

NEUROERGONOMIA: UM NOVO CAMPO NA ERGONOMIA DO SÉCULO XXI?

NEUROERGONOMICS: A NEW FIELD OF ERGONOMICS OF THE XXI CENTURY?

Emmy Uehara¹, Anamaria de Moraes²

(1) Doutoranda em Psicologia Clínica e Neurociências, PUC-Rio
e-mail: emmy.uehara@gmail.com

(2) Doutora em Comunicação, UFRJ
Professora Titular do Departamento de Artes e Design, PUC-Rio
e-mail: moraergo@puc-rio.br

Neuroergonomia, Neurociência, Cérebro.

Ao projetar sistemas eficazes de homem-máquina, é preciso compreender a mente em relação ao trabalho e tecnologia (Ergonomia) e a mente não pode ser entendida sem estudar o cérebro (Neurociência). O estudo do cérebro e da mente juntamente com o domínio complexo de trabalho é denominado Neuroergonomia. Assim, o presente artigo se configura como uma breve revisão de literatura sobre os principais marcos e conceituação dessa nova área, seus possíveis métodos, aplicações e perspectivas futuras.

Neuroergonomics, Neuroscience, Brain.

To design effective systems for human-machine, one must understand the mind in relation to work and technology (ergonomics) and mind can not be understood without studying the brain (neuroscience). Studying the brain and the mind together with the complex area of work is called Neuroergonomics. Thus, this paper is configured as a brief literature review on key milestones and conceptualization of this new area, its possible methods, applications and future prospects.

1. Introdução

A ergonomia (ou o estudo dos fatores humanos) vem evoluindo como uma disciplina única e independente, cujo foco se dá na natureza da interação homem-máquina, visto por uma perspectiva científica plural de diversos outros campos de conhecimento, tais como a engenharia, design, psicologia e gerenciamento de sistemas humanos compatíveis. Segundo WICKENS e colaboradores (1998), o campo da ergonomia se desenvolveu principalmente a partir de uma preocupação restrita apenas ao entendimento da interação humana com as ferramentas físicas. Essa interação em questão serviu de ponto de interseção para a troca de diferentes disciplinas como a psicologia e engenharia, por exemplo, possibilitando o surgimento da ergonomia (WICKENS *et al.*, 1998).

É por esta característica de interação de diversas outras disciplinas, que CHAPANIS (1996) define a ergonomia como “um campo multidisciplinar”

para a contribuição mútua entre a psicologia (inicialmente a psicologia cognitiva experimental), a antropometria (um ramo aplicado da antropologia), a fisiologia aplicada, a medicina do trabalho, a engenharia, a estatística e o design industrial. Assim, de acordo com a *International Ergonomics Association* (2000), a ergonomia se define como uma disciplina científica independente, que busca compreender as interações entre os seres humanos e outros elementos de um sistema, que visa projetar e avaliar tarefas, produtos, ambientes e sistemas, com a finalidade de torná-los compatíveis com as necessidades, habilidades e limitações das pessoas. Ainda, a ergonomia é a profissão que se utiliza de teorias, princípios, dados e métodos para projetar e otimizar o bem-estar humano e o desempenho geral do sistema.

Ao mesmo tempo, a partir de um recente esforço colaborativo entre diferentes disciplinas, a crescente neurociência tem provocado novos olhares sobre os diversos aspectos do

funcionamento do cérebro e sua relação com a cognição e comportamento humano. Apoiada nos atuais avanços tecnológicos e científicos, este campo apresenta um avanço cada vez mais profundo no conhecimento da atividade cerebral e sua relação com os diferentes aspectos da natureza humana. Essa convergência de diversas disciplinas – tais como neuroanatomia, neurofisiologia, neuroimagem, neurologia, psicologia, psiquiatria, e mais recentemente, genética, inteligência artificial, engenharia e ergonomia – tem gerado o surgimento de interessantes interações nos diferentes campos de saber e, conseqüentemente, novas abordagens para antigas questões (BENNETT e HACKER, 2003).

Por ser um empreendimento enorme, a neurociência hoje abrange desde estudos de moléculas que agem na transmissão neural até estudos com imagens por ressonância magnética na observação de toda a atividade cerebral. Em termos gerais, se configura como um ponto de convergência destas diversas áreas inter-relacionadas, com o único objetivo de integrar o conhecimento sobre a atividade cerebral em seus diferentes níveis de organização na produção da cognição e comportamento humano.

