

# A pesquisa em Neurociência e suas implicações para o Ensino de Ciências: contribuições para o Ensino de Física em deficientes visuais<sup>1</sup>

## The Neuroscience Research and their implications for the Teaching of Science: contributions to the Teaching of Physics for visually impaired

Edval Rodrigues de Viveiros<sup>1</sup>

Eder Pires de Camargo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doutorando do Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência –  
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP de Bauru/email:  
edvalrv@ig.com.br

<sup>2</sup>Docente UNESP – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/email:  
camargoep@dfq.feis.unesp.br

### **Resumo:**

Este trabalho é parte de uma pesquisa de doutorado em andamento. As conclusões advindas dos dados empíricos da investigação exploratória serão utilizados posteriormente com o objetivo de compor uma sequência didática. Estes resultados provém da Neurociência Cognitiva, e foram aplicados para a compreensão e ulterior otimização de variáveis cognitivas relacionadas a atividades didáticas para o Ensino de Física em indivíduos com deficiência visual. Os resultados preliminares mostram que: a) é necessário que o ensino de Física seja tratado como um sistema lingüístico-semiótico; b) esta semiótica pode ser otimizada utilizando-se estratégias de ensino-aprendizagem do tipo intermodal (cross-modal); c) as variáveis cognitivas atenção, memória, cognição emocional, raciocínio disjuntivo e dissonância cognitiva podem ser maximizadas através de procedimentos de ensino-aprendizagem tendo como tema motivador princípios da Biônica. Para isto, as atividades e situações didáticas serão desenvolvidas utilizando-se uma unidade robótica controlada por uma interface cérebro-computador.

### **Abstract:**

---

<sup>1</sup> Apoio: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

This work is part of a doctoral research in progress. The results obtained by empirical data from exploratory research will be used later in order to compose an instructional sequence. These results come from Cognitive Neuroscience, and were applied to the understanding and further optimization of cognitive variables related to learning activities for the Teaching of Physics in individuals with visual impairments. Preliminary results show that: a) it is necessary that the teaching of physics is treated as a linguistic-semiotic system, b) that semiotics can be enhanced by using teaching strategies and learning intermodal type (cross-modal), c) cognitive variables, attention, memory, emotional cognition, disjunctive reasoning and cognitive dissonance can be maximized through processes of teaching and learning as its theme motivating principles of bionics. For this purpose, activities and teaching situations will be developed using a robotic mechanism controlled by a brain-computer interface.

Key-words: Physics Education; Physics Education for visual impairments; Neuroscience and Physics Education; Language and Physics Learning.

## **Delineamento geral da pesquisa**

Discutiremos neste trabalho resultados com base teórica preliminar para a definição de condições iniciais de contorno para o delineamento de um sistema que denominamos “Mindware Semiótico-Comunicativo”, constando de duas componentes didático-pedagógicas. A primeira consiste da fundamentação epistemológica e conceitual da tese, que em parte será tratado neste trabalho. A outra componente, consequência direta e imediata da primeira, resultará na estruturação de uma seqüência e de situações didáticas, que não será discutido neste trabalho.

A pesquisa terá como sujeitos alunos com deficiência visual (cegos e baixa visão, respectivamente) do Ensino Médio da rede estadual de ensino. Aplicaremos atividades didáticas de Ensino de Física, com situações sob o tema biônica (ou biomimética). Estas atividades serão contextualizadas com questões pertinentes a abordagem em Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (ou Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática), buscando soluções e problematizações através de montagens de protótipos experimentais utilizando-se uma unidade robótica da marca Lego Mindstorms, modelo NXT 2.0. As ações do robô serão controladas pelo indivíduo deficiente visual através de uma interface cérebro-computador da marca Emotiv EPOC Research. Com este procedimento aplicar-se-á os conceitos de *empowerment* e *mainstreaming* da educação inclusiva para alunos com necessidades educacionais especiais.

O problema de pesquisa consiste em estudar o sistema semiótico (Referente, Significado e Significante) que o indivíduo elabora quando busca resolver os problemas colocados pela experiência com as respectivas situações didáticas. Para isto, a pergunta é: que esquemas, campos conceituais (conceitos e teoremas-em-ação) e representações são desenvolvidos por indivíduos deficientes visuais em situações didáticas envolvendo o ensino de Física? É possível inferir construtos cognitivos universais específicos para o ensino de Física através da análise semiótica desta construção cognitiva? Qual é a epistemologia cognitiva que subjaz o ensino-aprendizagem da Física, considerada enquanto um sistema de linguagem?

Os referenciais teóricos da pesquisa serão a Semiótica de Charles Peirce e a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud, complementados por uma abordagem epistemológica considerando resultados da pesquisa em Neurociência Cognitiva aplicados ao contexto educacional, especialmente em relação ao indivíduo com deficiência visual.

