltipla de fatores gera o problema. Apesar dos fatores individuais serem insuficientes para gerar uma falha, alguns fatores em conjunto geram o problema. Se algum destes fatores contributivos estiverem faltando, a falha pode ser interrompida. Um distúrbio pode ocorrer sem gerar um resultado negativo se outros fatores potenciais não estão presentes.

3) interação humano-máquina

Geralmente a interação humano-máquina é um dos múltiplos fatores contributivos, conforme já foi mostrado anteriormente.

Os fatores que se combinam para produzir um desastre são latentes no sentido de que eles estavam presentes antes do incidente ocorrer. Reason (1990) usa o termo falhas latentes ou fatores latentes para se referir às condições residentes dos sistemas que podem produzir um efeito negativo, mas cujas conseqüências não são reveladas ou acionadas até que uma condição desencadeadora ocorra. Estas condições são latentes ou escondidas porque suas conseqüências não são manifestas até que a condição desencadeadora ocorra. Um exemplo típico é a condição que faz com que o sistema de segurança não seja capaz de funcionar perfeitamente por problemas de manutenção. Um exemplo real foi o sistema de alimentação de água de emergência não estar disponível quando ocorreu o desastre de Three Mile Island.

4) fatores latentes

As falhas latentes estão geralmente associadas com os gerentes, projetistas, pessoal de manutenção e reguladores, ou seja, com pessoas que geralmente não estão envolvidas na rotina de operação e que não estão lidando diretamente com o incidente. As falhas latentes chamam atenção para o fato de que as causas de fora do sistema são muito mais amplas do que simplesmente ações erradas por parte dos operadores. As questões organizacionais tais como a definição de metas, planejamento de manutenção, e canais de comunicação dão forma e interação na tarefa e condições ambientais, atos individuais inseguros e sistemas falhos de defesa e acabam por gerar a falha.

acidente do tipo "ficando pior"

Um exemplo é a classe de acidente "ficando pior" que ocorre quando um evento ou uma série de circunstâncias parecem ser menores e não problemáticas pelo menos quando vistas isoladamente. Este evento desencadeia uma situação que, a princípio, é possível de recuperar. No entanto, por uma série de omissões, ações erradas, ou falta de comunicação, o time de operadores ou o sistema humano-máquina leva a uma série de incidentes de riscos ou até um acidente. Uma série de acidentes na aviação são deste formato.

Depois de ocorrer, estes incidentes parecem misteriosos. Mas para quem está de fora, é fácil ver oportunidades que poderiam ter interrompido o desastre. *"Como o operador pode não ter percebido que X era uma peça importante de informação? Como podem ter mal interpretado Y? É tão lógico! Como eles não entenderam que X leva a Y, considerando os últimos inputs, as instruções e o sistema lógico?"*

Um teste para saber se um incidente é do tipo "está ficando pior" é perguntar às pessoas que estão revendo o problema, questões tais como: *se todas as informações estavam disponíveis, porque é que ninguém foi capaz de colocá-las juntas, e entender o que significavam?* Por sorte, este tipo de acidente é relativamente raro mesmo em sistemas complexos. A progressão destes acidentes é bloqueada por dois fatores:

- 1) a experiência do sistema operacional e pessoal que faz com que o problema seja interrompido;
- 2) os problemas que podem desafiar a experiência humana e gerar esse tipo de cenário são importantes apenas quando uma coleção de fatores excepcionais são colocados juntos.

O acidente do tipo "está ficando pior" é um cenário do tipo falha latente e mostra como essas falhas são um efeito colateral da complexidade. A falha latente é um processo em evolução em que existem vários pontos ou oportunidades que quando são detectados tornam possível recuperar a situação.

o sistema humano-máquina tende a operar no limite do desempenho em sistemas complexos

Rasmussen *et al.* (1994) têm descrito como os sistemas humano-máquina complexos naturalmente tendem a migrar em direção aos limites de um desempenho adequado e seguro. Em respostas às pressões para um trabalho eficiente, os gerentes e os operadores naturalmente se adaptam empurrando o sistema para os limites de desempenho. Numa situação de fontes limitadas em ambiente competitivo, as organizações são premiadas por operarem o mais próximo possível dos limites, em busca de um máximo de eficiência e produtividade. No entanto, operações consistentes próximas ao limite de desempenho significa que o sistema é continuamente vulnerável aos efeitos de alguma mudança crítica do ambiente ou alguma ação errada do operador. Em situações críticas, eventos que são relativamente benignos podem levar o sistema a uma situação insegura com desempenho inaceitável.

mudanças no sistema humano-tecnologia: mudança na exigência do desempenho

Quando mudanças na tecnologia e na estrutura organizacional são introduzidas, muda-se a exigência de desempenho. Alguns pontos fracos são eliminados mas outros pontos fracos são criados e, portanto, a natureza desses pontos muda. O resultado não é simplesmente um sistema que é igualmente seguro, mas mais produtivo. Por exemplo, as mudanças tecnológicas introduzidas para aumento da eficiência ou segurança do sistema geralmente alcançam esta meta ao preço do aumento da complexidade. E isto pode mudar drasticamente a natureza e os limites do desempenho do sistema. Além disso, geralmente a competição faz com que sejam redefinidos os limites de produtividade em detrimento dos limites de segurança. Assim, o sistema continua vulnerável a falhas mas não necessariamente às mesmas falhas. O sistema pode falhar de uma maneira nova e inesperada, pode falhar mais repentinamente e as conseqüências podem ser mais severas. O problema é que os limites de desempenho do sistema estão sempre mudando e o esforço de adaptação tende a querer acompanhar esses limites. A chave para um sistema que seja ao mesmo tempo eficiente e robusto reside em não constringer artificialmente os operadores para estabelecer práticas de trabalho, mas em deixá-los se familiarizar com o desempenho do sistema a ponto de conhecerem os limites e saber como recompor o sistema.

confiabilidade dos sistemas: tolerância a erro e robustez do sistema

Os sistemas devem estar aptos a lidar com a natureza do desempenho operacional nos limites de desempenho do sistema. A confiabilidade do sistema é medida por suas respostas. Em outras palavras, é avaliado não pela forma como o sistema opera em cada detalhe, mas se as variáveis essenciais, tais como aquelas definidas pela produtividade e segurança, estão satisfatoriamente mantidas dentro dos limites desejados. Mas deve-se considerar que os sistemas sofrerão alterações por causa das ações do operador que podem levar a resultados negativos. Os esforços para melhorar a confiabilidade do sistema não podem focar exclusivamente na prevenção dessas alterações, tendo em vista a nossa inabilidade em prever todas as eventualidades. Para se conseguir um sistema robusto, a chave é incorporar mecanismos que permitam que o sistema detecte, se recupere e absorva os efeitos dos erros. Geralmente, os sistemas têm um intervalo muito curto para recuperar, os erros são de difícil detecção, o sistema se degrada rapidamente e as conseqüências são severas. Nessas situações, a tolerância a erros é muito baixa e o importante é ter um ambiente mais aberto não só para eliminar os erros, mas para detê-los e se recuperar deles.

cooperação
entre
humanos e
entre
humanos e
máquinas

Estudos sobre organizações altamente confiáveis e de alto desempenho mostram que os processos que suportam a detecção de erros e a recuperação desses erros são geralmente cooperativos e distribuídos. Esses estudos mostram que confiabilidade ocorre não porque os indivíduos não cometem erros, mas porque as estruturas cooperativas do sistema (por exemplo, espaços divididos, estratégias conjuntas) provém mecanismos para identificação e correção de erros antes que as graves conseqüências ocorram. Por exemplo, a falta ou dificuldade de comunicação entre o controle de tráfego aéreo e os tripulantes de um avião são bastante comuns. A literatura (Vicente, 2004) apresenta exemplos clássicos como o acidente (com vários mortos) do Boeing 747, vôo TWA 514 no aeroporto de Washington Dulles ocorrido apenas seis meses depois do quase-acidente do DC8 vôo da United Airlines no mesmo aeroporto. Nos dois casos, a causa foi a interpretação errada das ordens dos controladores de vôo e, apesar dos tripulantes da United Airlines terem reportado o incidente, ele jamais foi amplamente divulgado e a tripulação da TWA não pode aprender com o incidente, o que poderia ter evitado o acidente. Depois deste acidente, a Federal Aviation Administration (FAA), com a ajuda de Charles Billings, desenvolveu um sistema de registro voluntário de incidentes (o Aviation Safety Reporting System -ASRS) para divulgar as informações necessárias para tornar o sistema de aviação mais seguro. Até então, a maior parte dos incidentes não eram reportados ou tinham a devida divulgação, porque os envolvidos sentiam-se ameaçados já que a FAA ao receber as informações repreendia não só os tripulantes, como as empresas. "Matar o mensageiro" (Vicente, 2004 p.57) só desencoraja a divulgação do que pode ser útil para a melhoria de um sistema e não é uma conduta coerente com uma organização que quer aprender com os erros. Quando o procedimento deixou de ser punitivo e passou a ser informativo, o sistema de transporte aéreo evoluiu para processos de cooperação mais robustos.

A confiabilidade dos sistemas não ocorre em função da confiabilidade de um agente, mas em função de como os agentes interagem. Basicamente, conforme Amalberti (1996) existem três estruturas no processo cooperativo: *i*) a estrutura hierárquica (cooperação vertical; fixação dos objetivos a atingir; distribuição e organização do trabalho); *ii*) a estrutura funcional (cooperação horizontal; distribuição de trabalho na equipe); *iii*) a estrutura temporal (que permite a coordenação).