Assim, o atual desenvolvimento de novas tecnologias e sua aplicação na neurociência cognitiva, bem como o crescimento do campo da ergonomia em sua multidisciplinaridade levam a um inevitável (e frutífero) encontro entre estas duas áreas de saber. A união entre a ergonomia tradicional com a recente neurociência possibilita, portanto, aproveitar as considerações desenvolvidas por ambos os campos para o crescimento e aprimoramento do conhecimento atual sobre os fatores humanos em todos os seus aspectos. Dessa forma, a neuroergonomia representa o campo de conhecimento onde ergonomia e neurociência se sobrepõem, com o objetivo de compreender os fatores humanos a partir do estudo do funcionamento cerebral.

Tendo isto em vista, o presente estudo tem como objetivo apresentar, de maneira introdutória, os principais aspectos do campo emergente da neuroergonomia, seus métodos, aplicações de pesquisa e perspectivas futuras de trabalho.

2. Afinal, o que é neuroergonomia?

Tanto a neurociência quanto a ergonomia – disciplinas representantes da neuroergonomia – possuem suas constituições formais no século XX. Desde então, o impressionante desenvolvimento apresentado pela neurociência desde seu surgimento na década de 50, assim como o progresso gradual e constante, mas não menos importante, da ergonomia podem ser atribuídos a um grande avanço tecnológico deste período, especialmente a partir do surgimento dos computadores (WILSON, 2000). No entanto, podemos observar que estes dois campos apresentam desenvolvimentos independentes.

Em geral, não houve uma verdadeira troca entre a ergonomia e a neurociência, ao longo do desenvolvimento de ambos os campos. Pode-se dizer, na verdade, que de certa forma a ergonomia não prestou muita atenção para os resultados dos estudos relativos aos mecanismos cerebrais subjacentes humanos aos processos perceptivos, cognitivos, afetivos e motores desenvolvidos pela neurociência. Esse relativo “negligenciamento” pelos ergonomistas é compreensível já que esta disciplina tem suas raízes na psicologia dos anos 40 que era predominantemente behaviorista (FAFROWICZ e MAREK, 2007). Posteriormente, o surgimento da psicologia cognitiva nos anos 60 influenciou os estudos em ergonomia, mas a maior parte da neurociência continuou a ser ignorada. Isto se deu por um distanciamento ainda existente entre os estudos neurocientíficos e emergente ciência cognitiva (DENNETT, 1991).

É apenas a partir da década de 90 que ocorre uma aproximação mais explícita entre a psicologia cognitiva e os trabalhos em neurociência (GAZZANIGA, 2000). Com o crescimento dessa neurociência cognitiva, uma nova revolução em nossa compreensão sobre a cognição humana ocorreu. Diante disso, já não é mais possível descrever as características da ação e da cognição humana, de maneira científica, sem alguma referência aos processos do cérebro humano (POSNER, 2003). Essa nova abordagem nos estudos cognitivos, a partir da interação com a neurociência irá possibilitar, conseqüentemente, uma aproximação entre a própria ergonomia e os estudos neurocientíficos. É a partir do encontro dessas diferentes disciplinas – psicologia cognitiva, neurociência e ergonomia – que a neuroergonomia surge.

O surgimento da neuroergonomia, de acordo com FAFROWICZ e MAREK (2007), foi estimulado por dois grupos de fatores: o primeiro, relacionado ao desenvolvimento de novos métodos de exame não-invasivos do cérebro tais como a tomografia por emissão de pósitrons (*positron emission tomography* - PET Scan), imagem funcional por ressonância magnética (*functional magnetic resonance imaging* - fMRI), magnetoencefalografia (MEG), eletroencefalograma (EEG) e o eletrooculograma (EOG). Enquanto, o segundo grupo é ligado à tecnologias avançadas, onde seu desenvolvimento é uma fonte de novas exigências para os trabalhadores. Os fatores mais importantes são as altas exigências no que concernem ao funcionamento cognitivo, carga mental e cognitiva do trabalho, entre outros.

De fato, o termo “neuroergonomia” é de origem recente. Em seu atual significado, teve sua primeira menção em 2003 na edição especial da revista “*Theoretical Issues in Ergonomics Science*” (Questões teóricas da ciência ergonômica). Considerado por PARASURAMAN (2003) a proclamação da nova subdisciplina científica, a divulgação da neuroergonomia nessa edição foi constituída por treze artigos contendo 250 páginas, que apresentaram uma espécie de princípio, ilustrando essa nova área de conhecimento. Posteriormente, em 2007, o termo recebeu maior força com o lançamento do livro *Neuroergonomics: The Brain at Work* (Neuroergonomia: O Cérebro em Funcionamento), editado por Raja Parasuraman e Matthew Rizzo. Mas, é somente em julho de 2010, que é realizado em Miami/Flórida a primeira conferência internacional de neuroergonomia.