A abordagem da Neurociência Cognitiva será o foco deste trabalho, dentro de um enfoque epistemológico, da qual serão inferidos resultados aplicáveis diretamente para o Ensino de Física.

## **A Neurociência e sua contribuição para a Educação**

É crescente as publicações em Neurociência e Educação, tanto na pesquisa quanto em aplicações didáticas (Salas Silva, 2008). Tabacow (2006) mostrou tal relação, especialmente na formação docente. Para Bartoszeck (2007) a pesquisa em Neurociência por si não produz novas estratégias educacionais, mas pode elucidá-las.

Comentando o livro de Blakemore e Frith (2005), Howard-Jones (2005) destaca a importância da interdisciplinaridade para estudar as aplicações e implicações da Neurociência e ciências correlatas para a área educacional.

Ao citar Wagenschein, Niedderer (2001) apresenta a proposta daquele autor em relação a um modelo que evidencia a aprendizagem como um processo cognitivo, com características semelhantes à Física (em relação a epistemologia de interpretação da realidade e a construção do conhecimento científico).

A UNESCO tem auspiciado diversos programas educacionais com abordagem nas ciências cognitivas. A *International Brain Research Organization* por exemplo, é uma entidade internacional independente fundada desde 1960, da qual a UNESCO faz parte, e que tem como objetivo o estudo de questões relacionadas ao cérebro humano, inclusive possui uma área educacional, que integra o programa da entidade sob o nome *Science and Technology Education*.

Desde que a entidade instituiu a *United Nations Decade of Education for Sustainable Development* (2005-2014), diversos programas e eventos tem sido realizados por todo o mundo. Um destes projetos é desenvolvido na Inglaterra através de um programa de capacitação docente de dois anos, denominado CASE (*Cognitive Acceleration through Science Education*) que visa o trabalho com o ensino de ciências dentro de um tratamento essencialmente cognitivo aplicável para o ensino fundamental (UNESCO, 1999).

Numa linha semelhante, o *Max Planck Institute for Psycholinguistics* desenvolve pesquisas na mesma área de ciências cognitivas, porém direcionando-se para a linguagem. Destacam-se algumas linhas de pesquisa deste instituto, que possui um paralelo com o projeto aqui considerado: “Categorias entre linguagem e cognição”, “Linguagem em ação” e “Interação multimodal”. Seu *staff* reúne pesquisadores e colaboradores em mais de 20 países, nas áreas de Antropologia Evolucionária, Ciência do Cérebro e Cognição Humana, Cibernética Biológica, Antropologia Social e História da Ciência.

## **A deficiência visual segundo a Neurociência Cognitiva**

O livro de Vygotsky (1995), “Fundamentos de la defectologia”, principalmente no capítulo “El niño ciego”, é um dos trabalhos mais clássicos e importantes sobre a temática inclusiva. Nele apresenta-se conceitos que atualmente podem ser esclarecidos e aprofundados através da neurociência cognitiva, principalmente com as atuais técnicas de imagieria: a) o cego de nascimento não forma imagens mentais visuais (veremos que esta idéia é equivocada), mas, por outro lado, b) apresenta concentração e memória mais desenvolvidas do que videntes; c) a

cegueira impulsiona o indivíduo a criar mecanismos internos de compensação para vencer o obstáculo da ausência da visão; d) a linguagem é o mecanismo por excelência que o cego se utiliza. Estes e outros conceitos serão brevemente aqui considerados sob a égide da neurociência cognitiva, com o objetivo de fundamentar a argumentação de nossa investigação.

Inicialmente, o conceito mais importante que abordaremos é a *plasticidade cerebral* (que ocorre em todo indivíduo, e não somente no deficiente visual), propriedade através da qual permite ao cérebro humano adaptar-se e até regenerar-se frente a possíveis lesões (Das *et al*, 2001). A plasticidade cerebral no deficiente visual produz o remapeamento cerebral, estimulando a associação das áreas visuais não ativadas com outras áreas perceptivas (como o tato e a audição).

Esta adaptação leva ao conceito de plasticidade *cross-modal*, ou intermodal, a partir do momento em que o deficiente visual compila a contribuição de outros sentidos e estratégias cognitivas para procurar efetuar algumas tarefas que pertencem a área exclusiva da visão (Théoret, Merabet, Pascual-Leone, 2004). Cada deficiente visual pode ter seu próprio padrão de plasticidade intermodal, já que o indivíduo desenvolve estratégias próprias para lidar com a ausência do sentido da visão.

Indivíduos com cegueira congênita apresentam dificuldade na formação mental de imagens (Knauff e May, 2006). Em indivíduos cegos mas que enxergaram anteriormente, a capacidade de construir imagens mentais de objetos vai diminuindo drasticamente (Hollins, 1985).

Para cegos em situações de aprendizagem envolvendo a utilização, a descrição (através da escrita) e a manipulação de equações matemáticas ou físicas, ocorre a dificuldade de natureza mnemônica de recordar as mesmas à medida que vão sendo trabalhadas numa determinada situação de ensino.