A introdução da automação avançada não é simplesmente uma questão de substituir a atividade humana pela atividade da máquina. A automação muda a estrutura cooperativa do sistema que existe entre homens e

as características dos sistemas automatizados

máquinas. Os padrões dos erros mudam; alguns tipos de erros são eliminados e outros são criados. O que é necessário são sistemas automatizados que considerem a estrutura cooperativa maior. No entanto, as propriedades dos sistemas avançados de automação tendem a não privilegiar essa cooperação. Woods (1996) observou que estes sistemas geralmente são autônomos, silenciosos, não adaptados (desajeitados ou "clumsy") e difíceis de direcionar

sistemas automatizados são autônomos

Esses sistemas estão aptos a atuar com considerável autonomia sem nenhuma interferência do operador humano. Mas uma questão muito próxima à autonomia é a autoridade, a capacidade da automação acessar independentemente uma situação, intervir nela baseado nos seus próprios critérios e controlar a situação.

sistemas automatizados são silenciosos

Uma parte dos sistemas automatizados são silenciosos à medida que dão pouco retorno sobre suas atividades, o que torna difícil para os operadores entenderem o estado da automação. Quando combinado com a propriedade de forte automação delineado anteriormente, isso gera um potencial para surpresas da automação e os operadores começam a perguntar o que o sistema está fazendo, o que vai acontecer agora etc. Estes são sinais da ruptura da coordenação entre seres humanos e o sistema automatizado.

sistemas automatizados são "clumsy" "desajeitados"
WEINER, E. L.
(1989) Human factors of advanced technology ("Glass cockpit")
Transport Aircraft. (NASA contractor Report 117528). Moffett Field, CA: NASA-Ames Research Center.

Um dos benefícios do uso da automação é um esperado decréscimo na sobrecarga de trabalho dos operadores. No entanto, ao invés de aliviar a sobrecarga, a automação muitas vezes amplifica a sobrecarga como uma síndrome que Weiner (1989⁵ *apud* Christoffersen e Woods, 1999) denominou "automação clumsy": a sobrecarga reduz naqueles períodos em que a carga já era baixa enquanto que uma carga adicional aparece quando a carga era alta e as conseqüências de uma ruptura são grandes. São nesses momentos que o sistema demanda mais dos operadores em termos de *input* e coordenação das atividades, deixando o usuário numa posição paradoxal: de precisar do sistema automatizado como ajuda mas não tendo tempo ou capacidade de atenção para ajudar o sistema a fornecer o auxílio.

sistemas automatizados são difíceis de direcionar

Sistemas automatizados não cooperativos tornam difícil para usuários interromper e/ou redirecionar a atividade automatizada se o operador reconhecer a necessidade de fazê-lo. Se a automação não foi desenhada para suportar resolução de problemas de forma cooperativa, um resultado típico é que o usuário tem como única opção desligar o sistema e atuar sozinho.

Embora ainda não se entenda perfeitamente como os fatores que levam à falha interagem, e apesar da nossa habilidade em prever o momento e o número de ações erradas ser muito ruim, nossa habilidade em prever o tipo de erros que acontece sob certas circunstâncias é, geralmente, muito boa, em função do aprendizado adquirido com os vários sistemas e incidentes já estudados.

redução de falhas com base na predição das falhas em sistemas complexos: falhas menos frequentes, mas mais severas

Mas as pressões pela economia e segurança geraram a complexidade das modernas interfaces que levam a falhas caracterizadas pela presença de múltiplos contribuintes, incluindo fatores latentes do sistema, muitos deles, conforme já mencionado, causados por fatores que foram incluídos para garantir a robustez do sistema. Além disso, as pressões do ambiente, a variabilidade imprevisível e o potencial para falha fazem com que as pessoas adaptem seu comportamento à tecnologia disponível tanto de uma forma positiva quanto negativa. A dificuldade em lidar com um erro deve influenciar na forma como os sistemas são desenhados. A fim de proteger contra catástrofes, os engenheiros desenham sistemas que são mais seguros em um certo sentido, mas vulneráveis em outros: nas falhas latentes e nos incidentes que vão ficando pior. Os esforços para melhorar os sistemas produzem efeitos colaterais no desempenho humano, à medida que a complexidade do sistema aumenta. As características das falhas dos sistemas complexos são impressionantes: apesar das falhas individuais se tornarem menos frequentes, as conseqüência de uma falha são mais severas.

Como sempre há falhas, é comum se pensar que sistemas técnicos são inerentemente inseguros. Quando algum problema acontece, pensa-se logo que o sistema não pôde operar conforme projetado, o que leva à busca pela parte culpada, em geral, o ser humano, o que impede que se note os enormes esforços que os operadores fizeram para tentar contornar o problema. A verdade é que esses sistemas são inerentemente complexos, os operadores humanos operam em função das demandas impostas e do aparato tecnológico e organizacional disponível e qualquer alteração entre as demandas e os mecanismos disponíveis de atuação faz com que os operadores desenvolvam estratégias para fazer com que o sistema funcione. Os erros não são sintomas de uma variabilidade randômica do desempenho humano, mas representam um descompasso entre as demandas e os dispositivos disponíveis para atuação. Os acidentes como na planta de Three Miles Island em 1979, na de Bophal em 1984, o acidente da Challenger em 1986, entre outros, levaram a pesquisas quanto a razão de sistemas complexos falharem (Perrow, 1984; Senders e Moray, 1991; Reason, 1990; Hollnagel, 1993) e mostraram que as razões eram mais complexas do que o simples erro de

um ser humano. Prever o erro humano e violações exige que se entenda a relação entre três fatores:

- 1) o ambiente que levou ao erro;
- 2) as características dos eventos que podem promover um comportamento adverso;
- 3) a tendência que o ser humano tem de cometer erros e violações.

De acordo com Amalberti (1996), desde os anos 70, os progressos em termos de segurança basearam-se principalmente na técnica focando: *i*) melhorar a técnica para reduzir a frequência de panes e erros; *ii*) aprender com a experiência para melhorar a avaliação de riscos e tomar medidas para que os erros não aconteçam.

A busca pela melhoria da técnica resultou no aumento da automatização. Nos anos 80, houve o *boom* do desenvolvimento de sistemas de apoio (com listas de verificação, diagnóstico automático, sistemas de avaliação de limites que assumiam o comando em casos extremos, etc) para otimizar o desempenho dos operadores. O aprendizado da experiência foi montado com base na obrigatoriedade de emissão de relatórios de incidentes, análises sistemáticas e pesquisas. No entanto, não surtiu o efeito esperado de servir de base para a prevenção porque os dados não eram tratados para tal. Amalberti (1996) comenta que a comissão de pesquisas de acidente do Airbus A320, no monte Sainte Odile, não encontrou nas bases de dados nenhum antecedente quanto a erros de exibição de modo vertical. Apesar de terem sido descobertos casos idênticos ao do monte Sainte Odile, nenhum boletim havia sido emitido porque a falha não havia gerado acidente. Fica claro, então, que não basta coletar dados mas, principalmente, é preciso tratar a informação se o objeto é aprender com os erros, como foi o caso da FAA, que mudou sua estratégia de relato de incidente e aumentou a confiabilidade do sistema de aviação, conforme já mencionado anteriormente.

Aprende-se com os erros para utilizar este saber na minimização de acidentes com base na análise, não dos fatores externos do erro ou seja o que aconteceu (em termos das manifestações observáveis) mas, sim, como aconteceu (considerando os mecanismos de processamento de informação) e porque aconteceu (considerando a interrelação entre o comportamento e o contexto). Para Sharit (1999), entre as diferentes abordagens para a antecipação de erros, destacam-se a dos Fatores Humanos, a da Engenharia Cognitiva, e a Sistemática, que geralmente usam as ferramentas de análise da tarefa, análise cognitiva da tarefa etc para se compreender o sistema. Estas abordagens são discutidas a seguir.

abordagem tradicional dos Fatores Humanos para avaliação e/ou predição de erros

A abordagem tradicional da ergonomia prevê a incorporação dos conceitos básicos de saúde e segurança em todas as etapas do processo produtivo, da concepção (leiaute, tarefas, máquinas) à operação, e projetados para resistir aos "erros humanos" (Iida, 1998; Wickens, Gordon e Liu, 1998; Sharit, 1999). Na abordagem tradicional, prever um erro requer o entendimento das relações entre os processos atencionais e outros componentes do processamento de informação. Mesmo com uma base muito fundamental desses processos, é possível prever que: 1) o operador não teve tempo suficiente de detectar a informação em função do design da interface; 2) o exame da interface pode evocar respostas contra indicadas; 3) o equipamento está disposto de uma maneira que pode dificultar a operação; 4) uma decisão pode ser tomada sem o benefício de uma informação completa ou unambígua.

A abordagem tradicional é especialmente utilizada para sistemas e tarefas com demanda informacional, e considera a análise dos processos e componentes envolvidos no processamento de informação humana, a partir da proposta de Atkinson e Schiffrrin (1968) de que a memória humana está estruturada em três níveis (armazenamento sensorial, memória de curta duração e memória de longa duração), conforme é detalhado no *Capítulo 4* deste livro. O mapeamento e compreensão dos processos envolvidos no processamento de informação auxiliam na identificação e na antecipação de áreas vulneráveis ao erro humano. A análise do processamento de informação humana possibilita indetificar/predizer que: (i) o tempo de resposta do sistema impede que o operador responda a tempo, (ii) as dicas emitidas pelo sistema conduzem a respostas contraditórias, (iii) a posição do equipamento dificulta a execução da atividade, (iv) a tomada de decisão foi feita com base em informações incompletas ou ambíguas.

Entretanto, dependendo do contexto de trabalho e/ou do objetivo da análise essa perspectiva pode não ser suficiente e outras abordagens, como a de ambiente de indução do erro devem ser consideradas (Sharit, 1999).

abordagem da engenharia cognitiva para a predição e/ou avaliação de erros

A abordagem cognitiva é uma das formas de análise qualitativa do erro, mais complexa do que a tradicional dos Fatores Humanos. Ela usa a estrutura SRK de Rasmussen (que distingue o desempenho humano em três níveis: baseado na habilidade (*skill-based*), baseado em regra (*rule-based*) e baseado no conhecimento (*knowledge-based*), já comentada no início deste capítulo e no *Capítulo 5* deste livro, para compreender como as diferentes exigências modelam o comportamento do ser humano e levam a erros.