A partir disso, novas pesquisas estão sendo realizadas em diversas universidades e laboratórios localizados principalmente nos Estados Unidos, tais como:

- Laboratório de ciência cognitiva da *Catholic University of America* (Washington),
- Departamento de engenharia industrial e de sistemas e Psicologia e Neurociência da *Ohio State University* (Columbus),
- *Center of Excellence in Neuroergonomics, Technology, and Cognition* (CENTEC) na *George Mason University* (Virgínia),
- Departamento de neurologia, Divisão de neuroergonomia da *University of Iowa* (Iowa),

- Departamento de psicologia da *Old Dominion University* (Norfolk) e,
- Departamento de psicologia e no Instituto de simulação e treinamento da *University of Central Florida* (Florida).

Pesquisas em outros continentes, por exemplo, podem ser encontradas na Polônia - Departamento de neuroergonomia da *Jagiellonian University* e em Taiwan no Centro de pesquisas do Cérebro (*Brain Research Center*) da *National Chiao Tung University e University System of Taiwan*. No Brasil, até presente data, não foi observado nenhum centro ou pesquisa de conhecimento divulgado.

Segundo PARASURAMAN (2003), a neuroergonomia é o estudo do cérebro e do comportamento no trabalho. Como apresentado anteriormente, essa área interdisciplinar de pesquisa e prática surge a partir das disciplinas de neurociência e ergonomia (ou fatores humanos), com o intuito de maximizar os benefícios de cada um dos campos. A finalidade não é somente estudar as estruturas e funções cerebrais, que provém da neurociência, mas também fazê-lo no âmbito da cognição e do comportamento humano no trabalho, em casa, no transporte e em outros ambientes do cotidiano.

Os estudos em neurociência revelam a existência de redes neurais, que formam diversos sistemas cerebrais específicos na execução de determinada função cognitiva. A partir disso, pode-se observar com mais precisão, por exemplo, o tempo e as estruturas específicas envolvidas na execução de determinada tarefa ou na realização de operações mentais particulares. Ao se aplicar tais possibilidades de estudo nos trabalhos de ergonomia, podemos notar uma mudança na abordagem adotada.

Como apontam FAFROWICZ e MAREK (2007), na abordagem tradicional da ergonomia, as funções mentais, cognitivas e emocionais do sujeito são consideradas como construtos teóricos que servem de ponto de partida para o trabalho. A partir de uma abordagem da neuroergonomia, os estudos se concentram nas estruturas neurais envolvidas na ação do sujeito. Assim, não são mais os construtos teóricos que guia o trabalho – como na abordagem tradicional ergonômica – mas sim o próprio funcionamento cerebral que pode (ou não) ser convergente com o que foi predito nesse

constructo. A função de estruturas neurais particulares nas quais estão ativas durante o desempenho de uma tarefa de trabalho se tornam o ponto de partida. Ao unir a abordagem epistemológica da neurociência com os estudos em ergonomia, a neuroergonomia surge como uma nova perspectiva e abordagem de trabalho (FAFROWICZ e MAREK, 2007).

A neuroergonomia incide sobre as investigações das bases neurais de funções perceptivas e cognitivas, tais como ver, ouvir, lembrar, decidir e planejar, em relação às tecnologias e configurações no mundo real. Isto é, como o cérebro humano interage com o mundo através de um corpo físico. Ao mesmo tempo, a neuroergonomia também se preocupa com a base neural do desempenho físico – o ato de agarrar, mover ou levantar objetos utilizados em trabalhos com computadores e outras máquinas (PARASUNAMAN e RIZZO, 2007).

De acordo com SARTER E SARTER (2003), para que seja possível uma neuroergonomia, é necessário antes a adoção da perspectiva da neurociência cognitiva. Isto se deve ao fato de que ambos os campos apresentam objetivos intimamente relacionados. Ao mesmo tempo que a neurociência cognitiva busca descobrir os mecanismos cerebrais que mediam a atividade cognitiva complexa, a neuroergonomia busca compreender como esses mesmos mecanismos cerebrais estão envolvidos na performance humana na interação com a tecnologia (HANCOCK e SZALMA, 2003).

De maneira prática, a neuroergonomia pode prever de maneira mais eficaz e natural a interação entre os seres humanos e a tecnologia. Ao entender como o cérebro realiza as tarefas complexas do cotidiano, muitos benefícios tanto para a pesquisa quanto para a prática da ergonomia podem ser proporcionados. Uma nova concepção de condições de trabalho mais eficientes e seguras podem surgir, tendo como potenciais beneficiados os desenvolvedores de tecnologias, os donos de sistemas ou a sociedade em geral cuja tecnologia é utilizada. Assim, a neuroergonomia acaba deixando de lado uma abordagem baseada exclusivamente na avaliação do desempenho ostensivo ou de percepções subjetivas do operador ressaltam os autores PARASURAMAN e RILEY (1997).