O sentido da visão, diferentemente da audição, é um fenômeno da consciência humana do mais do que apenas algo físico, óptico biológico ou fisiológico (Colin, 2004). A visão é interpretada pelo cérebro, pela mente e consciência do indivíduo. É um sentido altamente subjetivo, sintético (não somente analítico, como o tato) e isto traz vantagens, como no caso da substituição sensorial.

Em pessoas videntes, o processo de formação de imagens mentais (*mental imagery*) ativa o córtex visual, e o mesmo ocorre em relação aos deficientes visuais e cegos (Kosslyn *et al*, 1993; Kosslyn, Thompson, Kim e Alpert, 1995) quando estimulados por outro sentido, como o tato, ou associado a outros sentidos (audição e até o cheiro). De fato, alguns estudos apontam que indivíduos cegos de nascença criam imagens mentais (Aleman *et al*, 2001; Ardit, Holtzman e Kosslyn, 1988). Uma série de estudos demonstra que a plasticidade em deficientes visuais que dominam o Braille é tão desenvolvida a ponto de recrutar áreas do próprio córtex visual, ao invés de prevalecer a ativação das regiões sensorio-motoras quando comparados com indivíduos videntes (Sadato *et al*, 1996; Sadato *et al*, 1998).

É fundamental que o deficiente visual execute procedimentos visando o treino de sua percepção, locomoção e integração ao meio exterior no qual ele está participando. Neste sentido, o trabalho com a *mental imagery* torna-se de extrema importância, principalmente em crianças (Raynard, 1991; Gaunet e Thinus-Blanc, 1996). Segundo Grush (2004), a experiência sensorial-perceptiva envolvendo a parte motora contribui para que o cérebro construa mais circuitos neurais que auxiliarão na composição das imagens mentais do indivíduo. Isto formaria algo como uma seqüência de quadros de um filme, produzindo significado real na consciência ou na mente do sujeito. Este mesmo tipo de estimulação associa-se às mesmas áreas sensoriais (Hwang e Kwon,

2009; Neuper, Scherer, Wriessnegger, Pfurtscheller, 2009; Neuper, Scherer, Reiner e Pfurtscheller, 2005).

Outra associação entre processos de formação de imagens mentais e correlação com imagens visuais em cegos é encontrada no estudo de sonhos. Contrariando o senso comum, cegos inatos produzem imagens visuais através dos sonhos, comprovadas através do estudo da atividade elétrica cerebral (eletroencefalograma ou EEG) sugerindo a existência de algum mecanismo genético de preservação destas representações (Bértolo e Paiva, 2001).

A neuroplasticidade em cegos ocorre sem nenhuma estimulação artificial (Lambert, Sampaio, Mauss e Scheiber, 2004). O psicólogo Richard Held estudou um paciente que mesmo tendo perdido a visão completamente, conseguiu se locomover através de objetos num ambiente com obstáculos (de Gelder *et al.*, 2008).

O pintor turco cego Esref Armagan é capaz de desenhar objetos ou edifícios em perspectiva (Kennedy e Juricevic, 2006). O córtex visual de Armagan foi desenvolvido com uma plasticidade intermodal com o sentido do tato (em proporção menor do que com o mecanismo da verbalização, o que seria mais comum na maioria dos cegos) (Pascual-Leone, Amedi, Fregni e Merabet, 2005).

Mencionando agora as funções cognitivas superiores, há uma correlação positiva entre a supressão da visão e a performance mais desenvolvida nas funções cognitivas de atenção e memória, devido ao mecanismo da neuroplasticidade compensatória (Raz, Amedi e Zohary, 2005; Amedi *et al.*, 2003).

Se o cérebro do deficiente visual desenvolve “naturalmente” a plasticidade cerebral como uma função de autocontrole, por outro lado traz a vantagem de poder ser monitorada e controlada pela própria pessoa (*biofeedback*) ou por uma interface cérebro- computador (*neurofeedback*), e com isto ter seu funcionamento otimizado no nível neurológico e comportamental (Ros *et al.* 2010; Zacksenhouse *et al.*, 2007; Pinkers, 1988).

Um exemplo é a possibilidade de dispor da tecnologia de interface cérebro-computador com o objetivo de auto-regulação de seu mecanismo perceptivo descompensado pela ausência do sentido da visão, ou no auxílio de processos de memorização (mnemônicos), como aqueles exigidos pelo elaboração e manipulação de equações e fórmulas físico-matemáticas, que envolvem também o cálculo mental e a utilização de algoritmos na aprendizagem da Física.