Os sinais que se situam no nível do comportamento baseado na habilidade sensório-motora de detecção-resposta de sinais (*skill-based*) são controlados por padrões automatizados de movimentos. Como exemplo de modo de atuação, tem-se as atividades de trabalho rotineiras que demandam pouca atenção (Sharit, 1999). Segundo Schmidt e Wrisberg (2001), o processamento automático não requer atenção, pois há muito pouca competição por atenção entre as atividades que compõem a tarefa. Como resultado da prática, a atenção tende a ser empregada somente para a primeira ação da rotina, o que permite dedicar a atenção ou, ainda, concentrar-se em outros elementos da rotina tais como precisão de movimento, localização espacial de objetos, entre outros. Os signos, que se situam no nível do comportamento baseado em regras armazenadas (*rule-based*), englobam reconhecimento-associação, como por exemplo, o caso de uma atividade que implica em regras evocadas da memória, de manuais, recursos similares ou dos próprios colegas de trabalho. Os símbolos, que se situam no nível do comportamento baseado no conhecimento (*knowledge-based*), englobam a resolução de problemas em tarefas não corriqueiras baseadas em modelos conceituais ao nível do conhecimento. Como exemplo, tem-se a solução de um problema atípico que demanda recursos e processamentos informacionais complexos no nível do conhecimento (Sharit, 1999).

A abordagem da engenharia cognitiva foca sobre os processos cognitivos ou mentais em termos dos ambientes que induzem ao erro, em particular, como? (*how*, do ponto de vista dos mecanismos internos do erro associados ao processamento de informação) e por quê? (*why*, considerando-se as interações entre as tendências de conduta e o contexto situacional). Esta abordagem difere das que focam sobre o que? (*what*), isto é, a forma externa do erro, em termos de sua manifestação observável. De acordo com Sharit (1999), a estrutura SRK pode ser usada na análise de acidentes para, a partir das formas de erros externas ou observadas, identificar as respectivas causas potenciais dos erros e, em consequência, gerar subsídios para o projeto de contramedidas que absorvam a vulnerabilidade do sistema. Nota-se, no entanto, que a distinção feita por Reason (1990) entre as diferentes formas de erros em cada uma das categorias SRK (conforme *Figura 1*) tem sido mais utilizada do que a própria estrutura SRK, dado à sua maior facilidade de aplicação.

Um exemplo de análise de acidentes com base nesta estrutura, é o estudo desenvolvido por Costella e Saurin (2005) em uma empresa fabricante de máquinas agrícolas no Rio Grande do Sul, com 125 aci-

denes que haviam sido investigados e estavam consolidados no ano fiscal de 2004. O documento oficial apresentava uma análise de causas, as quais eram subdivididas em fatores comportamentais e técnicos, além da definição de quem era a responsabilidade do acidente. Em 50% dos acidentes as conclusões indicavam "falta de atenção do acidentado" e declaravam que o responsável pelo acidente era o próprio acidentado. A re-avaliação dos eventos com base no método ajudou a melhor entender as condições de trabalho que geraram o problema e a esclarecer a participação dos trabalhadores no evento: apenas 60% dos acidentes classificados como deslizes tinha como causa principal o desvio de atenção dos funcionários, correspondendo a menos de 25% do total de acidentes.

O método de re-análise considerou os dados do documento oficial, mas como as descrições muitas vezes eram confusas ou com muitas lacunas de informação, foi necessário esclarecer alguns eventos em reuniões com os técnicos de segurança. Naqueles acidentes nos quais, após as reuniões com membros do setor de segurança, ainda havia dúvidas a serem sanadas, foi feita visita ao local da fábrica onde os eventos ocorreram para tentar reconstituir o acidente com auxílio dos trabalhadores e técnicos. Deve-se notar, no entanto, que não foi fácil compreender tais acidentes porque os pesquisadores não eram familiarizados com as tarefas e já havia decorrido um tempo desde as ocorrências.

Dos 125 acidentes inicialmente considerados para análise, só foi possível aplicar o método em 36 deles por uma questão de confiabilidade na reconstituição dos acidentes. Esses acidentes estavam assim divididos: 47% de pequeno ferimento (primeiros socorros – o acidentado é atendido e retorna imediatamente ao trabalho); 19% de acidentes sem afastamento (afastamento inferior a um dia de trabalho – o acidentado é atendido e somente retorna no outro dia de trabalho); 17% de dano à propriedade (somente danos materiais); e 17% de acidentes com afastamento (afastamento superior a um dia inteiro de trabalho).

Em relação aos deslizes, estes ocorreram principalmente nas categorias de pequeno ferimento e dano à propriedade. As causas raízes foram a operação inadequada ou imprudente de ferramentas e ou equipamentos (45% das causas raízes de todos os deslizes) e as falhas no leiaute (20%). Tipicamente, os deslizes identificados envolveram acidentes com danos materiais por bater ou raspar a empilhadeira nas prateleiras dos almoxarifados e estoques situados em locais estreitos, mas de passagem diária e habitual dos operadores de empilhadeira. Também se destacaram os acidentes no manuseio de ferramentas manuais como

martelos e talhadeiras. É importante destacar que 60% dos deslizos ocorreram principalmente por causas pessoais, corroborando a literatura que aponta que os deslizos normalmente envolvem falhas pessoais nas tarefas habituais do operário. Entretanto, pode ter havido predominância de fatores ambientais/gerenciais, como, por exemplo, a falta de espaço.

As situações em que não houve erro do acidentado (30%) distribuíram-se de modo uniforme entre os acidentes sem afastamento e nos pequenos ferimentos. Esses acidentes ocorreram, quase que na totalidade, por causas ambientais/gerenciais. Embora as causas raízes dos acidentes em que não houve erro do acidentado fossem as mais diversas possíveis, 30% delas foram classificadas como falhas de fornecedor, especialmente cintas de suporte de peças mal dimensionadas e na existência de produtos químicos em peças que causaram reação nos funcionários, mesmo com a utilização de luvas adequadas.

As violações (17%), sejam próprias ou de outro trabalhador, ocorreram de forma distribuída entre todos os tipos de acidentes e tiveram a particularidade de serem causadas igualmente por causas pessoais e ambientais/gerenciais, principalmente na estocagem e transporte de materiais. Cabe salientar que a análise das violações foi prejudicada pela não existência de procedimentos escritos de segurança na área de movimentação e armazenamento de materiais, de modo que toda análise foi baseada nos treinamentos oferecidos aos operadores de empilhadeira e almoxarifes.

Finalmente, os erros no nível do conhecimento (11%) ocorreram nos acidentes mais graves (com e sem afastamento) e ocasionados, principalmente, por causas ambientais/gerenciais (67%). Estes acidentes foram os mais complexos analisados e suas causas sempre estiveram, de alguma forma, relacionadas a perigos não identificados provenientes de uma situação nova ou imprevista que acabava exigindo do funcionário uma capacidade, conhecimento ou experiência que ele não possuía.

Abordagem sistemática para predição de erros

A vantagem da abordagem sistemática de predição de erros ou antecipação de falhas, entre outras, é a racionalização e documentação das conseqüências dos erros e das estratégias para sua redução (Sharit, 1999, p. 615). A seguir, apresentam-se quatro métodos para a antecipação de erros segundo esta abordagem:

- (i) *Performance Shaping Factors* (PSFs) Também conhecido como *Performance Influencing Factors* (PIFs), consiste em um quadro no qual são descritos os fatores que podem influenciar o potencial para erros e violações. Os PSFs são flexíveis, mas em geral, os fatores gerais do PSF são: tempo (T); interface (I); treinamento, experiência, familiaridade (E); procedimento (P); organização da tarefa (O); e complexidade da tarefa (C). As categorias básicas consideradas são: (i) demanda (da tarefa e do ambiente físico de trabalho); (ii) recursos (*job aids* e treinamento) e políticas (ou planos de ação) de gerenciamento. A definição da estrutura de classificação do PSF pelo próprio analista é comum, tendo em vista as peculiaridades de cada sistema (Sharit, 1999). Sharit (1999) adverte, contudo, para o fato de que as interfaces críticas entre os contextos situacionais e as tendências humanas podem estar subespecificadas e que articulações deste gênero são tipicamente fornecidas pela análise da tarefa.
- (ii) *Human Factors Analysis Methodology* ou HFAM (Pennycook e Embrey, 1993) O HFAM é um método que considera os fatores sociotécnicos do sistema. Compreende vinte fatores agrupados em três categorias: fatores no nível gerencial (grau de participação dos trabalhadores, eficácia das comunicações e dos procedimentos); fatores genéricos no nível operacional (fatores relacionados com trabalho em grupo, treinamento, gerenciamento do processo, documentos que auxiliam o trabalho); fatores específicos do trabalho no nível operacional (sistema baseado em computador, projeto do painel de controle, manutenção). Posteriormente, a natureza dos erros em cada um dos níveis é investigada (Sharit, 1999, p. 610).
- A diferença entre o PSFs e o HFAM é o nível de refinamento das definições. Na abordagem quantitativa, o PSFs é usado para estimar o HEP. Na qualitativa, pode ser utilizado para diferentes fins, por exemplo, para identificar aspectos do projeto suscetíveis ao erro humano, elaborar programas participativos que visam a redução de erros, para modelar o contexto do sistema (neste caso, especificamente, vistas à predição de erros e resultados adversos do sistema) (Sharit, 1999, p. 610).
- (iii) *Human Error Identification in Systems Tool* ou HEIST O HEIST é um exemplo de ferramenta que auxilia na identificação sistemática dos modos de erros externos e dos mecanismos psicológicos subjacentes ao erro associados a uma atividade, a partir da análise do PSF. Consiste na organização das seguintes informações em uma tabela: descrição da atividade (1ª coluna), respectivos elemento(s) incitador(es) do erro (2ª coluna), modo de erro externo (3ª coluna), mecanismo psicológico do erro (4ª coluna) e diretrizes para a redução do erro (5ª coluna) (Sharit, 1999).

(iv) *System for Predictive Error Analysis and Reduction* (SPEAR)

O SPEAR foi desenvolvido pelo *Center for Chemical Processes Safety* (CCPS) em 1993 e consiste em 5 passos: (i) análise da tarefa (TA), (ii) análise dos fatores que moldam o desempenho (PSF), (iii) análise preditiva dos erros humano, (iv) análise das conseqüências, e (v) análise de redução de erros; a quantificação dos erros pode ser incluída no sistema (Sharit, 1999).