3. Métodos na pesquisa e na prática da neuroergonomia

As inovações tecnológicas, amparadas nos diversos métodos de neuroimagem estrutural e funcional, aliadas às técnicas psicofisiológicas e neuropsicológicas, têm expandido o conhecimento sobre o cérebro e o comportamento humano. O emprego de métodos auxiliares à ergonomia tradicional têm sido uma peça fundamental na caracterização e entendimento dos fenômenos e das localizações dos processos relacionados ao sistema nervoso central e periférico. Todo o conhecimento adquirido através das técnicas e métodos permitem ao pesquisador não apenas um complemento na análise desses processos mais específicos, como também permite expandir para outras áreas.

Historicamente, muitos métodos foram desenvolvidos em áreas diversas, como a medicina e biologia, e ao longo dos anos, vêm sendo utilizados na pesquisa e na prática de outras áreas tais como a neuroergonomia. Entre esses métodos estão as técnicas de imageamento cerebral, influentes no desenvolvimento do campo da neurociência cognitiva.

Essas técnicas podem ser divididas em duas classes. O primeiro grupo de técnicas é baseada na medição hemodinâmica cerebral (ou fluxo sanguíneo), tais como a tomografia por emissão de pósitron (*positron emission tomography* - PET), imagem funcional por ressonância magnética (*functional magnetic resonance imaging* - fMRI) e ultra-sonografia transcranial Doppler (*transcranial Doppler sonography* - TCD). O segundo grupo de métodos envolve a medição de atividade eletromagnética do cérebro, incluindo eletroencefalograma (EEG), potencial evocado relacionado a evento (ERP) e magnetoencefalografia (MEG) (Para estudo mais aprofundado, consultar CABEZA e KINGSTONE, 2001).

Apesar do crescente desenvolvimento, nenhuma das técnicas de neuroimagem apresentadas anteriormente consegue combinar a alta resolução temporal e a espacial em conjunto. Atualmente, as medidas eletromagnéticas como os potenciais evocados fornecem a melhor resolução temporal (1 ms ou melhor) para avaliar a atividade neural, enquanto medidas metabólicas como fMRI

possuem a melhor resolução espacial (1 cm ou melhor). Ao mesmo tempo, tanto o PET Scan quanto o fMRI são consideradas as técnicas menos invasivas quanto ao funcionamento cerebral, (PARASURAMAN e RIZZO, 2007).

Outras questões também envolvem o uso das técnicas de imageamento cerebral. Além do alto custo de alguns métodos, estas técnicas possuem o inconveniente de restringirem os movimentos dos participantes. O fato de limitar o movimento acaba dificultando sua utilização em alguns estudos neuroergonômicos, principalmente, aqueles ligados às tarefas complexas tais como em vôos, simulação de direção ou uso de sistemas de realidade virtual. Apesar desses empecilhos, estudos quanto ao desempenho em tarefas complexas tem sido realizados (PERES, VAN DE MOORTELE e PIERAND, 2000; CALHOUN *et al.*, 2002).

Além dos métodos apresentados acima, os testes neuropsicológicos e as medidas psicofisiológicas também podem ser utilizados na neuroergonomia. Diferentes das técnicas de neuroimagem, que se baseiam em grande parte nas estruturas cerebrais, os testes neuropsicológicos são instrumentos diagnósticos complementares utilizados na investigação das funções cognitivas de um indivíduo (WHITE *et al.*, 2003). É através desses testes que podemos avaliar o nível de atenção, percepção, memória, linguagem, motricidade, funções executivas, entre outras habilidades cognitivas, seja ela preservada ou alterada. As medidas psicofisiológicas são registradas a partir do corpo, por exemplo, batimentos cardíacos, condutância de pele, níveis de catecolaminas urinárias, pressão sanguínea, também têm sido utilizados em estudos psicológicos e mais recentemente em ergonomia na medição de operadores em seus postos de trabalho (KRAMER e WEBER, 2000).

4. Algumas Aplicações da Neuroergonomia

4.1 Automação Adaptativa e Carga Mental de Trabalho

A automação adaptativa ou sistemas automatizados (do inglês *adaptive automation*) referem-se à atribuição flexível de funções de agentes humanos e máquinas durante as operações do sistema (HANCOCK e CHIGNELL, 1987). Os sistemas automatizados fornecem um bom exemplo de

incompatibilidade que pode ocorrer entre o humano e a máquina. Uma forma comum desse tipo de sistema é a prestação de suporte da máquina ao operador humano. De maneira alternativa, a automação pode se referir a atribuição de uma função previamente realizada por humanos para máquinas. Nesses sistemas adaptativos, a divisão do trabalho durante o design e o desenvolvimento de sistemas não é fixa nem pré-específica, mas dinâmica e varia de acordo com o contexto (ROUSE, 1988).