Face ao exposto, traçamos na Tabela 1 um resumo que relaciona alguns aspectos neurocognitivos aqui abordados com questões educacionais:

Tabela 1 – Fenomenologia neurocognitiva e questões de ensino-aprendizagem

<b>Aspectos neurocognitivos</b>	<b>Questões de natureza educacional</b>
A deficiência visual congênita ou adquirida dificulta e até impossibilita o processo de formação de imagens mentais relacionadas a objetos e também a orientação espacial e reconhecimento do ambiente exterior (mobilidade espacial)	A dificuldade na formação de representações mentais pode interferir na aprendizagem de conceitos científicos, principalmente em situações de aprendizagem onde o sentido da visão seria imprescindível. Como resolver ou amenizar este problema?
A plasticidade cerebral do deficiente visual	Isto poderia ser melhor explorado em situações de

(cego e com baixa visão), principalmente a de natureza intermodal, produz o remapeamento de outros sentidos, principalmente o tátil	aprendizagem escolar através do uso de estratégias diferenciadas de ensino, principalmente privilegiando o uso de vários estímulos (tátil, auditivo, verbal, olfativo, etc.)
Estudos mostram que os deficientes visuais possuem mecanismos de atenção e memória mais desenvolvida em relação a indivíduos videntes	Como fazer com que este mecanismo compensatório possa ser otimizado em situações de aprendizagem? Isto se traduziria numa melhor performance do ponto de vista do domínio de conceitos científicos e da resolução de problemas para a área de ensino de Física, principalmente em áreas mais abstratas (como a Mecânica Quântica)?  Como melhorar a performance mnemônica do cego ao se lidar com formalismos matemáticos (equações) do tipo utilizado da Física?
O uso de próteses visuais (substituição sensorial) é interessante, porém muitos deficientes visuais apresentam dificuldade na formação, interpretação e refinamento das imagens visuais (inadaptabilidade)	De que maneira desenvolver soluções para se trabalhar o aperfeiçoamento ou a estimulação das áreas visuais atrofiadas devido à falta de funcionamento do mecanismo da visão (atrofia)?

## O ensino de Física enquanto linguagem

A compreensão sobre as questões relacionadas com a gênese, cognição, aquisição e desenvolvimento da linguagem humana foi debatida por Jean Piaget e Noam Chomsky (e outros grandes nomes da ciência) em 1975, no *Centre Royamont pour une science de l'homme* (Piatelli-Palmarini, 1983). A maioria das questões e conclusões deste evento sustenta e orbita em torno da problemática que enfrenta atualmente o Ensino de Física no Brasil. Problemática que se relaciona com a desvinculação da idéia da Física enquanto linguagem, e com a compreensão dos mecanismos cognitivos, heurísticos e epistemológicos empregados para o domínio dos conceitos básicos desta ciência.

O termo 'linguagem' aqui, se refere ao aspecto estrutural e intrínseco de qualquer linguagem, compondo o aspecto lógico, léxico, gramatical e semântico. Diz respeito a estrutura semiótica dada *a priori* em qualquer linguagem, o que confere a busca por elementos de natureza epistemológica diretamente vinculados as funções cognitivas no indivíduo, mas também a dinâmica, organização e estruturação da linguagem em termos sócio-cognitivo-cultural (Bronckart, 2009; Santaella, 2005).

Utilizaremos a semiótica de Charles Peirce (Peirce, 2000), que estabelece a chamada '**tríade semiótica**': *Objeto* – signo (Referente); *Interpretação* (Significado); *Representação* (Significante). Transpondo esta mesma interpretação para o referencial teórico da Teoria dos Campos Conceituais, segundo Gérard Vergnaud (Vergnaud, 1996), teremos: Situação didática – dá sentido ao conceito (Referente); Invariantes Operatórios – conceitos ou teoremas-em-ação (Significado); Representações – equivale às diversas representações (Significante): linguagem natural, gráficos, diagramas, sentenças formais. No caso que estamos considerando neste trabalho, a componente 'Significado' ou 'Interpretante' pode também corresponder ao distintos conjuntos de princípios que subjazem os conceitos e teoremas-em-ação, conforme abaixo descrito:

Interpretante (Significado): Comutatividade, Anticomutatividade, Associatividade, Razão direta (grandezas diretamente proporcionais), Razão inversa (grandezas inversamente proporcionais), Covariância, Invariância, Lei de conservação.

Isto será particularmente pertinente quando abordarmos o processo de axiomatização da Biônica, que será considerado noutro trabalho, e que compõe parte da componente didática da pesquisa.

O conhecimento científico da Física, que ocorreu justamente porque foi objeto da aprendizagem de seus atores (no caso, os cientistas) passa, necessariamente pela construção epistemológica que obedece à tríade semiótica acima indicada. A este respeito, convém destacar que na componente semiótica de representações (significante), somente teríamos uma aprendizagem efetiva em relação a determinado conceito e teorema-em-ação se dispusermos de ao menos dois sistemas de representação distintos, pois nesta situação o indivíduo demonstraria congruência em passar de determinado sistema de representação semiótica para outro (Duval, 2009).