Várias propostas estão disponíveis na literatura (consulte Sharit, 1999) para analisar situações complexas sob um ponto de vista qualitativo ou quantitativo. As abordagens qualitativas se baseiam em análises sociotécnicas, análises da tarefa ou análises cognitivas da tarefa que devem considerar o contexto sob análise. Sharit (1999) sugere que uma análise contextual requer que a análise do sistema sociotécnico, da tarefa e a análise cognitiva da tarefa estejam relacionadas. Ao adotar uma ênfase quantitativa, com técnicas do tipo PRA (*Probabilistic Risk Assessment*) e PSA (*Probabilistic Safety Analysis*), é preciso se ter clareza da necessidade e da motivação para gerar uma estimativa quantitativa do erro humano. O *Capítulo 8.2* deste livro discute algumas ferramentas de confiabilidade para identificar e/ou quantificar erros e falhas. As seções, a seguir, abordam a questão do gerenciamento dos riscos em sistemas complexos.

Abordagens para a prevenção/minimização de erros

⁶ROTH, E. M.; MUMAW, R. J.; POPE, H. E. (1992) Enhancing the training of cognitive skills for improved human reliability: lessons learned from the cognitive environment simulation project. In *Proceedings of the IEEE Fifth Conference on Human factors in Power Plants*. Monterey, CA:IEEE.

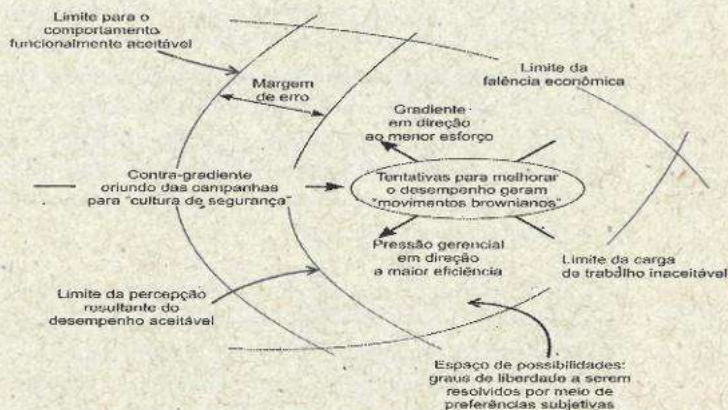
Apesar de todo esforço da indústria de energia nuclear em desenvolver procedimentos compreensíveis e bastante detalhados de forma a guiar os operadores em uma dada situação Roth *et al.* (1992⁶) mostraram que podiam ocorrer cenários altamente plausíveis envolvendo fatores complicadores que colocavam em cheque os procedimentos. A abordagem dos métodos convencionais de treinamento não atende as necessidades dos trabalhos desempenhados em ambientes dinâmicos e, por sua vez complexos, uma vez que não implicam em repetitividade de ações no tempo e no espaço. Em função da variabilidade do trabalho, fica difícil a automatização de movimentos e seqüenciamentos operacionais. Além disso, há que se considerar a variabilidade e os mecanismos de adaptação humanos, já que a produtividade do sistema depende da ação humana. A variação do comportamento humano é função de diferentes aspectos: psicológicos, fisiológicos, econômicos, por exemplo. "Até mesmo os trabalhadores muito experientes ou aqueles que executam tarefas simples e repetitivas apresentam variações" (Iida, 1998). A adaptação requer que os graus de liberdade sejam removidos do contexto de trabalho e o desempenho otimizado de acordo com os critérios subjetivos individuais (Rasmussen *et. al.*, 1994).

Gerenciamento de risco em sistemas dinâmicos complexos

em busca dos limites

Para o gerenciamento de risco em sistemas dinâmicos complexos, Rasmussen *et al.* (1994) propõem a capacitação dos trabalhadores a partir do (re)conhecimento real do espaço de trabalho segundo limites de desempenho, segurança e custos aceitáveis (Figura 3).

Figura 3
Gerenciamento de risco em sistemas dinâmicos complexos, segundo limites de desempenho, segurança e custos aceitáveis (Rasmussen *et al.*, 1994)



A área de trabalho segura é delimitada pelo limite de procedimentos seguros como definido pelas campanhas de segurança, limite do colapso financeiro e limite da carga de trabalho inaceitável. Corresponde à área na qual os atores podem navegar, transitar livremente. A carga de trabalho e os custos são os fatores de migração desta área para a subjacente, a área de trabalho perigosa, que se situa entre o limite de procedimentos seguros como definido pelas campanhas de segurança e o limite do desempenho aceitável. O espaço que excede o limite do desempenho aceitável, corresponde à área de perda do controle, local onde os acidentes ocorrem.

Esta proposta de identificação de limites pode ser a base para a estruturação de um programa de segurança na empresa, independentemente do nível de complexidade dos trabalhos executados. No Capítulo 5, foi visto que o processamento analítico da informação é trabalhoso, lento, efetuado de maneira serial. O processamento de informação no nível perceptual de uma maneira geral é mais fácil, mais rápido, efetuado em paralelo. Portanto, sempre que possível deve-se projetar sistemas que exijam atuação ao nível mais fácil de processamento, o SBB/RBB. Nesta estrutura, as atividades mais fáceis de atuação e, em

consequência, aquelas que apresentam menor grau de risco, são as atividades que não são desafiadoras, que são operadas de forma automática, quase que instintivamente, nos níveis SBB/RBB que só são acessíveis se o sujeito tiver conhecimento, domínio e, portanto, controle da situação que está lidando. Isto é compatível com a forma como o operador lida com a complexidade. Conforme Woods (1988), o operador evita aquelas situações que considera complexas, para as quais considera que não tem competência suficiente para lidar (evita o nível KBB). Para aquelas que não pode evitar, se prepara organizando as respostas com base no que há de prescrito (nível RBB) já que "um problema que já foi alguma vez resolvido não é um problema". É claro que nem sempre é possível projetar para SBB/RBB e muitas vezes, dependendo do operador, a atuação ocorre em KBB. O que se deve lembrar desta estrutura é que o melhor projeto é aquele que não exige do operador que ele trabalhe em um nível de abstração e de controle superior ao que a ação exige.

Com base no exposto, pode-se concluir que quanto mais preparado para uma dada ação, menos erro deverá ocorrer em uma dada tarefa e que mesmo as situações mais simples podem levar a erros, caso o sujeito não esteja preparado para uma resposta. Isto implica dizer que os sujeitos, e as as equipes de trabalho devem estar treinadas para todas as eventualidades, sendo mais fácil treinar para aquelas situações que já se conhece. Este treinamento deve considerar inclusive, aquelas atividades muito fáceis, "que todo mundo sabe fazer" (por exemplo, como subir a escada, como desligar a chave...). A partir do momento que estas atividades muito simples são completamente automatizadas, as capacidades de processamento do operador podem se voltar quase que exclusivamente para aquelas não tão corriqueiras e, portanto, ainda não automatizadas. Mas mesmo nestas situações, caso o sujeito tenha que atuar no nível KBB, ele terá maior reserva para processamento e atuação a partir do momento que não tiver que alocar recursos atencionais para aquelas atividades corriqueiras. Por causa disto, no caso dos pilotos, por exemplo, as atividades são automatizadas pelo treinamento incessante das operações de rotina, até que tirar o avião do chão ou aterrissá-lo seja uma sequência de eventos automatizados. Assim, ao invés de serem situações de sobrecarga para o piloto, elas são rotinas apesar da carga emocional envolvida em função do risco das atividades. A sobrecarga ocorre nas situações inusitadas, exigindo que o piloto opere em KBB.

A situação do piloto, ou de um astronauta (que também tem a maioria de suas atividades traduzidas em rotina) não difere da de muitos outros

trabalhadores, e o mesmo nível de segurança de sistema que é projetado para os primeiros pode ser também projetado para os demais trabalhadores, se eles também tiverem suas atividades traduzidas em rotinas. No entanto, não é o que geralmente ocorre nas empresas: muitas têm programas computacionais para gerenciamento de riscos mas poucas usam as informações para construir um programa de segurança. É comum que as informações sirvam, apenas, para armazenar as estatísticas de ocorrências de acidentes. Geralmente, não há registros de quase-acidentes e, portanto, não se aprende com os erros. Neste caso, se a experiência não é colocada em prática, pode-se esperar pouco avanço do programa de segurança para prevenção de acidentes mesmo nas situações corriqueiras, e pode-se esperar maior risco e, portanto, mais erros e/ou acidentes, nas situações inusitadas, para as quais o trabalhador não está preparado e, portanto, não sabe como agir, ou age de improviso.

Em caso de dúvida ou improviso, um erro pode ocorrer. Mas não se pode aceitar que erros ocorram em demasia em situações rotinizáveis. Se acidentes ocorrem em situações de não emergência, a falha está na falta de treinamento das equipes, o que é um erro do sistema, e não, um "erro humano". Em muitos casos (por exemplo, controladores de refinaria, eletricitistas, etc), a questão do preparo para enfrentar a situação é fundamental já que eles trabalham sob pressão, em um ambiente de alta periculosidade, onde a exceção é a regra e, portanto, sem margem de manobra suficiente para depender de comandos ou regras estruturadas. Estes trabalhadores, antes de serem seguidores de regras devem ser preparados para tomar decisões em situações dinâmicas de alto risco. Estas situações, ao contrário de poderem ser previstas, ocorrem em meio de uma sucessão de eventos inesperados.