Ao mesmo tempo que os sistemas adaptativos geram benefícios e segurança, podem ocorrer problemas na interação entre homem-máquina, já documentadas em laboratório e em campo (WIENER e CURRY, 1980; BAINBRIDGE, 1983). Apesar de todo o dinamismo, um dos problemas observados diz respeito à carga mental de trabalho do operador. Introduzidos com intuito de reduzir a carga mental, os sistemas automatizados podem não fazê-lo ou até aumentá-la em certas ocasiões. O suporte automatizado é necessário somente quando a carga mental é relativamente elevada, de modo que operador possa se beneficiar da liberação de recursos cognitivos, proporcionados pela automação. Em outros momentos, esse suporte não precisa ser dado, caso a carga mental seja muito baixa, não havendo perigo do operador deixar de prestar atenção no sistema. Nesse caso, deve haver uma redistribuição das tarefas (PARASURAMAN e MOULOVA, 1996).

No entanto, a adaptação da carga mental do operador torna-se dependente da capacidade de medi-la em tempo real. De acordo com BYRNE e PARASURAMAN (1996), uma série de técnicas diferentes podem ser utilizadas, em especial as medidas do funcionamento cerebral. Ao contrário da maioria das medidas comportamentais (com exceção das tarefas motoras sucessivas), as medidas das atividades cognitivas podem ser obtidas de forma contínua. Por exemplo, quando o operador supervisiona vários sub-sistemas, medidas comportamentais como o tempo de reação ou erros no movimento podem ser registradas. Porém, oferecem uma medida mais empobrecida do que medidas registradas diretamente da atividade cerebral.

Em alguns casos, as medidas de funcionamento cerebral podem fornecer mais informações quando associadas às medidas comportamentais.

Alterações no tempo de reação, por exemplo, podem refletir as contribuições do processamento da memória de trabalho e a resposta relacionada a carga de trabalho. Contudo, quando combinada com a amplitude e a latência do componente P300 do potencial evocado relacionado a evento, tais mudanças podem ser mais precisamente localizadas na parte central de estágios de processamento do que a resposta em si (WICKENS, 1990). Além disso, as medidas do funcionamento cerebral podem indicar não apenas quando um operador está sobrecarregado, sonolento ou cansado, mas também quais redes e circuitos do cérebro podem estar afetados.

4.2 Aviação

Tradicionalmente, a maior influência dos fatores humanos no design da tecnologia tem sido no campo da aviação, especificamente na elaboração de displays e controles das cabines do avião (FITTS, JONES e MILTON, 1950). Com o aumento das viagens aéreas, novas propostas para o controle do tráfego aéreo e displays foram apresentados. Mas, como saber se são realmente funcionais e eficientes?

Um exemplo pode nos ajudar a entender melhor essa questão. Ao instalar um novo sistema de monitoramento de tráfego em uma aeronave, é preciso considerar informações como a velocidade, altitude, trajetória de vôo e assim por diante, usando cores e símbolos codificados em um monitor de computador. Para sua criação, é interessante que os designers saibam quais as características dos símbolos servem para atrair melhor a atenção do piloto.

Desta forma, é fundamental compreender como ocorre o processo da atenção visual, o controle oculomotor e memória de trabalho através de medidas do funcionamento cerebral. A partir dessas novas informações, pode-se determinar com mais precisão o impacto dos elementos presentes no novo display no desempenho do piloto (WICKENS *et al.*, 2000).

4.3 Neuroengenharia ou Interface cérebro-máquina/computador

Ao mesmo tempo que FRITSCH e HITZIG (1870) demonstravam a excitabilidade elétrica do córtex motor, os cientistas e escritores de ficção

consideravam a possibilidade de interagir com uma máquina a partir do cérebro humano. A neuroengenharia envolve usar os sinais cerebrais como um canal de comunicação adicional para interação humana com o ambiente, também chamada de interface cérebro-computador (*Brain-computer interfaces* – BCIs).

Atualmente, novas tentativas têm sido impulsionadas por objetivos clínicos e tecnológicos. Por exemplo, o estudo de LOEB (1990) trouxe a percepção do som de milhares de pessoas surdas por meio de eletrodos implantados na cóclea. Nos dias atuais, uma grande força motriz por trás das interfaces cérebro-máquina surge da necessidade de proporcionar uma comunicação e um meio de agir sobre o ambiente em pacientes com limitações motoras e perdas no controle de seu corpo. Grande parte da pesquisa clínica tem-se centrado em pacientes que sofrem de paralisia total após um acidente vascular cerebral (AVC) ou doenças degenerativas, como a esclerose lateral amiotrófica (ELA) (KUBLER *et al.*, 2001).