Com esta interpretação, somos levados imediatamente a concluir que se pretendemos fazer com que a Física seja encarada como uma linguagem, temos que considerar que o processo de ensino-aprendizagem da mesma (cuja natureza é essencialmente epistemológica) também deverá sê-lo.

Entretanto, faltava até o presente momento explicitar, explicar e demonstrar claramente que o domínio cognitivo ao qual pertence especificamente a aprendizagem da Física possui singularidades dentro de toda complexidade do aparelho perceptivo-neurocognitivo e sócio-cognitivo. Em outras palavras, o ensino de Física exige uma planificação cognitiva, epistemológica e didática absolutamente particular, própria, totalmente diferenciada em relação a outras disciplinas do conhecimento científico. Parte sobre a compreensão de alguns conceitos da Neurociência Cognitiva para o entendimento da Física enquanto um sistema de linguagem semiótica será apresentado a seguir.

A primeira contribuição é em relação a leitura. Este mecanismo forma parte de um processo cognitivo que possui determinados lócus preferenciais com neurônios específicos para tal função (Dehaene, *et al* 1999). Para o entendimento deste processo adotaremos o modelo chamado “Detector de Combinações Locais” (*local combination detectors – LCD*), proposto por Stanislas Dehaene e equipe. Neste modelo, o domínio da leitura advém de um complexo percurso de combinações de signos, símbolos e ícones que compõem qualquer tipo de sistema de linguagem (escrita, gráfica, representacional, pictórica).

Concomitantemente, o processo de aquisição e desenvolvimento da habilidade do cálculo matemático também é específico em termos neurocognitivos, associando-se a isto o próprio processo da leitura e da fala naturais pelo indivíduo, fazendo com que na aprendizagem conceitual e matemática da Física, os mesmos grupos neurônicos estejam sendo recrutados, e diferenciando-se de outros grupos neurônicos empregados em habilidades cognitivas diferentes, como por exemplo, a habilidade musical, o reconhecimento de figuras humanas, ou de imagens visuais de paisagens, etc. (Qiao, 2007; Dehaene, Cohen *et al.* 2005).

A aprendizagem da Matemática, semelhantemente com o que ocorre com a Física, implica no uso de repertório semântico (característico dos processos de conceitualização) com ativação de regiões cerebrais específicas. Participa do mecanismo de estruturação de conceitos a utilização de modelos mentais e de modelos do tipo visual (via representação mental). Entretanto, a visualização pode ser necessária, porém não suficiente para a formação de conceitos. Acrescenta-se ao mecanismo de conceitualização e operacionalização matemático-formal a contribuição da

estimulação intermodal, ou seja, a participação de vários estímulos isolados ou concomitantemente.

As funções cognitivas associadas com as representações intermodais (incluindo a linguagem falada e as atividades cognitivas psicomotoras) associam-se diretamente aos chamados neurônios espelhos (Rogers *et al*, 2003), fazendo com que o processo comunicativo no indivíduo seja mais eficiente sob esta condição. Além disto, a atividade neuronal específica da área do raciocínio lógico matemático demonstrou covariância direta com a área cognitiva motora (Knops *et al*, 2009), o que pode ser favorável a nossos propósitos de se trabalhar a percepção espacial do cego.

Por conseguinte, a estimulação das representações mentais em situações de ensino-aprendizagem da Física (e, portanto, do raciocínio lógico), executadas num ambiente intermodal, pode emular os neurônios espelhos das regiões associadas com as áreas da cognição emocional, da atenção, da memória e do raciocínio lógico (Muthukumaraswamy e Singh, 2008), e, neste sentido, o treinamento do tipo biofeedback e neurofeedback normalizaria a performance de operação destes neurônios espelhos (Pineda *et al*, 2008).

A otimização dos resultados em aplicações de neurofeedback poderia ser estendida tanto na melhora de desempenho mnemônico, quanto para contribuir na performance em situações didáticas envolvendo a aprendizagem de conceitos, com o objetivo de minimizar a dissonância cognitiva, ou seu equivalente, os obstáculos epistemológicos envolvidos na mudança conceitual (Rea-Ramirez e Clement, 1998).

Porém, a aprendizagem somente ocorre através da estimulação da memória de longo termo (*long term memory*), o que somente acontece se as estratégias de aprendizagem forem periodicamente freqüentes, o que resulta a nível molecular na formação de estruturas protéicas a nível genético (Kandel e Schwartz, 1982). Quando tal processo se efetiva, é possível até que a aprendizagem adquirida pelo indivíduo ultrapasse ou se sobreponha a um eventual histórico de dificuldade cognitiva anterior, diz-se que, neste caso, a epigênese se sobrepõe a genética (Changeux e Connes, 1996).