Portanto, o objetivo de um programa de segurança não deve ser a análise dos erros para a criação de uma base de dados, mas deverá ser o projeto de um sistema de trabalho que permita que os atores lidem com os efeitos de suas ações quando, sob certas condições, o seu desempenho tenda ao insucesso. Trata de capacitar o trabalhador para identificar e lidar com situações de risco mantendo o controle até o ponto de recuperar a situação de crise.

proposta de
capacitação
para o
trabalho
seguro com
base no
conhecimento
das
ocorrências

Os esforços de um programa de segurança de uma empresa devem ser no sentido de identificar o limite das capacidades dos sistemas humano e produtivo e os fatores que conduzem à migração de uma área de risco para outra onde o controle pode ser perdido. Estes limites podem ser identificados com base nas ocorrências passadas, inclusive acidentes

ocorridos e principalmente os quase-acidentes. São estes dados que descrevem as características mais comuns do trabalho e podem mostrar quais variáveis tendem a empurrar uma situação para os limites. Portanto, ao invés de serem omitidos dos relatórios, e principalmente do conhecimento dos trabalhadores, devem fazer parte do histórico de acidentes e quase-acidentes da empresa, como instrumento de capacitação.

Capacitação para identificação de cenários de risco ao invés de programa de treinamento ou procedimentos prescritos

A proposta para minimização de acidentes é baseada na aprendizagem das ocorrências, na análise não dos fatores externos do erro, ou seja, o que aconteceu (em termos das manifestações observáveis) mas, sim, como aconteceu (considerando os mecanismos de processamento de informação) e porque aconteceu (considerando a interrelação entre o comportamento e o contexto). Com base no entendimento de como algo aconteceu e porque aconteceu, é possível desenhar cenários de situações que terminaram em acidente. Na construção do cenário, identificam-se as variáveis que o configuram e procura-se traçar o ponto limite onde ainda é possível agir a tempo para contornar a situação, recuperar a situação e evitar o acidente. Estes cenários podem ser, então, usados como exemplos para capacitar os sujeitos a reconhecer as características das situações perigosas ou de desempenho mal sucedido, e prepará-los para serem pró-ativos, para tomar uma atitude de controle da situação e desenvolver estratégias para evitar que elas ocorram. É claro que, para tanto, os indivíduos precisam de autonomia que lhes assegure confiança suficiente para que enfrentem o problema.

capacitação pela construção de cenários

Esta proposta de capacitação para o trabalho seguro com base na evidência de cenários é uma forma de usar a experiência coletiva evidenciando o conhecimento tácito no programa prescrito de segurança. Há uma diversidade de métodos de transferência de conhecimentos, cuja diferença reside no tipo de informação e/ou habilidade adquirida e o modo pelo qual são representadas. A seleção do método a ser empregado no programa de segurança dependerá do tipo de problema investigado e da cultura da empresa.

Apesar da complexidade do erro estar sendo bastante estudada por ergonomistas, engenheiros e psicólogos, entre outros, o aprendizado dos erros e acidentes pode ajudar a minimizar a probabilidade deles ocorrerem, mas não eliminará os seus riscos de ocorrência. Cada situação difere, os sistemas são dinâmicos e sempre haverá acidentes. Mas cabe à ergonomia sempre aprender com eles para projetar trabalhos cada vez mais seguros e eficazes. O enfoque científico sobre esta questão é crucial para que nas empresas, e na sociedade como um

todo, haja a preocupação com as reais causas do problema ao invés da busca de culpados humanos.

o "erro humano" vem sendo a explicação para as falhas dos sistemas porque geralmente o julgamento é social

A razão pela qual o erro humano é continuamente entendido como a explicação para as falhas dos sistemas em parte se deve ao fato de, geralmente, ser um julgamento social após um acidente ou incidente. Após o ocorrido, é muito fácil tecer comentários tais como "como é possível não terem visto X?" ou "como é possível que eles não viram que a partir de X iria acontecer Y?" Isto, porque é fácil interpretar que os sujeitos falharam em detectar a informação ou uma condição que era óbvia e que eles tiveram uma atitude inconsistente com a informação. No entanto, conforme Woods *et al.* (1994), os estudos mostram que as pessoas têm uma tendência em julgar a qualidade de uma determinada situação com base na sua resposta: assim, as decisões e as ações que se seguem a um resultado negativo serão julgadas de forma mais rígida do que se mesmas decisões são resultado de um resultado neutro ou positivo. Na realidade, esse efeito acontece mesmo quando os sujeitos são informados deste fenômeno. Com a tendência de simplificar a situação que foi presenciada pelo sujeitos durante o incidente, os dilemas, as incertezas, as exigências sofridas pelo sujeitos podem não ser consideradas ou podem ser sub-enfatizadas quando um incidente é analisado. Como este viés mascara os reais dilemas, incertezas e exigências que os sujeitos confrontaram, tem-se uma visão distorcida dos fatores que contribuíram para o incidente.

Uma premissa básica da pesquisa sobre os erros é que o desempenho humano é moldado por fatores sistêmicos. Não se conhece ainda todos esses fatores e como eles interagem, mas já se sabe que o estudo científico da falha não é possível se não se compreender as questões básicas da ciência social e comportamental. Sabe-se que as diferenças individuais são proeminentes do comportamento humano mas existem questões que moldam a cognição, a colaboração e desempenho e estes fatores podem gerar certas ações erradas. Encontrar os pontos de erros induzidos pelo desenho do trabalho ou pela organização e desenvolver medidas para evitá-los tem sido o objetivo da ergonomia desde seu surgimento.

REFERÊNCIAS

AMALBERTI, R. (1996) *La conduite de systèmes à risques*. Paris: Press Universitaires de France.

ASHBY, W. R. (1956) *An introduction to cybernetics*. New York, NY: Wiley.

ATKINSON, R. L.; SHIFFRIN, R. M. (1968) Human memory: a proposed system and its control process. In: SPENCE, K. W.; SPENCE, J. T. (Ed.) *The psychology of learning and motivation: advances in research and theory* (v. II, pp. 89-195). New York: Academic Press.

BILLINGS, C. E. (1996) *Aviation automation: the search for a human centered approach*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

BRENNAN, T.A *et al.* (1991) Incidence of adverse events and negligence in hospitalized patients: results of the Harvard Medical Practice Study I. *New England Journal of Medicine* 324:370-76.

CASEY, S. M. (1993) *Set phasers on stun and other true tales of design, technology, and human error*. Santa Barbara: Aegan. 221 p.

COOK, R. I.; WOODS, D. D. (1996) Adapting to new technology in the operating room. *Human Factors* 38(4): 593-613.

COOPER, J.B.; NEWBOWER, R.S.; LONG, C.D; McPEEK, B. (1978) Preventable anesdthesia mishaps: a study of human factors. *Anesthesiology* 49:399-406.

CHRISTOFFERSEN, K.; WOODS, D. D. (1999) How complex human-machine systems fail: putting "human error" in context. In: KARWOWSKI, W.; MARRAS, W. S. (Ed.) *The occupational ergonomics handbook*. Boca Raton, FL: CRC Press, pp. 585-600.

COSTELLA, M.F. ; SAURIN, T.A. (2005) Proposta de método para identificação de tipos de erros humanos. XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção – Porto Alegre, RS, Brasil, 29 out a 01 de nov de 2005 ENEGEP2005 ABEPRO.

HOLLNAGEL, E. (1993) *Human reliability analysis: context and control*. London: Academic Press.

HOLSBACH, L.R. (2005) *Análise dos fatores humanos e organizacionais nos incidentes em anestesia*. Porto Alegre - UFRGS - Tese de Doutorado. Engenharia de Produção - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

IIDA, I. (1998) *Ergonomia Projeto e Produção*. 5.reimp. São Paulo, SP: Blücher.

LAWTON, R.; PARKER, D. (1998) Individual differences in accident liability: a review and integrative approach. *Human Factors*, 40(4):655-71.

NORMAN, D. A. (1988) *The psychology of everyday things*. New York: Basic Books.

NASA (2003) Report of Columbia Accident Investigation Board, Volume I www.nasa.gov-home relatório de acidente do ônibus espacial Columbia. acessado em 18 de junho de 2006.

PERROW, C. (1984) *Normal accidents: living with high risk technologies*. New York, NY: Basic Books.

RASMUSSEN, J. (1986) *Information processing and human machine interaction: an approach to cognitive engineering*. New York: North-Holland.

RASMUSSEN, J. (1990) The role of error in organizing behaviour. *Ergonomics*, 33(10/11), 1185-1199.

RASMUSSEN, J.; PEJTERSEN, A. M.; GOODSTEIN, L. P. (1994) *Cognitive systems engineering*. New York, NY: Wiley.

RASMUSSEN, J.; VICENTE, K. J. (1987) *Cognitive control of human activities and errors: implications for ecological interface design*. RISO, M-2660. Denmark: Riso National Laboratory.

REASON, J. (1990) *Human error*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

REASON, J. (1997) *Managing the risks of organizational accidents*. Aldershot, UK: Ashgate.

SAURIN, T.A.; FORMOSO, C.T.; CAMBRAIA, F.B. (2005) Analysis of a safety planning and control model from the human error perspective. *Engineering, construction and architectural management*, 12(3):283-298.

SENDERS, J. e MORAY, N. (1991) *Human error: cause, prediction, and reduction*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

SHARIT, J. (1999) Human and System Reliability Analysis. In: KARWOWSKI, W.; MARRAS, W. S. (Ed.) *The occupational ergonomics handbook*. Columbus, OH: The Ohio State University. (p.601-642).

VICENTE, K. (2004) *The human Factor*: revolutionizing the way we live with technology: Vintage Canada.

VICENTE, K. J.; RASMUSSEN, J. (1988a) *The cognitive architecture of decision support systems for industrial process control*. Riso-M-2696. Denmark: Riso National Laboratory.

—. (1988b) *A theoretical framework for ecological interface design*. Riso-M-2736. Denmark: Riso National Laboratory.

WICKENS, C. D. (1984) *Engineering psychology and human performance*. Columbus, OH: Merrill. 513 p.

WICKENS, C. D.; GORDON, S. E.; LIU, Y. (1998) Safety, Accidents, and Human Error. In: _____ *An Introduction to Human Factors Engineering*. New York: Longman. p. 409-450. chap. 14.

WOODS, D. D. (1988) Coping with complexity: the psychology of human behaviour in complex systems.