Ligado à “biocibernética”, o trabalho de DONCHIN (1980) e posteriormente, o de NICOLELIS (2003), impulsionaram o desenvolvimento e aprimoramento de interfaces capazes de movimentar braços robóticos, controlar o movimento de cursores de mouse e operar sintetizadores de voz. As interfaces humano-computador permitem ao usuário interagir com o ambiente sem a necessidade de qualquer atividade muscular. Em vez disso, o usuário é treinado a utilizar um tipo específico de atividade mental que é associada a uma única “assinatura” elétrica cerebral. Os potenciais cerebrais são processados e classificados para fornecerem sinais controlados em tempo real a um dispositivo externo.

FELTON e colaboradores (2005) desenvolveram uma interface com base no eletrocorticograma para permitir que paraplégicos redigissem cartas e outros materiais escritos em um computador. Interfaces não-invasivas têm utilizado uma variedade de sinais cerebrais derivados de registros de EEG do córtex cerebral, incluindo EEGs quantificados de diferentes faixas de frequência (PFURTSCHELLER e NEUPER, 2001) e ERPs, como P300 (DONCHIN, SPENCER e WIJESINGHE, 2000) e variação contingente negativa (BIRBAUMER *et al.*, 1999).

4.4 Realidade virtual e simulação

Relevante para a neuroergonomia, a realidade virtual (RV) pode replicar situações com maior possibilidade de controle existente no “mundo real”. BROOKS (1999) define a RV como uma experiência em que o usuário esteja efetivamente imerso em um mundo virtual sensível. Controlada por computador, cria um ambiente ilusório que se baseia em telas visual, auditiva, somatosensorial e até mesmo olfativa. Permite a obtenção de medidas comportamentais e neurológicas do cérebro em pleno funcionamento durante situações que são impraticáveis ou impossíveis de se observar no cotidiano.

Devido a essas características, a RV pode ser utilizada para estudar o comportamento de operadores humanos envolvidos em tarefas perigosas sem colocá-los em risco. Além disso, também pode ser utilizada para estudar a influência de doenças, drogas, cansaço ou uso de tecnologias (como telefones celulares) ao pilotar aviões e na condução de automóvel. Da mesma forma, pode ser aplicada como uma tentativa de reduzir o risco de quedas em idosos ou de treinar estudantes para evitar equívocos e erros de principiante na realização de procedimentos médicos críticos, ao pilotar aeronaves ou na operação de maquinário pesado, assim por diante.

Ainda, a RV tem sido particularmente útil em trabalhadores cujos empregos exigem consciência espacial, coordenação motora complexa ou decisões que necessitem de avaliação de múltiplas respostas possíveis em meio a contingências de mudança. Por fim, a RV tem se apresentado eficaz na terapia de pacientes com Transtorno de Estresse Pós-Traumático (TEPT) e na reabilitação de pessoas com deficiências motoras, cognitivas e psiquiátricas.

Nos dias atuais, muitos avanços técnicos puderam ser feitos, especialmente na área de realidade virtual. Melhorias em gráficos e processamento de som, reconhecimento da fala e dos gestos, o rastreamento dos movimentos através da modelagem biomecânica e software com bases de dados complexas em ambiente virtual, entre muitas outras. Dessa forma, já é possível prosseguir com as pesquisas utilizando um orçamento modesto e conhecimentos técnicos limitados (KEARNEY, RIZZO e SEVERSON, 2007).

5. Considerações Finais

Ao abranger diretamente os campos da neurociência, ergonomia, psicologia e engenharia, a neuroergonomia acaba se beneficiando dos progressos alcançados em cada uma dessas áreas. Cada vez mais, a neuroergonomia tem expandido suas aplicações, criando novas propostas e campos de pesquisa em diversas áreas do nosso cotidiano. Mas, todo seu progresso nos levará para onde?

Devemos lembrar que essa inquietude não é de hoje. Há aproximadamente trinta anos atrás, CHAPANIS (1979) escreve um artigo intitulado “*Quo vadis, ergonomics?*” como um reflexo acerca do campo da ergonomia e suas perspectivas futuras. Hoje, como uma homenagem à Chapanis, FAFROWICZ e MAREK (2007), fazem a mesma pergunta: “*Quo vadis, neuroergonomics?*”, para onde vai essa nova área da ergonomia?