## **Resultados esperados**

Com base naquilo que foi sinteticamente aqui apresentado, tendo como fundamentação resultados empíricos da Neurociência Cognitiva, compilamos a seguir alguns resultados que esperamos obter através da pesquisa. Para isto, utilizando uma abordagem translacional, apontamos também indicadores que podem otimizar o processo de aprendizagem para o contexto do Ensino de Física:

- Enfatizar a aprendizagem da Física em torno da etapa de observação (percepção, ou primeiridade semiótica) fundamentando-a no estabelecimento de regularidades, princípios, leis, regras, em detrimento de processos de conceitualização mnemônica;
- Correlacionar o sistema simbólico e sêmico da Física com demais sistemas semânticos representacionais, mas cujos significados sejam homeomorfos e congruentes entre si;
- Para um mesmo campo conceitual (conceitos e teoremas-em-ação), aplicar atividades distintas que envolvam habilidades cognitivas com lateralidade cerebral diferenciada mas que possuam correlação e complementaridade cognitivo-funcional;

- Aplicar atividades envolvendo estimulação e expressão intermodal, ou seja, trabalhando vários estímulos sensoriais distintos, de maneira isolada ou concomitante;
- Desenvolver procedimentos sensório-motores de emulação humana de padrões de comportamentos vinculados às situações didáticas da Física, preferencialmente escalonando-os numa ordem hierárquica de complexidade;
- Concatenar, encadear e associar imagens mentais (*mental imagery*) relacionadas a situações didáticas da Física com distintos repertórios semânticos (verbal, gestual, pictórico, gráfico, etc.), aplicando neste caso estratégias metacognitivas.

## Conclusões e discussão

A Neurociência Cognitiva contribui inequivocamente para compreendermos que o Ensino de Ciências e, particularmente, o Ensino de Física, pressupõe considerar que a epistemologia da aprendizagem é um processo de aquisição e domínio lingüístico, entendido em seu sentido semiótico. Isto significa que o ensino deve considerar necessariamente três momentos muito bem definidos: a percepção (das situações didáticas), a compreensão (momento do processo de conceitualização) e a conseqüente representação. A eficiência desta semiose pressupõe na essência processos de ensino que privilegiem estratégias comunicativas sócio-cognitivas, já que a base e a fundamentação de existência, desenvolvimento e preservação de qualquer sistema de linguagem é o fato de que as pessoas consigam se comunicar e se compreender entre si. A Ciência e o conseqüente conhecimento científico somente persistem graças a este pressuposto: o processo comunicativo inerente com base num sistema de linguagem praticado de forma inteligível, estratégica e relativamente consensual por seus interlocutores.

É necessário, portanto, que o ensino-aprendizagem da Física seja considerado como um processo de ‘alfabetização científica’, cujo domínio epistemológico deva levar em conta as características cognitivas inerentes do ser humano, assumido e presumido como um sistema de linguagem. A partir de uma compreensão mais aprofundada dos parâmetros e variáveis sócio-cognitivas particulares da própria Física, será possível delinear estratégias didáticas e metodológicas mais eficientes e eficazes visando a otimização destas mesmas funções cognitivas.

Neste sentido, a inclusão de indivíduos com necessidades educacionais especiais releva mais do que nunca a fragilidade do processo comunicativo epistemológico praticado na atual escola e contexto educacional como um todo. Tomando-se como referência o deficiente visual, constata-se a necessidade de se conhecer em profundidade particularidades do sistema cognitivo deste indivíduo para, assim, planificar ações mais pontuais, mas considerando não apenas e isoladamente este público, e sim a totalidade do alunado em geral.

## Referências

ALEMAN, A., VAN LEE, L., MANTIONE, M., VERKOIJEN, I. & DE HAAN, E. H. D. Visual Imagery Without Visual Experience: Evidence from Congenitally Totally Blind People. **NeuroReport** (12) 2601-2604. 2001.

AMEDI A, RAZ N, PIANKA P, MALACH R, ZOHARY E. Early 'visual' cortex activation correlates with superior verbal memory performance in the blind **Nature Neuroscience**, 6(7), 758-66.2003.

ARDITI, A., HOLTZMAN, J. D., & KOSSLYN, S. M. Mental Imagery and Sensory Experience in Congenital Blindness. **Neuropsychologia** (26) 1-12. 1988.

BARTOSZECK, A.B. **Neurociência na Educação** (apostila de curso). Universidade Federal do Paraná. Laboratório de Neurofisiologia, 2007.

BÉRTOLO, H; PAIVA, T. Conteúdo visual em sonhos de cegos. **Psicologia, Saúde e Doenças**. II(1).2001.

BLAKEMORE, S.J.; FRITH, U. **The learning brain: Lessons for education**. Oxford: Blackwell, 2005.

BRONCKART, J.P. **Atividade de linguagem, textos e discursos** – por um interacionismo sóciodiscursivo. Trad. Ana Rachel Machado, Péricles Cunha. 2.ed. São Paulo: Educ, 2009.