WOODS, D. D. (1996) Decomposing automation: apparent simplicity, real complexity. In: PARASURAMAN, R.; MOULOULA, M. (Ed.) *Automation technology and human performance, theory and applications* (pp 3-17) Hillsdale, NJ: Erlbaum.

WOODS, D. D.; JOHANNESSEN, L. J.; COOK, R. I.; SARTER, N. B. (1994) *Behind human error: cognitive systems, computers, and hindsight*. CSERIAC State-of-the-art-Report. Crew Systems Ergonomics Information Analysis Center: Wright-Patterson AFB, OH.

WOODS, D. D.; SARTER, N. (2006) Mode error in supervisory control. In WOODS, D. D.; COOK, R. I. (2006) *Behind human error: breakdowns in coping with complexity* (draft).

Análise da confiabilidade de sistemas humano-máquina

Daniela Fischer & Lia Buarque de Macedo Guimarães

O estudo de erros e falhas geralmente remete à questão da confiabilidade, a qual é entendida como a probabilidade de sucesso de um sistema cumprir as funções especificadas durante um período de tempo definido (Sharit, 1999; Ribeiro, 2002). *“Um sistema é um arranjo ordenado de componentes que estão inter-relacionados e que atuam e inter atuam com outros sistemas, para cumprir uma tarefa ou função (objetivo) num determinado ambiente”* (Fantazzini e De Cicco, 1988, p. 18). Ribeiro (2002) define sistema como um conjunto de componentes arranjados segundo um desenho específico, advertindo que a confiabilidade do sistema dependerá, portanto, da confiabilidade dos componentes e do desenho do sistema. Falha no sistema pode ser definida como *“toda a ocorrência que pode comprometer a qualidade do produto”* (Ribeiro, 2002, p. 16).

A análise de confiabilidade de sistemas e componentes surgiu em 1950 (mas consolidou-se como disciplina em 1970) e objetiva estimar, de forma qualitativa e/ou quantitativa, a robustez e a estabilidade de produtos e processos ao longo do tempo e no espaço (contexto(s) de uso) (Ribeiro, 2002). Os modos de falha são quantificados quando definidos de forma objetiva, mensurável, como a probabilidade de sucesso do sistema expressa como um valor de 0 a 1 ou de 0 a 100% (Ribeiro, 2002). Os métodos e técnicas geralmente utilizados para identificar e/ou quantificar os modos de falha são: (i) a árvore de eventos (ETA – *Event Tree Analysis*), método lógico indutivo que representa as conseqüências possíveis de um evento inicial (Ribeiro, 2002); (ii) a árvore de falhas (FTA – *Fault Tree Analysis*), que consiste em uma representação dedutiva da relação entre os eventos do sistema que podem conduzir a um evento de topo desejável ou indesejável, dado as interações existentes entre eles (Fantazzini e De Cicco, 1988; Ribeiro, 2002); e (iii) a análise de modos e efeitos de falhas (FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis*), técnica analítica que auxilia a reduzir o

risco de falha em produtos e processos (Fantazzini e De Cicco, 1988; Ribeiro, 2002).

Análise de Confiabilidade Humana (HRA)

A avaliação da confiabilidade em sistemas que privilegiam o componente humano, geralmente chamada de Análise de Confiabilidade Humana ou Human Reliability Analysis (HRA), surgiu na década de 80 e foca sobre os modos de falha humanos, usualmente referidos por “erro humano”. De acordo com Kirwan (1999), pode ser considerada uma subdisciplina da ergonomia ou fatores humanos apesar de emanar das áreas de gerenciamento de risco e engenharia da confiabilidade.

Segundo Sharit (1999), como os métodos de confiabilidade em engenharia foram desenvolvidos antes dos métodos de HRA, as abordagens com relação ao risco tendiam a enfatizar as probabilidades computacionais do erro humano. No entanto, como as avaliações convencionais de probabilidade não determinam as situações que deveriam ser analisadas, nem como devem ser analisadas, um melhor entendimento das condições cognitivas e sociotécnicas, assim como um aprimoramento nos métodos de análise do trabalho, redirecionou a visão do erro, enquanto probabilidade estatística, para uma perspectiva mais qualitativa de compreensão de como e porque os erros ocorrem. Em consequência, hoje existem várias opções para avaliar a confiabilidade de um sistema sendo que a Análise de Confiabilidade Humana (HRA) pode seguir a abordagem qualitativa, quantitativa ou até a híbrida, que combina tanto a perspectiva quantitativa como a qualitativa.

A extensão da análise é definida em função da filosofia de segurança da empresa, e dependerá do objetivo da mesma: ela poderá estar simplesmente preocupada com o atendimento da legislação, limitando-se ao estágio de identificação e documentação de acidentes. Se uma empresa está principalmente interessada em atendimento de normas que exijam uma análise quantitativa de risco, então a abordagem quantitativa é o caso. No entanto, se a empresa está interessada em desenvolver uma cultura de segurança, então, a abordagem qualitativa é mais apropriada; da mesma forma, no caso de sistemas de alto perigo, tendo em vista o consenso crescente de que os resultados adversos podem não ter origem no erro humano em si, mas de acoplamentos complexos entre diferentes fatores (organizacionais, ambientais, por exemplo), incluindo a tendência humana para erros e violações.

No caso da HRA ser estabelecida por um analista, é fundamental que o mesmo tenha plena compreensão do problema para definir qual a abordagem que deve ser enfatizada e as respectivas ferramentas metodológicas e conceituais.

Há uma variedade de técnicas de análise para identificação de eventos indesejados e/ou perigos, sendo que o que as diferencia é o estágio do ciclo de vida do projeto do sistema no qual a análise é executada. As técnicas freqüentemente utilizadas no estágio conceitual ou de projeto preliminar são Preliminary Hazard Analysis, Failure Mode and Effects Analysis e técnicas HAZOP. Essas técnicas fornecem subsídios para soluções de projeto, incluindo princípios de ergonomia, que visam eliminar as conseqüências indesejadas dos perigos identificados. "PRAs (Probabilistic Risk Assessment), entretanto, são usualmente mais relacionadas a eventos indesejados nos últimos estágios do ciclo de vida do sistema que não podem ser resolvidos por métodos qualitativos" (Sharit, 1999, p. 603). No entanto, os insumos potenciais advêm da abordagem qualitativa, já que a antecipação de erros requer compreensão das inter-relações entre o contexto de trabalho e as tendências humanas no processamento de informações que formam a base de vários tipos de erros (Sharit, 1999, p. 602). Posterior à definição do problema, a identificação e modelagem do erro humano é o aspecto mais importante no HRA.

**abordagem
qualitativa da
HRA**

A abordagem qualitativa do HRA visa compreender as inter-relações entre os componentes físicos e organizacionais do (sub)sistema - estrutura de trabalho, cultura de trabalho, por exemplo, e os comportamentos humanos que resultam em erros, violações e desempenho inadequado. Desse modo, fornece subsídios para o entendimento de como os fatores situacionais, bem como intervenções humanas "politicamente corretas" podem desencadear eventos indesejados e/ou propagar tipos particulares de violações e erros. Em conseqüência, isto permite a antecipação de erros e definição de parâmetros para o (re)projeto de tarefas e máquinas-equipamentos que venham a absorver a vulnerabilidade do sistema aos erros humanos (Sharit, 1999). Ressalta-se, contudo, que "(...) erros ainda ocorrerão em virtude do fenômeno conhecido como 'variabilidade estocástica' no desempenho humano a qual pode originar-se, por exemplo, da variabilidade do movimento ou unicamente das intenções e propensões" (Sharit, 1999, p. 613).

Para proceder a análise sob a abordagem qualitativa, Sharit (1999, p. 639) recomenda: (i) descrição apropriada do sistema; (ii) análise socio-técnica do sistema e da análise da tarefa (convencional ou cognitiva); (iii) definir a extensão dos contextos ou cenários e da propagação de erros humanos e ações razoáveis nos mesmos para a modelagem e análise.

Análise da tarefa, análise cognitiva da tarefa e análise do sistema no HRA

A Análise da Tarefa (AT) visa a identificação e a descrição estruturada das interfaces e interações entre os sistemas humano e produtivo em funcionamento. A AT permite descrever e caracterizar todo o sistema (subsistemas, interfaces/canais de comunicação, etc), fornecendo informação sobre os contextos de trabalho relevantes para a análise de confiabilidade humana e do sistema, entre eles, aqueles que conduzem a erros e violações devido à complexidade inerente dos fatores do sistema. É usualmente utilizada no HRA, independentemente da abordagem, porque permite identificar e/ou prever os comportamentos humanos, associados ou não a contextos específicos de trabalho, que podem conduzir a conseqüências indesejáveis, bem como servir de base para o direcionamento das ações que visam sua recuperação/eliminação ou minimização/eliminação e posterior avaliação.

Há uma diversidade de métodos de análise da tarefa, cuja diferença reside no tipo de informação adquirida e o modo pelo qual são representadas. A seleção do método empregado dependerá do tipo de problema investigado.

Para HRAs envolvendo alto risco, mas tarefas relativamente rotineiras, Sharit (1999, p. 607) cita a Análise Hierárquica da Tarefa (HTA), proposta por Stammers e Sthepher (1995), dado sua facilidade em organizar grandes quantidades de informações.

No caso de HRAs qualitativas, a Análise Cognitiva da Tarefa (ACT) (Rasmussen, 1986 e Rasmussen *et al.*, 1994) e a Análise do Sistema (AT) (Rasmussen *et al.*, 1994), conforme os moldes sociotécnicos, agregam insumos significativos ao HRA em detrimento dos métodos de análise da tarefa convencionais.

¹Rasmussen, J. (1986) *Information processing and human-machine interaction: an approach to cognitive engineering*, New York: North Holland

"A análise cognitiva da tarefa (Rasmussen, 1986¹ e Rasmussen *et al.*, 1994) foca sobre os processos cognitivos que suportam o planejamento humano, a solução de problema a tomada de decisão e controle das atividades que são freqüentemente expressados através de interações em sistemas complexos de interface baseadas em computador" (Sharit, 1999, p. 607). A ACT, freqüentemente, recai na modelagem de estruturas (*frameworks*) que propiciam avaliar a performance humana.