Sem dúvida, por ser um novo campo interdisciplinar, perguntas como estas ainda necessitam de respostas: Há realmente um diálogo entre os múltiplos campos da neuroergonomia? É possível desenvolver pesquisas em neuroergonomia no Brasil? Suas técnicas são financeiramente viáveis? Bom, atualmente, já é possível desvendar os mistérios do cérebro com menos dificuldade do que há trinta anos atrás. Os métodos atuais de pesquisa têm instigado os pesquisadores a realizarem novas perguntas e a desenvolverem novos quadros explicativos sobre o ser humano em seu trabalho e sua relação com as máquinas e os sistemas automatizados.

Os avanços neurocientíficos e tecnológicos permitiram uma maior compreensão dos circuitos cerebrais responsáveis por distintas operações da cognição humana. Além de entender os mecanismos subjacentes ao desempenho em tarefas do “mundo real”, também promove uma melhor qualidade de vida ao trabalhador. Todo esse conhecimento pode nos levar, por exemplo, à construção de teorias mais consistentes, orientações e reformulações nos produtos, otimização das placas de sinalização e advertência, redução do erro humano, desenvolvimento de próteses neurais e toda uma nova geração de robôs. Dessa forma, todo o conhecimento pode ser aproveitado no aprimoramento de sistemas e produtos, visando condições mais seguras e eficientes em diversos postos de trabalho, ambientes domésticos e usuários em geral.

No entanto, mesmo com todo o aparato tecnológico, entender o cérebro humano – isto é, cognição e comportamento – continua sendo uma tarefa árdua. Assim, ao traçar esse breve panorama da neuroergonomia, foi possível observar que muito conhecimento está sendo gerado, mas ainda há um longo caminho pela frente.

6. Referências Bibliográficas

BAINBRIDGE, L. Ironies of automation. *Automatica*, v. 19, p. 775-779, 1983.

BENNETT, M. R.; HACKER, P. M. S. *Philosophical foundations of neuroscience*. Malden, MA: Blackwell, 2003.

BIRBAUMER, N. et al. (1999). A spelling device for the paralysed. *Nature*, v. 398, p. 297-298, 1999.
Brooks, F. What's real about virtual reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, v. 19, n 6, p. 16-27, 1999.

BYRNE, E. A.; PARASURAMAN, R. Psychophysiology and adaptive automation. *Biological Psychology*, v. 42, p. 249–268, 1996.

CABEZA, R.; KINGSTONE, A. *Handbook of Functional Neuroimaging of Cognition*. Cambridge, MA: MIT Press, 2001.

CALHOUN, D. et al. Different activation dynamics in multiple neural systems during simulated driving. *Human Brain Mapping*, v. 16, p. 158-167, 2002

CHAPANIS, A. *Human factors in systems engineering*. John Wiley Press, 1996.

CHAPANIS, A. Quo vadis, ergonomia? *Ergonomics*, v. 22, p. 595–605, 1979.

DENNETT, D. C. *Consciousness Explained*. Boston: Little Brown Press, 1991.

DONCHIN, E. Event-related potentials: Inferring cognitive activity in operational settings. In: GOMER, F. E. (Ed.). *Byoc cybernetic applications for military systems*. Long Beach, CA: McDonnell Douglas, 1980. P. 35-42.

DONCHIN, E., SPENCER, K. M., & WIJESINGHE, R. The mental prosthesis:

Assessing the speed of a P300-based brain-computer interface. *IEEE Transactions on Neural Systems & Rehabilitation Engineering*, v. 8, p. 174-179, 2000.

FAFROWICZ, M.; MAREK, T. Quo vadis, neuroergonomics? *Ergonomics*, v. 50, n. 11, p. 1941-1949, 2007.

FELTON, E.A., WILSON, J.A., RADWIN, R.G., WILLIAMS, J.C., GARELL, P.C. Electrocorticogram-controlled brain-computer interfaces in patients with temporary subdural electrode implants. *Neurosurgery*, v. 57, p. 425-435, 2005.

FITTS, P. M., JONES, R. E., MILTON, J. L. Eye movements of aircraft pilots during instrument-landing approaches. *Aeronautical Engineering Review*, v. 9, n. 2, p. 24-29, 1950.

FRITSCH, G., HITZIG, E. Ueber die elektrische Erregbarkeit des Grosshirns. Translated by G. von Bonin, *In The Cerebral Cortex*, W.W. Nowinski, ed. (Springfield, IL: Thomas, 1960), p. 73–96, 1870.

GAZZANIGA, M.S. *The cognitive neurosciences*. Cambridge, MA: MIT Press, 2000.