CHANGEUX, J.P.; CONNES, A. **Matéria e pensamento**. Tradução de Luiz Paulo Rouanet. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1996.

COLIN, V. Images mentales et déficience visuelle : Ecrits psychomoteurs. **Evolutions psychomotrices**, n. 65,141-146. 2004.

DAS, A.; FRANCA, J.G.; GATTASS, R.; KAAS, J.H.; NICOLELIS, M.A.L.; TIMO-IARIA, C.; VARGAS, C.D.; WEINBERGER, N.M.; VOLCHAN, E. The brain decade in debate: VI. Sensory and motor maps: dynamics and plasticity. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**. 34: 1497-1508, 2001.

DE GELDER, B.; TAMIETTO, T.; VAN BOXTEL, G.; GOEBEL, R.; HAHRAIE, S.; VAN DEN STOCK, J.; STIENEN, B.M.C.; WEISKRANZ, L.; PEGNA, A. Intact navigation skills after bilateral loss of striate cortex. **Current Biology**, 18 (24), 1128-1129, 2008.

DEHAENE, S; COHEN, L ;SIGMAN, M; VINCKIER, F. The neural code for written words: a proposal. **Trends in Cognitive Sciences** 9(7). 2005.

DEHAENE, S; SPELKE, E;PINEL, P; STANESCU, R; TSIVIKIN, S. Sources of Mathematical Thinking: Behavioral and Brain-Imaging Evidence. **Science**, 284, 970, 1999.

DUVAL, R. **Semiósis e pensamento humano** : registros semióticos e aprendizagens intelectuais (Fascículo 1).Tradução Lênio Fernandes Levy e Marisa Roâni Abreu da Silveira. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.

GAUNET, F.; THINUS-BLANC, C. Les représentations spatiales chez Le déficient visuel : apprendre à apprendre l'espace. Enfance et cécité. [Dossier]. - **Empan**, n. 23, 62-64. septembre 1996.

GRUSH, R. The Emulation Theory of Representation: Motor Control, Imagery, and Perception. **Behavioral And Brain Sciences**, 27 (3):377-396. 2004.

HOLLINS, M. Styles of mental imagery in blind adults. **Neuropsychologia**. 23(4):561-6, 1985.

HOWARD-JONES, P. **An invaluable foundation for better bridges**. Blackwell Publishing Ltd. 2005.

HWANG H.J.; KWON K, IM C.H. Neurofeedback-based motor imagery training for brain-computer interface. **Journal Neuroscience Methods**.179(1).2009.

KANDEL, E.; SCHWARTZ, J.H. Molecular biology of learning: modulation of transmitter release. **Science**: v. 218, n. 4571, 433-44329, October 1982.

KENNEDY J. M.; JURICEVIC, I. Foreshortening, convergence and drawings from a blind adult. **Perception**, 35(6) 847 – 851, 2006.

KNAUFF, M. ; MAY, E. Mental imagery, reasoning, and blindness. **The Quarterly Journal of Experimental Psychology**, v.59, 161 – 177, January 2006.

KNOPS, A; THIRION, B; HUBBARD, EM; MICHEL, V; DEHAENE, S. Recruitment of an Area Involved in Eye Movements During Mental Arithmetic. **Scienceexpress**, 7 may 2009.

KOSSLYN, S. M.; ALPERT, N. M.; THOMPSON, W. L.; MALJKOVIC, V.; WEISE, S. B.; CHABRIS, C. F.; HAMILTON, S. E.; RAUCH, S. L.; BUONANNO, F. S. Visual-mental imagery activates topographically-organized visual cortex: PET investigations. **Journal of Cognitive Neuroscience**, 5, 263–287. 1993.

KOSSLYN, S. M.; BEHRMANN, M.; JEANNEROD, M. The cognitive neuroscience of mental imagery. **Neuropsychologia**, v. 33, n. 11, 1335-1344, November 1995.

LAMBERT, S; SAMPAIO, E; MAUSS, Y; SCHEIBER, C. Blindness and brain plasticity: contribution of mental imagery? An fMRI study. **Brain Research. Cognitive**, 20(1):1-11, 2004.

MUTHUKUMARASWAMY, SD; SINGH, KD. Modulation of the human mirror neuron system during cognitive activity. **Psychophysiology**. 45(6): 2008.

NEUPER, C; SCHERER, R; WRIESSNEGGER, S; PFURTSCHELLER, G. Motor imagery and action observation: modulation of sensorimotor brain rhythms during mental control of a brain-computer interface. **Clinical Neurophysiology**.120(2).2009.

NEUPER C, SCHERER, R; REINER, M; PFURTSCHELLER, G. Imagery of motor actions: differential effects of kinesthetic and visual-motor mode of imagery in single-trial EEG. **Brain Res Cogn Brain Res**.25(3).2005.