A ACT combinada à AT permite determinar as tendências da performance humana em cada nível do processamento de informação (habilidade, regra, conhecimento).

O modelo *stepladder* de performance humana (Figura 35.4 de Rasmussen, 1986 apud Sharit, 1999, p. 609), que representa as relações entre os estágios de processamento de informação que ocorrem em resposta a um processo desordenado (*disturbance*), pode ser auxiliar a predição de erros (Sharit, 1999, p. 607).

A análise contextual da ocorrência de uma falha "*requer que a análise sociotécnica do sistema e a cognitiva da tarefa estejam ligadas. Este processo, por sua vez, é função de uma descrição relevante do sistema. Além disso, essa modelagem contextual e processo de análise implicam que uma caracterização ou modelagem apropriada do erro humano (e de violações) sejam avaliadas e integradas no modelo de sistemas*" (Sharit, 1999, p. 639). O Capítulo 6 deste livro aborda os contextos que levam a erros e/ou falhas "humanas" no sistema. O enfoque deste capítulo é a abordagem quantitativa do HRA, que enfatiza a quantificação de probabilidades do erro humano (HEPs), o que é útil para a priorização das ações que visam melhorias, principalmente em empresa cujos recursos financeiros são limitados.

**abordagem
quantitativa
da HRA**

No caso da abordagem quantitativa do HRA, Sharit (1999, p. 639) recomenda: (i) compreensão da motivação e objetivos associados com a execução da abordagem quantitativa de risco (tal como PRAs e PSAs), (ii) escolha do método para estimar a probabilidade do erro humano (HEPs), (iii) definir se há necessidade e respectiva extensão da aplicação de técnicas qualitativas. Além disso, o analista precisa relembrar questões relacionadas com custos, praticidade, utilidade, validade, exigências de treinamento.

**Técnicas de
Análise de
Perigo e
Avaliação
Quantitativa
de Risco**

As avaliações de confiabilidade calculadas exclusivamente na abordagem quantitativa do HRA são usualmente conhecidas por Análise Probabilística de Segurança (*Probabilistic Safety Analysis - PSA*) ou por Avaliação Probabilística de Risco (*Probabilistic Risk Assessment - PRA*). Esse tipo de análise visa produzir dados numéricos (Gertman e Blackman, 1994) e a quantificação da probabilidade do erro humano (HPE) é definida pelo número de erros ocorridos divididos pelo número de oportunidades para a ocorrência deste erro (Kirwan, 1999). Segundo Sharit (1999), os resultados dessas análises são úteis para a priorização das ações que visam melhorias, principalmente em empresa cujos recursos financeiros são limitados.

As duas técnicas de análise associadas com o PSA e o PRA são a Análise de Árvore de Falhas (*Fault Tree Analysis - FTA*) e a Análise de Árvore de Eventos (*Event Tree Analysis - ETA*) (Sharit, 1999;

Kirwan, 1999). Os pontos comuns entre estas técnicas são: (i) ambas partem de eventos indesejados que contribuem para o perigo; (ii) os perigos podem ser identificados por métodos informais como coleta de opinião de especialistas ou por técnicas de análise de perigo como a HAZOP; (iii) possibilitam acessar/extrapolar para outros componentes do sistema não discriminados na árvore, mas relacionados com o evento alvo (Sharit, 1999, p. 603). Se a FTA ou a ETA for utilizada como base para executar PSAs, a abordagem quantitativa faz-se necessária. Nestes casos, a contribuição do erro humano no evento de interesse deve ser quantificada e o risco associado à(s) consequência(s) de cada evento deve ser determinado e confrontado com os critérios de risco aceitável da empresa ou agência regulamentadora (Sharit, 1999).

Análise de
Árvore de
Falhas (FTA:
Fault Tree
Analysis)

Para Lida (1998, p. 334), a análise de árvore de falhas é a técnica sequencial mais elaborada. A FTA propõe a representação dedutiva, por meio da representação gráfica (diagrama lógico), da relação entre as possíveis combinações de falhas dos eventos do sistema que podem conduzir a um estado (in)desejado do sistema (evento de topo) (Ribeiro, 2002). Parte do pressuposto de que o evento de topo (i.e., um acidente) é precedido por diversos tipos de falhas e a sua ocorrência é o resultado do efeito cumulativo destas falhas. No contexto da Ergonomia, por falha, compreende-se “*quaisquer tipos de erro humano, defeito mecânico ou deficiências ambientais que provocam desvios na tarefa*” (Lida, 1998, p. 334). A árvore de falhas pode ficar no nível qualitativo ou quantitativo. Aplicações qualitativas enfatizam as diferentes combinações de eventos que podem conduzir a um evento de topo. Aplicações quantitativas implicam no cômputo de probabilidades (Sharit, 1999, p. 603) e, portanto, são úteis para análises de custo-benefício.

De acordo com Ribeiro (2002, p. 4), os objetivos da FTA são: (i) identificar as possíveis combinações de falhas entre subsistemas que podem conduzir a uma falha do sistema global (evento de topo); (ii) estimar a probabilidade de ocorrência das causas e, a partir das mesmas, do evento de topo; e, (iii) priorizar as ações que reduzam/eliminem a chance de sua ocorrência.

O diagrama lógico, ou ainda, o desenho da árvore é de cima para baixo (decomposição de eventos *top-down*) sendo que os eventos básicos podem estar no nível qualitativo ou quantitativo. As etapas de construção são: (i) desenhar evento de topo (condição indesejada); (ii) completar a árvore com todas as condições/falhas que podem conduzir ao evento de topo, especificando o modelo lógico que traduz as depen-

dências elementos do sistemas (Ribeiro, 2002, p. 29). A lógica booleana pode ser utilizada para indicar a relação entre os eventos. A representação gráfica das árvores freqüentemente difere devido a diferenças na simbologia utilizada (Sharit, 1999, p. 603).

A árvore de falhas é mais facilmente construída a partir de um acidente que já ocorreu (análise retrospectiva). "*Entretanto, especialistas treinados no assunto podem fazer previsões de acidentes onde eles ainda não ocorreram, desde que conheçam a estrutura da tarefa e as probabilidades de falha existentes*" (Iida, 1998). Para a construção da árvore de falhas, num primeiro momento, a partir da descrição do acidente (real ou hipotético) e do contexto de ocorrência, listam-se as falhas que contribuíram para o acidente. Na seqüência, estabelecem-se as relações entre elas, que podem ser: relação seqüencial ou em série ou relação de confluência ou em paralelo, e desenha-se a árvore de falhas. A seguir, analisam-se as falhas e respectivas interações, dado o contexto no qual estão inseridas (ambiente físico, organizacional, máquinas-ferramentas, etc...) com o objetivo de eliminá-las do sistema, o que envolve ações corretivas, como por exemplo, melhoria no sistema de informações, treinamento, desobstrução do percurso de acesso, etc., de modo que as mesmas não reincidam. Iida (1998, p. 334, 335, 336 e 337), apresenta detalhes sobre esse método.

Análise de
Árvore de
Eventos (ETA:
Event Tree
Analysis)

A árvore de eventos é um método lógico indutivo que representa como um determinado evento inicial (geralmente uma falha) pode se propagar, sendo que cada ramo da árvore representa um sucesso ou uma falha no sistema. Na árvore de eventos há um evento inicial e podem aparecer vários eventos de topo (Ribeiro, 1995, p. 6.10).

Na ETA, a probabilidade em cada estágio é a probabilidade de falha em cada ramo e a probabilidade total de falha é o somatório das probabilidades de falhas individuais em cada estágio (Sharit, 1999). Como ele mostra as conseqüências possíveis de um evento, a ETA, conseqüentemente, mostra como ele pode ser evitado.

O desenho da árvore é feito a partir do evento inicial (possível desencadeador de acidente) e os eventos subseqüentes são definidos pelas características do sistema (Ribeiro, 1995, p. 6.8). As etapas para o desenho da árvore são: (i) definir evento inicial; (ii) definir ações (sistemas de segurança) que amortecem o efeito do evento inicial; (ii) combinar as seqüências de acontecimentos possíveis a partir do evento inicial em uma árvore lógica de decisão; e, (iv) calcular as probabilidades de cada ramo que conduz à falha (Ribeiro, 1995, p. 6.8).

Análise de modos e efeitos de falhas (FMEA: Failure Mode and Effects Analysis)

FMEA é uma técnica analítica que auxilia a reduzir o risco de falha em produtos e processos. De acordo com (Ribeiro, 2002, p. 4), os objetivos do FMEA são: (i) reconhecer e avaliar todos os modos de falhas e respectivos efeitos e severidade; (ii) identificar ações que reduzam/eliminem a chance de ocorrência das falhas; e (iii) documentar o estudo, disponibilizando um referencial teórico.

As etapas de um estudo de FMEA, segundo Ribeiro (2002, p. 36) são: "(1) definir o projeto ou processo e a equipe de estudo; (2) definir interfaces (limites) do projeto ou processo em análise; (3) análise preliminar do projeto/processo e definição das informações que precisam ser reunidas; (4) coleta de dados; (5) preenchimento da tabela de FMEA; (6) revisão da tabela de FMEA com cálculo final dos riscos e indicação das ações recomendadas; (7) detalhamento das ações de correção e melhoria".

Os principais campos da tabela FMEA, segundo Ribeiro (2002) são: item (componente ou operação), modo potencial de falha, efeitos potenciais de falha, severidade, causas/mecanismos potenciais de falha, ocorrência (O), controles atuais no projeto ou ações recomendadas (no caso de um projeto novo), detecção (D), risco ($R = S \times O \times D$, valor resultante entre 1 e 1000), ações recomendadas e risco resultante. Subsídios específicos para o desenvolvimento de estudos de FMEA de projeto e FMEA de processo são apresentados por Ribeiro (2002).