HANCOCK, P. A. CHIGNELL, M. H. Adaptive control in human machine systems. In: HANCOCK, P. A. (Ed.). *Human factors psychology*. North Holland: Elsevier Science, P. 305–345, 1987.

HANCOCK, P. A.; SZALMA, J. L. The future of neuroergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, v. 4, p. 238-249, 2003.

INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION. What is Ergonomics, 2000. Disponível em: http://www.iea.cc/01_what/What%20is%20Ergonomics.html Acesso em: 12 de janeiro de 2011.

KEARNEY, J. K.; RIZZO, M.; SEVERSON, J. Virtual Reality and Neuroergonomics. In: PARASURAMAN, R.; RIZZO, M. (Eds.). *Neuroergonomics: The brain at work*. New York: Oxford University Press, P. 253-274, 2007.

KRAMER, A. F.; WEBER, T. Applications of psychophysiology to human factors. In:

CACIOPPO, J. T.; TASSINARY, L. G.;
BERNTSON, G. G. (Eds.). *Handbook of
psychophysiology*. Cambridge, UK: Cambridge
University Press, P.794-814, 2000.

KUBLER, A. et al. Brain-computer
communication: unlocking the locked in.
Psychological Bulletin, v. 127, p. 358-375, 2001.

LOEB, G.E. Cochlear prosthetics. *Annu. Rev.
Neurosci.*, v. 13, p. 357-371, 1990.

NICOLELIS, M. A. Brain-machine interfaces to
restore motor function and probe neural circuits.
Nature Reviews Neuroscience, v. 4, p. 417-422,
2003.

PARASURAMAN, R. Neuroergonomics:
Research and practice. *Theoretical Issues in
Ergonomics Science*, v. 4, p. 5-20, 2003.

PARASURAMAN, R.; MOULOUA, M.
*Automation and Human Performance: Theory and
Applications*. Mahwah, NJ: Erlbaum Press, 1996.

PARASURAMAN, R.; RILEY, V. A. Humans and
automation: use, misuse, disuse, abuse. *Human
Factors*, v. 39, p. 230-253, 1997.

PARASURAMAN, R.; RIZZO, M. Introduction to
neuroergonomics. In: PARASURAMAN, R.;
RIZZO, M. (Eds.). *Neuroergonomics: The brain at
work*. New York: Oxford University Press, P. 2-12,
2007.

PERES, M.; MOORTELE, P. F.; PIERARD, C.
Functional magnetic resonance imaging of mental
strategy in a simulated aviation performance task.
Aviation, Space and Environmental Medicine, v.
71, p. 1218-1231, 2000.

PFURTUSCHELLER, G.; NEUPER, C. Motor
imagery and direct brain-computer
communication. *Proceedings of the IEEE*, v. 89, p.
1123-1134, 2001.

POSNER, M. I. Imaging a science of mind. *Trends
Cogn. Sci.*, v. 7, p. 450-453, 2003.

ROUSE, W. B. Adaptive aiding for
human/computer control. *Human Factors*, v. 30, p.
431-438, 1988.

SARTER, N.; SARTER, M. Neuroergonomics:
opportunities and challenges of merging cognitive
neuroscience with cognitive ergonomics.
Theoretical Issues in Ergonomics Science, v. 4, p.
142-150, 2003.

WHITE, R.F., JAMES, K.E., VASTERLING, J.J.,
LETZ, R., MARANS, K., DELANEY, R.,
KRENGEL, M., ROSE, F., KRAEMER, H.C.
Neuropsychological screening for cognitive
impairment using computer-assisted tasks.
Assessment, v. 10, p. 86-101, 2003.

WICKENS, C. D. Applications of event-related
potential research to problems in human factors.
In: ROHRBAUGH, J. W.; PARASURAMAN, R.;
JOHNSON, R. (Eds.). *Event-related Brain
Potentials: Basic and Applied Issues*. New York:
Oxford University Press, 1990. P. 301-309.

WICKENS, C.D., XU, X., HELLEBERG, J.R.,
CARBONARI, R., MARSH, R. *The allocation of
visual attention for aircraft traffic monitoring and
avoidance: Baseline measures and implications for
freeflight*. Savoy, IL: University of Illinois,
Aviation Research Lab, 2000.

WICKENS, C. D.; GORDON, S. E.; LIU, Y. *An
Introduction to Human Factors Engineering*. New
York: Addison-Wesley Press, 1998.

WIENER, E. L.; CURRY, R. E. Flight-deck
automation: promises and problems. *Ergonomics*,
v. 23, p. 995, 1980.

WILSON, J. R. Fundamentals of Ergonomics in
theory and practice. *Applied Ergonomics*, v. 31, p.
557-567, 2000.