NIEDDERER, H. Physics Learning as Cognitive Development. In R. H. Evans, A. M. Andersen, H. Sørensen: Bridging Research Methodology and Research Aims. Student and Faculty Contributions from the 5th ESERA **Summerschool** in Gilleleje, Danmark. The Danish University of Education. Page 397-414, 2001.

PASCUAL-LEONE, A.; AMEDI, A.; FREGNI, F.; MERABET, L.B. The Plastic Human Brain Cortex Publisher: **Annual Review of Neuroscience**, 28:377-401, 2005.

PEIRCE, C.S. **Semiótica**. Tradução José Teixeira Coelho Neto, 3.ed., São Paulo: Perspectiva, 2000.

PIATELLI-PALMARINI, M. **Teorias da linguagem, teorias da aprendizagem**: o debate entre Jean Piaget e Noam Chomsky. Organizado e compilado por Massimo Piatelli-Palmarini. Tradução de Álvaro Cabral. São Paulo: Cultrix: Editora da Universidade de São Paulo, 1983.

PINEDA JA, BRANG D, HECHT E, EDWARDS L, CAREY S, BACON M, FUTAGAKI C, SUK D, TOM J, BIRNBAUM C, RORK A. Positive behavioral and electrophysiological changes

following neurofeedback training in children with autism. **Research in Autism Spectrum Disorders**, 2, 557-581, 2008.

PINKERS, S. A computational theory of the mental imagery medium. **NATO advanced research workshop on imagery and cognition**, n. 42, 17-32, 1988.

QIAO, E.T. **Bases cérébrales de la lecture des mots manuscrits : Etude comportementale et en IRM fonctionnelle**. Master de Sciences Cognitives. EHESS/ENS/Université PARIS 5. 2007.

RAZ, N; AMEDI, A; ZOHARY, E. V1 Activation in Congenitally Blind Humans is Associated with Episodic Retrieval. *Cerebral Cortex*,15(9).2005.

RAYNARD, F. **Se mouvoir sans voir. Education et rééducation fonctionnelle des aveugles et des malvoyants**. Éditions : Corcelles-le-Jorat (Suisse) : Yva Peyret, 1991.

REA-RAMIREZ, M; CLEMENT, J. In search of dissonance: The evolution of dissonance in conceptual change theory. Paper presented at the **Annual meeting** of the National Association for Research in Science Teaching, San Diego. 1998, 19-22 April.

ROGERS S.J.; HEPBURN, S.L.; STACKHOUSE, T.; WEHNER, E. Imitation performance in toddlers with autism and those with other developmental disorders. **Journal of Child Psychology and Psychiatry and allied disciplines**. 44:763–781, 2003.

ROS, T.; MUNNEKE, M.A.M.; DIANE, R.; GRUZELIER, J. H.; ROTHWELL, J. C. Endogenous control of waking brain rhythms induces neuroplasticity in humans **European Journal of Neuroscience**.31(4).2010.

SADATO, N.; PASCUAL-LEONE, A.; GRAFMAN, J.; IBAÑEZ, V.; DEIBER, M.P.; DOLD, G. et al. Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. **Nature**, 380, 526-528, 1996.

SADATO, N.; PASCUAL-LEONE, A.; GRAFMAN, J.; DEIBER, M.P.; IBAÑEZ, V.; HALLETT, M. Neural networks for Braille reading by the blind. **Brain**, 121, 1213-1229, 1998.

SALAS, RES. **Estilos de aprendizaje a la luz de la Neurociencia**. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio, 2008.

SANTAELLA, L. **Matrizes da linguagem e pensamento: sonora, visual, verbal – aplicações na hipermídia**. 3.ed. Iluminuras. São Paulo: FAPESP, 2005.

TABACOW, L.S. **Contribuições da Neurociência Cognitiva para a formação de Professores e Pedagogos**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação na Área de Ensino Superior do Centro de Ciências Sociais Aplicadas da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2006.

THÉORET, H.; MERABET, L.; PASCUAL-LEONE, A. Behavioral and neuroplastic changes in the blind: evidence for functionally relevant cross-modal interactions. **Journal of Physiology**. Paris 98, 2004.

UNESCO. **The science of thinking, and science for thinking: a description of cognitive acceleration through science education (CASE)**. Philip, Adey. International Bureau of Education, Switzerland, 1999.

VERGNAUD. G. La théorie des champs conceptuels. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 10, n. 23, p. 133-170, 1990.

VYGOTSKY, L.S. **Fundamentos de la defectología**. Obras Completas. Tomo 5. Editorial Pueblo y educación, Cuba, 1995.

ZACKSENHOUSE M.; LEBEDEV, M.A.; CARMENA, J.M.; O'DOHERTY, J.E.; HENRIQUEZ, C.; NICOLELIS M.A. Cortical modulations increase in early sessions with brain-machine interface. **PLoS One**, 2(7):e619, 2007.