Algumas considerações sobre a FTA, ETA e FMEA

Com base na revisão da literatura, pode-se notar semelhanças entre as diferentes técnicas. Os pontos comuns entre as árvores de falha e a árvore de eventos são: (i) ambas partem de eventos indesejados que contribuem para o perigo, (ii) os perigos podem ser identificados por métodos informais como coleta de opinião de especialistas ou por técnicas de análise de perigo como a HAZOP, (iii) possibilitam acessar/extrapolar para outros componentes do sistema não discriminados na árvore, mas relacionados com o evento alvo (Sharit, 1999, p. 603).

"A árvore de falhas é útil para, a partir do evento indesejável (evento de topo), definir quais as causas básicas que podem originá-lo. (...) ou seja, definir quais os itens que estão associados com este efeito. A árvore de eventos é útil para, a partir de uma causa básica, definir quais os eventos de topo que ela pode originar" (Ribeiro, 1995, p. 6.10). "O FMEA é útil para, a partir de um item inicial (um componente ou uma operação), mapear todos os possíveis modos e efeitos de falha associados com este item" (Ribeiro, 2002, p. 36).

O FMEA e as árvores de falha e de eventos são uma forma sistemática e organizada de identificação das causas das falhas. Sempre que possível, devem ser executados antes do evento indesejado e não após a sua ocorrência e envolver representantes de todas as áreas correlatas ao problema. Podem ficar em nível qualitativo ou quantitativo. Avaliações qualitativas, embora preteridas, já fornecem informações importantes para fins de diagnóstico e (re)projeto de produtos e processos. Avaliações quantitativas permitem verificar se o nível de risco é aceitável. O uso preferencial dependerá do objetivo e problema investigado (Ribeiro, 1995, p. 6.10; Ribeiro, 2002, p. 37).

análise de falhas por simulação

Uma outra possibilidade de análise de falhas, como alternativa à decomposição de uma dada ocorrência, é por meio da análise de uma situação simulada. Um simulador consiste em um *mock-up* de um sistema e de suas interfaces humanas e contém uma representação matemática do sistema (Sharit, 1999, p. 620). Usualmente utilizado para fins de treinamento, pode ser utilizado para identificar variáveis que impactam no desempenho (tempo, habilidade, por exemplo) e para investigar erros de trabalhadores individualmente, ou de equipes de trabalho. No caso de PRAs guiados por HRAs quantitativos, os testes em simuladores podem servir de base para estimar o HPEs (Sharit, 1999, p. 621).

Um exemplo de simulador é o MicroMAPPS (Sharit, 1999, p. 621). Outro modelo de simulação computacional, mais consistente com os objetivos da abordagem qualitativa do HRA, é o Cognitive Environmental Simulation (CES), que enfatiza a causalidade do erro (Woods *et al.*, 1987² apud Sharit, 1999, p. 621). Este modelo foca sobre a modelagem do processo sobre o qual o trabalhador avalia a situação e elabora as intenções de ação. Permite investigar as situações que conduzem a falhas e a forma de suas conseqüências, servindo de base para o (re)projeto de sistemas. O erro humano é definido em função de intenções inapropriadas.

Nota-se, no entanto, que os dados oriundos de simuladores e de simulações devem ser interpretados com cautela (Sharit, 1993 apud Sharit, 1999, p. 627) devendo-se atentar para a variabilidade humana (respostas com estratégias diferentes) e para a fidelidade da reprodução do contexto de trabalho, incluindo aspectos como, estresse e pressão.

²Woods, D.D.;
Roth, E.; Pople, H.
*Cognitive
environment: for
system for human
performance
assessment.
NUREG-CR-4862,
US Nuclear
Regulatory
Commission,
Washington, D.C.
1987*

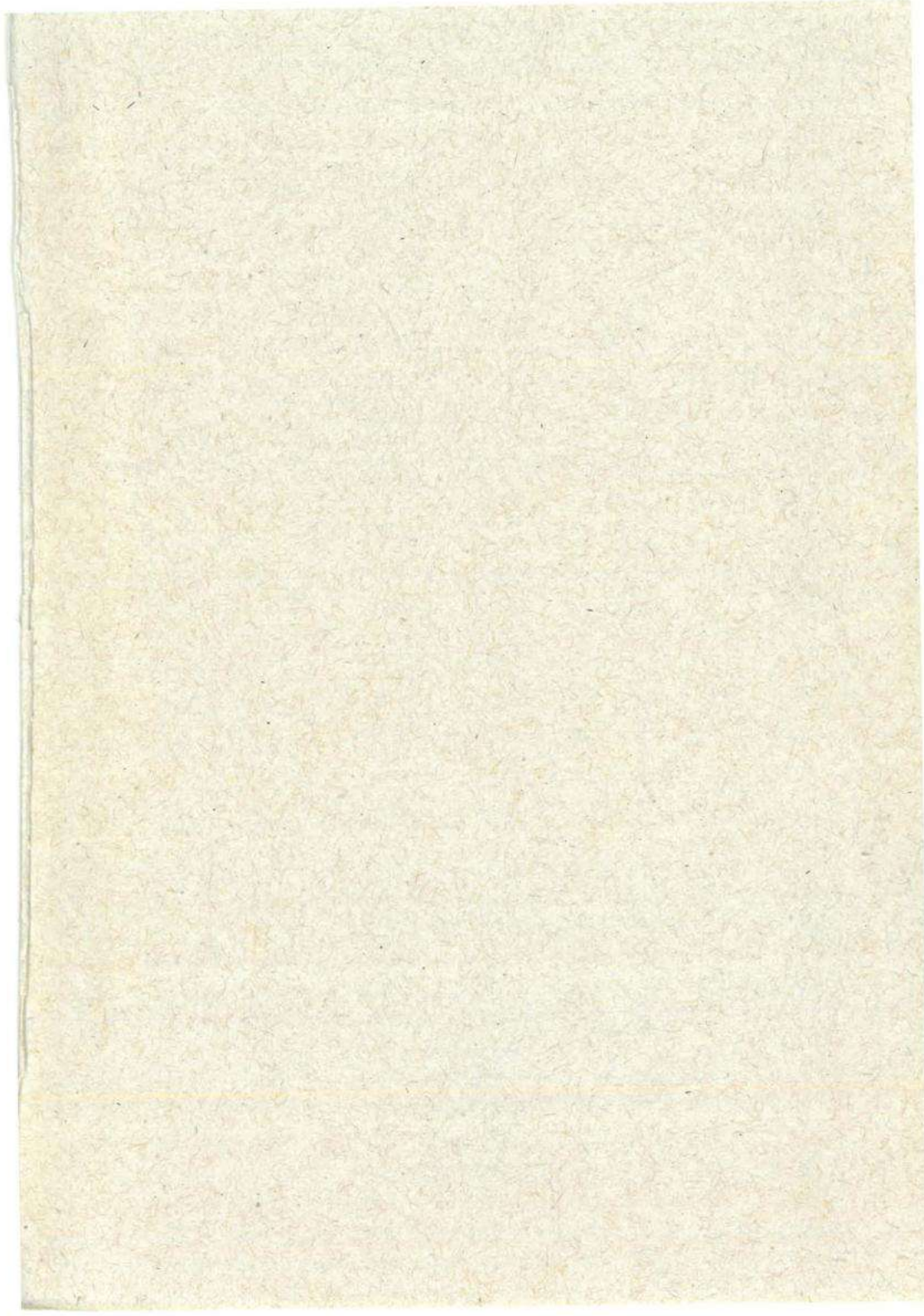
**Relação
entre
confiabilidade,
segurança e
controle**

No que tange às questões de segurança, as análises de confiabilidade geram subsídios importantes para o que diz respeito à identificação e à priorização de melhorias em vários tipos de falhas que podem ter consequências adversas no sistema, entre elas, acidentes do trabalho: As falhas nos sistemas e componentes impactam sobre as causas técnicas e nas relações causais do acidente, inclusive nos modos de falha humana, considerando-se que, para a ergonomia, os mesmos são decorrentes de procedimentos técnicos pouco confiáveis, máquinas sem proteção, técnicas mal dominadas, entre outros.

O controle da confiabilidade dos sistemas e componentes no nível das ações de engenharia favorece o controle no nível operacional tendo em vista que sistemas e componentes mais robustos (confiáveis) diminuem a chance de acidentes, ou ainda, são menos suscetíveis a falhas e reparos para substituições. O conhecimento dos vários tipos de falhas e seus efeitos pelos trabalhadores (o que implica em capacitação) é importante para o controle por antecipação de fontes ou eventos que podem conduzir à perda de controle, ou seja, para o direcionamento das ações que visam a sua eliminação ou recuperação.

REFERÊNCIAS

- FANTAZZINI, M. L.; DE CICCIO, F. M. G. A. F. (1988) *Introdução à Engenharia de Segurança de Sistemas*. 3.ed. São Paulo: FUNDACENTRO. 112 f.
- GERTMAN, D. I.; BLACKMAN, H. S. Introduction and Background to Human Reliability Analysis. In: _____ Human Reliability and Safety Analysis Data Handbook. New York: Wiley&Sons, 1994. p. 1 - 26. chap. 1.
- IIDA, I. (1998) Segurança do Trabalho. In: _____ *Ergonomia Projeto e Produção*. 5.reimp. São Paulo, SP: Blücher. p. 329 - 352. cap. 16.
- KIRWAN, B. (1999) Some Developments in Human Reliability Assessment. In: KARWOWSKI, W; MARRAS, W. S. *The Occupational Ergonomics Handbook*. New York: Press. p. 643 - 666. chap. 36.
- RASMUSSEN, J.; PEJTERSEN, A. M.; GOODSTEIN, L. P. (1994) *Cognitive Systems Engineering*. New York: John Wiley & Sons. 378 f.
- RIBEIRO, J. L. D. (1995) *Confiabilidade de Sistemas*. Porto Alegre: UFRGS/PPGEP.
- RIBEIRO, J. L. D. (2002) *Confiabilidade de Sistemas*. Porto Alegre: UFRGS/PPGEP.
- SHARIT, J. (1999) Human and System Reliability Analysis. In: KARWOWSKI, W; MARRAS, W. S. *The Occupational Ergonomics Handbook*. New York: Press. p. 601-642. chap. 35.



Impressão:

