

# GÓNDOLA

ISSN 2145-4981

Vol 6 No 2 Diciembre 2011 Pp 25 - 50

## DEFICIÊNCIA VISUAL E EDUCAÇÃO CIENTÍFICA: ORIENTAÇÕES DIDÁTICAS COM UM APORTE NA NEUROCIÊNCIA COGNITIVA E TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS

### VISUAL DEFICIENCY AND SCIENCE EDUCATION: TEACHING GUIDANCE AS A CONTRIBUTION IN NEUROSCIENCE COGNITIVE AND THE THEORY OF CONCEPTUAL FIELDS

Viveros, Edval Rodrigues de<sup>1</sup>

[edvalrv@fc.unesp.br](mailto:edvalrv@fc.unesp.br)

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

[camargoep@dfq.feis.unesp.br](mailto:camargoep@dfq.feis.unesp.br)

#### RESUMEN

O objetivo deste artigo é apresentar uma proposta educacional com orientações didático-pedagógicas no Ensino de Ciências para indivíduos com deficiência visual. Para isto utilizamos como principal referencial a Teoria dos Campos Conceituais, de Gérard Vergnaud, conjuntamente com um enfoque translacional, aplicando resultados empíricos da Neurociência Cognitiva. Dentro disto, relevamos o papel de atividades didáticas direcionadas ao que chamamos de 'alfabetização científica multisensorial', com foco na tríade lingüística: leitura, interpretação e representação textual. Esperamos que as diretrizes aqui apresentadas constituam-se futuramente em orientações para compor um '*protocolo semiótico*' para o Ensino de Ciências, destacando as especificidades e singularidades epistemológicas, didáticas e pedagógicas desta área, e relevando tais propriedades na forma de construtos cognitivos próprios para a educação científica e tecnológica.

*Palavras-chave: Ensino de ciências, inclusão escolar, semiótica, teoria dos campos conceituais*

#### ABSTRACT

The aim of this paper is to present an educational proposal with didactic and pedagogical orientations, to the Science Education for people with visual impairments. Then, we use as main reference, Gérard Vergnaud's Theory of Conceptual Fields, joining with a translational focus, applying empirical results of Cognitive Neuroscience. Within this, we highlight the role of educational activities related with 'multisensory scientific literacy', focusing on the linguistic triad: read, interpretation and textual representation. We hope this perspective, become in the future an important component on guidelines for composing a 'semiotic protocol' for Science Education. Realizing too, epistemological peculiarities, pedagogic and didactic specificities in this area, and, revealing such properties on the cognitive constructs, for science and technology education.

*Keywords: Science education, Including school, Semiotics, Conceptual fields theory.*

---

<sup>1</sup> Doutorando do Programa de Pós graduação em Educação para a Ciência. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP – Campus de Bauru. SP. Brasil

<sup>2</sup> Pós-doutor pela Universidade Estadual Paulista. Professor da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Ilha Solteira. SP. Brasil

## Introdução.

O Ensino de Ciências ocupa atualmente lugar de destaque nas políticas e estratégias para se promover a educação científica e tecnológica no país. A última avaliação internacional PISA, da qual o Brasil participou, revelou dificuldades comuns e interligadas nas disciplinas avaliadas, que foram Língua Portuguesa, Matemática e Ciências: a competência leitora, a habilidade interpretativa e a produção de texto (Waiselfisz, 2009). Estas mesmas dificuldades de aprendizagem foram também constatadas na prova institucional realizada pela Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, através do SARESP, resultados comparáveis às avaliações do SAEB e ENEM (Torino e Mendes, 2009; Souza, 2007).

Isto nos coloca diante da necessidade estratégica de identificar que mecanismos seriam necessários para que tais habilidades e competências sejam desenvolvidos nestas disciplinas. Contudo, o Ensino de Ciências possui características singulares em relação a outras disciplinas acadêmicas e que por isto, é necessário parametrizar as variáveis, os indicadores e os descritores específicos para a área, na forma de *construtos cognitivos*, concomitantemente levando-se em consideração atividades didáticas que contemplem competências e habilidades relacionadas com a leitura, a interpretação e a produção de textos. Isto poderia orientar de maneira mais pontual a prática pedagógica em sala de aula dos professores de Ciências (Física, Química, Biologia e também da Matemática), indo além e aprofundando as competências e habilidades normalmente descritas nas respectivas matrizes destas disciplinas abordadas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais<sup>3</sup>.

Ao mesmo tempo, vivemos um momento singular na educação: o processo de inclusão da pessoa com necessidades educacionais especiais. Isto exige um re-planejamento do espaço escolar e considerando a presença de diversos recursos tecnológicos. Neste sentido, a educação científica se faz presente, na medida em que deve fornecer condições para que o aluno com necessidades educacionais especiais possa praticá-la na mesma condição de igualdade que os demais alunos.

Com isto, torna-se necessário desenvolvermos um ambiente de aprendizagem para o ensino de Ciências, com orientações didáticas específicas para pessoas com “necessidades educacionais especiais”.<sup>4</sup> Neste trabalho focalizaremos apenas a deficiência visual. Portanto, ao compormos o conjunto com estas orientações didáticas para o Ensino de Ciências, considerando a presença da pessoa com deficiência visual, acreditamos ser possível generalizar tal aplicação para o alunado em geral, fazendo emergir alguns construtos cognitivos específicos desta área, que poderiam compor matrizes curriculares respectivas para as disciplinas de Matemática, Física, Química e Biologia. Com esta contribuição, acreditamos que futuramente tal proposta se consolide na forma de um ‘*Protocolo Semiótico para o Ensino de Ciências*’.

---

<sup>3</sup> Os descritores utilizados em todas as avaliações institucionais (como ENEM, ENEB e SARESP) partem de um conjunto idêntico de ações padronizadas que descrevem as competências e habilidades nas matrizes contidas nos Parâmetros Curriculares Nacionais, que foram apenas e tão somente adaptados na sua redação para cada uma das diferentes disciplinas acadêmicas, não respeitando, portanto, as singularidades de cada uma destas.

<sup>4</sup> O termo ‘necessidades educacionais especiais’ refere-se aos indivíduos com deficiência física, visual, auditiva, intelectual ou múltipla, síndrome do espectro autista e também aqueles com distúrbios de aprendizagem e altas habilidades/superdotação.

## 1. Referenciais teóricos, problema de pesquisa e objetivos

Este trabalho é parte integrante de um projeto de pesquisa em andamento, com características interdisciplinares (Ensino de Ciências/Física e Informática na Educação/Inteligência Artificial Distribuída). Sua configuração refere-se a um ambiente de aprendizagem que está sendo estruturado com o objetivo de se tornar um “Sistema Tutorial Inteligente” (STI), cujo objetivo principal é proporcionar condições para que um aprendiz possua total autonomia em relação a determinado processo de ensino-aprendizagem, especialmente para o Ensino de Física. A arquitetura deste STI englobará noções envolvendo os conceitos de *affective computing*, *pervasive computing*, *ubiquitous computing*, *ambient intelligence*, *disappearing computing*, *pro-active computing*, *sentient computing*, and *wearable computing* (Punie, 2003).

Um sistema desta natureza é composto pelo *módulo de interface*, *módulo especialista*, *módulo estudante* e *módulo tutor*. Os módulos de interface e tutor, mais próximos da área de Inteligência Artificial, não serão aqui considerados. Abordaremos neste trabalho os aspectos de natureza epistemológica, metodológica e didática com relação apenas aos módulos *especialista e estudante*, respectivamente. O primeiro se refere ao modelo cognitivo utilizado que, em nosso caso, será a Teoria dos Campos Conceituais. Para o *módulo estudante*, o foco recai nas características neurocognitivas do indivíduo deficiente visual (não descartando, porém características neurocognitivas do indivíduo considerado vidente). Em relação ao *protocolo semiótico*, salientamos que se trata de uma proposta, embora que sua constituição, elaboração, configuração e fundamentação esteja baseada em diretivas, orientações e protocolos similares e ou correspondentes.

Desta maneira, as orientações gerais para o projeto como um todo, seguem as diretivas indicadas nos relatórios “*The science of thinking, and science for thinking: a description of cognitive acceleration through science education*”, da UNESCO (1999), que suporta orientações relativas ao ensino de ciências e sua correlação com aspectos neurocognitivos, bem como o documento “*A social and technological view of Ambient Intelligence in Everyday Life: what bends the trend?*”, (Punie, 2003), através do qual a Comissão Europeia, por intermédio do setor “*European Media, Technology and Everyday Life Research Network*” delinea diretivas para cientistas, técnicos e governos se pautarem para o desenvolvimento de projetos relacionados com aspectos sociológicos, econômicos e éticos quando da implementação de políticas de aplicação de sistemas tecnológicos de natureza computacional. Para as considerações de natureza cognitiva relacionadas com os processos de verbalização vinculadas ao *módulo estudante*, utilizaremos como metodologia de análise cognitiva do conteúdo verbal o “*Protocol Analysis*”, baseado na metodologia ‘*think e talk aloud method*’, segundo Ericsson e Simon (1993).

A abordagem relacionada com aspectos da arquitetura cognitiva que relaciona aspectos computacionais com humanos segue referenciais teóricos, metodologias e protocolos nas áreas da computação afetiva (Picard, 1997), didática profissional (Pastré, Mayen e Vergnaud, 2006), neuroergonomia, ergonomia cognitiva e design cognitivo (Parasuraman, 2011; Bouyer, 2008; Stephan, 2005; Preece, Rogers e Sharp, 2007; hoc, 1999, 1996). Dentro disto, para tratar especificamente de uma das tecnologias assistivas que compõem o projeto, adotamos o “*ECOLIG – O protocolo semiótico para comunicação homem-máquina que utiliza interfaces cérebro-computador*” (Miguel, 2010), que engloba a tecnologia denominada ‘interface cérebro-

computador' (nicolelis e chapin, 2002), que será utilizada com o objetivo de monitoramento afetivo/emocional e controle de dispositivos robóticos em aulas de Física. As considerações técnicas sobre tais tecnologias não são objetos de estudo neste artigo. Para as finalidades únicas e exclusivas deste artigo, formulamos uma questão de pesquisa, que não é o mesmo problema que será tratado na tese supramencionada; - *Que especificidades epistemológicas são necessárias para se estabelecer um protocolo semiótico, didático e metodológico para o Ensino de Ciências, considerando um contexto inclusivo com indivíduos com deficiência visual?*

O referencial teórico desta investigação é a Teoria dos Campos Conceituais, de autoria de Gerard Vergnaud, cuja origem é fundamentada na Semiótica de Charles Peirce. Utilizaremos ainda conceitos da Neurociência Cognitiva, que serão interpretados e transpostos com o objetivo de aplicá-los na área educacional e mais especificamente na área de Ensino de Ciências. Assim, os objetivos são:

1. Relevar o papel pedagógico da escolha das situações didáticas, num enfoque semiótico-linguístico, considerando a estruturação dos conceitos e teoremas-em-ação envolvidos no Ensino de Ciências, numa abordagem de ensino multissensorial, tendo em vista a interpretação, elaboração e representação do conhecimento;
2. Subsidiar a compreensão sobre a fenomenologia neurocognitiva envolvida na deficiência visual através de uma interpretação translacional;
3. A partir do papel fundamental da linguagem no processo de ensino-aprendizagem, indicar e relevar orientações e diretrizes específicas em relação a utilização e produção textual para o processo de aquisição e desenvolvimento de uma alfabetização científica (ensino de Ciências);
4. Configurar uma proposta de '*Protocolo Semiótico*' a partir da Neurociência Cognitiva e de diretrizes didáticas para o Ensino de Ciências, levando-se em consideração o uso de tecnologias assistivas para o deficiente visual.

Para uma compreensão global da proposta do *Protocolo Semiótico para o Ensino de Ciências* aqui apresentado, elaboramos o mapa conceitual da Figura 1.

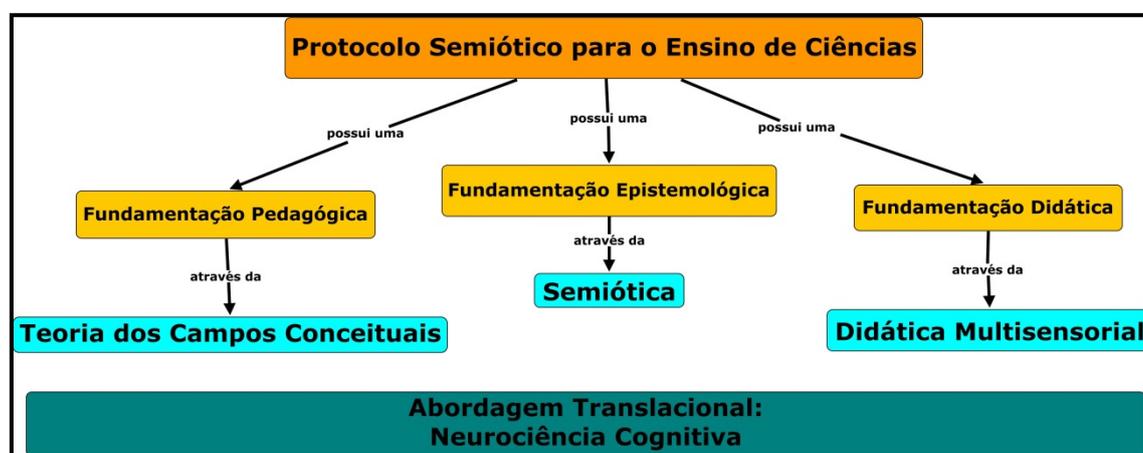


Figura 1. Mapa conceitual da proposta de 'Protocolo Semiótico para o Ensino de Ciências'

## 2. A abordagem Semiótica para o Ensino de Ciências

A escolha pela Semiótica neste trabalho se justifica porque através da mesma é possível abordarmos de maneira dinâmica os aspectos pertencentes a cultura, civilização, ciência e tecnologia, notadamente os de natureza didático-pedagógica (as diversas formas da linguagem, a estrutura do pensamento humano e suas representações e manifestações, etc.) como é o caso das situações de ensino-aprendizagem, quer estas ocorram dentro ou fora de ambientes ou espaços formais de ensino (Duval, 2009; Santaella, 2005).

Para Charles Peirce (2000), todo e qualquer fenômeno, objeto ou situação do mundo real pode ser percebido, decodificado ou interpretado por aquilo que se chama '**triade semiótica**' que se manifesta da seguinte maneira: **primeiridade**, **secundidade** e **terceiridade**. A cada um destes estados estão associados três estágios fenomenológicos, que são:

**Nível da primeiridade - Objeto – signo (Referente):** este é o nível mais básico e elementar da percepção, onde o objeto existe apenas enquanto signo, já que não foi ainda interpretado.

**Nível da secundidade - Interpretação (Significado):** no segundo nível semiótico, o objeto agora passa ser interpretado, sofrendo assim uma ação sobre o objeto que pode trazer diferentes interpretações de acordo com cada indivíduo.

**Nível da terceiridade - Representação (Significante):** após o processo anterior de produção de significado (interpretação), ocorre um processo de síntese, produzindo em certa medida uma forma momentaneamente estratificada de interpretação e conseqüente registro em relação a esta interpretação. As representações podem ser realizadas por diversos meios (verbal, pictórica, escrita, etc.).

A dinâmica triádica não se encerra neste terceiro nível, já que determinada representação poderá se constituir como um elemento de primeiridade para uma nova triade semiótica, e assim por diante. Da mesma maneira, as representações que são obtidas através da fase da terceiridade não são rigorosamente estáticas, muito pelo contrário, estão em constante estado de modificação, já que supostamente determinado indivíduo que produziu tal síntese está em constante processo de reelaboração cognitiva (Bouyer, 2008).

Assim sendo, a fenomenologia a qual se inserem os universos do pensamento, da percepção ou das coisas consideradas materiais, que incluem os fenômenos e objetos das ciências naturais (Física, Química, Biologia) pertencem ao domínio semiótico. Na Matemática, diferentemente, podemos ter determinados objetos que não pertencem exatamente àquilo que usualmente é definido como sendo 'real' (no sentido material, físico, palpável) e que, por esta razão, teria existência apenas no plano puramente abstrato. Contudo, mesmo em tais casos, é possível estabelecer para tal 'objeto' um signo e, assim, tal signo estar relacionado a um significado e correspondente significante (Duval, 2011 e 2008).

Conseqüentemente, a partir de agora, as considerações que se seguem terão como base a hipótese inicial de que qualquer situação de aprendizagem de Ciências deveria se desenvolver dentro de um contexto semiótico, tendo-se como pressupostos a triade semiótica anteriormente mencionada, mas reinterpretada a partir de um referencial teórico específico para a didática das Ciências, que é a Teoria dos Campos Conceituais, explicada na sequência.

### **a. A Teoria dos Campos Conceituais e a Semiótica no Ensino de Ciências**

Passemos agora a fundamentação do modelo cognitivo que constitui o que chamamos de '**módulo especialista**' deste projeto, que é a Teoria dos Campos Conceituais, de autoria do psicólogo e matemático Gérard Vergnaud. Tal autor traz a semiótica para o campo cognitivo, e avançando na interpretação piagetiana do fenômeno construtivista, constrói uma didática

semiótica fundamentada na tríade *Situação didática, Invariantes Operatórios e Representações*, explicitadas na Tabela 1 (Vergnaud, 2009; Vergnaud, 1990):

Tabela 1. Componentes semióticos da Teoria dos Campos Conceituais

Semiótica		
Primeiridade (Referente)	Secundidade (Significado)	Terceiridade (Significante)
		
Situação didática	Invariantes operatórios	Representações
É o fenômeno em si (físico, químico, biológico ou, ainda, de natureza matemática) ou uma determinada situação didática.	São os conceitos e teoremas-em-ação que fazem parte de determinado 'campo conceitual' relacionados aos fenômenos ou situações didáticas.	São as representações utilizadas para expressar os significados (linguagem natural, gráficos, diagramas) em relação aos conceitos e teoremas-em-ação.

No contexto escolar, para Vergnaud, o aluno deveria ser exposto a diferentes situações didáticas vinculadas a um conjunto de conceitos similares ou relacionados (a qual dá o nome de '*campo conceitual*'). Desta maneira, para tentar solucionar os problemas que surgem em cada situação didática distinta, o indivíduo elabora 'esquemas', que podem ser na forma de gestos, mapas ou modelos mentais, scripts, rotinas cognitivas ou algoritmos. Neste sentido, o que Vergnaud difere de Piaget é aquele vai falar em relação 'situação-esquema', ao invés de relação 'sujeito-objeto'. Ao fazer isto, Vergnaud amplia o âmbito de ação que antes era limitado pelo sujeito em função única de determinado objeto, e agora engloba uma noção muito mais complexa, que é a idéia de 'campo conceitual', ou seja, de vários conceitos que surgem em várias situações didáticas e que pertencem a um mesmo campo (Viveiros, 2007; Moreira, 2002).

Um exemplo na Física seria a noção de campo conceitual de 'força'. Este campo conceitual pode se relacionar a diversas situações didáticas distintas como: força peso (e seus conceitos relacionados, como impulso, momento e torque), força elétrica e força magnética, respectivamente. Nas três situações físicas, ainda que seja distinto, o conceito de força está presente de maneira idêntica. Desta maneira, ao se tentar ensinar tal conceito, o professor deveria proporcionar ao aluno a experiência em situações didáticas distintas para que, assim, o conceito de força fosse apreendido observando-se os diversos mecanismos que atuam nas diversas situações didáticas, elaborando para isto esquemas cognitivos para tentar interpretar, resolver e representar tais situações.

O 'Significado' ou 'Interpretante' corresponde também aos distintos conjuntos de princípios, leis, axiomas e corolários que subjazem os conceitos e consequentes teoremas-em-ação, na forma de princípios ou regras que podem ser encontrados em diversos tipos de relações (matemática, física, química ou biológica).

Como exemplo na Matemática, algumas leis podem ser consideradas como 'Interpretante' (Significado): Comutatividade, Anticomutatividade, Associatividade, Razão direta (grandezas diretamente proporcionais), Razão inversa (grandezas inversamente proporcionais), Covariância, Invariância, Lei de conservação. Para Vergnaud (1994) estas propriedades também podem ser aplicáveis na Física, na Biologia ou na Química, e os fenômenos serem interpretados de acordo com algum tipo de atributo que possa ser modalizado, ou seja, onde podemos ter um critério comparativo. Exemplo: forte/fraco, maior/menor, mais intenso/menos intenso/, proporcional/desproporcional, etc.

Na Teoria dos Campos Conceituais, o sentido de ‘representação’ possui um caráter singular e dinâmico, já que Vergnaud vai falar em *conceitos e teoremas-em-ação*, o que significa dizer que as construções cognitivas que o indivíduo constrói se dão num processo em ação e, desta maneira, as consequentes representações que resultam disto são construtos que acabam sendo incorporadas a estrutura cognitiva da pessoa, indo além de simples representações imagéticas ou até de modelos mentais.

As representações relacionadas com as diversas modalidades de linguagem desempenham papel crucial no processo de ensino-aprendizagem, principalmente no caso do deficiente visual. Neste caso, a verbalização ou linguagem falada, é talvez o principal veículo de ação comunicativa para este indivíduo, bem como a representação proporcionada pela linguagem representacional gráfica, escrita (como a leitura e escrita em braile) ou pictórica (como as representações táteis). As orientações sobre o uso destas modalidades para o deficiente visual serão desenvolvidas posteriormente no tópico 5.

### b. Semiótica das categorias perceptivas

Como estamos tratando aqui do sujeito com deficiência visual, abordaremos agora algumas considerações sobre o processo semiótico relacionado com o processo perceptivo para estas pessoas em relação aos fenômenos naturais. A priori, as leis ‘naturais’ são interpretações da realidade, pertencendo ao domínio da semiótica. Entretanto, quando falamos em fenômenos naturais, temos que falar também na percepção destes fenômenos, já que é o tipo de percepção que configura a interpretação que se faz da realidade, pois sempre existe uma correspondência entre a percepção do fenômeno, seu significado e sua interpretação (Santaella, 2005).

Assim, focalizando na percepção visual e em fenômenos ópticos dentro do Ensino de Física, Camargo (2011) categoriza os diversos tipos de fenômenos de acordo com os significados que possuem: *Significados indissociáveis de representações visuais*, *Significados vinculados às representações visuais*, e *Percepção independente do fenômeno*. Utilizando estas categorias numa análise semiótica, estabelecemos uma correlação com o tipo de percepção (unimodal, amodal ou intermodal), expressa na Tabela 2.

Tabela 2. Modalidades perceptivas e correspondência semiótica

Semiótica	Modalidade perceptiva	Significado e interpretação	Representação
<i>Primeiridade</i>	<b>Unimodal</b> Percepção efetuada apenas por um único sentido e interpretado exclusivamente pelo mesmo sentido	<b>Significados indissociáveis de representações visuais</b> São aqueles fenômenos cuja interpretação somente é possível através do próprio fenômeno em si, e não de outro.	<b>Representações singulares</b> Efetuadas apenas por meio de um único sentido. A representação de uma cor é possível apenas pela própria cor.
<i>Secundidade</i>	<b>Amodal</b> Percebido por um único sentido mas interpretado por outro, ou outros, Exemplo: efeito Doppler.	<b>Significados vinculados às representações visuais</b> São aqueles cuja interpretação pode ser efetuada através de um outro sentido diferente do sentido original a qual foi produzido.	<b>Representação relativa</b> Representados por vários sentidos, inclusive por atributos não-visuais, por exemplo, representações mentais.
<i>Terceiridade</i>	<b>Intermodal</b> A percepção de um sentido é inter-relacionada a outro sentido. Exemplo: o conceito de spin, orbital,	<b>Percepção independente do fenômeno</b> Neste caso, a percepção que se faz do fenômeno pode se realizada por qualquer via	<b>Representação múltipla inter-relacionada</b> Efetuada através de diversas vias ou meios, mas sempre de maneira

	salto quântico.	sensorial, ou pelo conjunto delas.	interdependente (visual - gráfica, pictórica, textual; auditiva - verbal, sonora).
--	-----------------	------------------------------------	--

Entretanto, no nível do funcionamento do sistema neurocognitivo humano, as modalidades unimodal, amodal e intermodal não acontecem isoladamente umas das outras. Muito pelo contrário, há sim um sincronismo entre elas, quase sempre iniciando-se pela percepção unimodal (e até pela amodal) e chegando-se até a percepção intermodal (aquela que utiliza várias vias sensoriais/perceptivas), que se caracteriza também pelo conceito de percepção multissensorial (Soler, 1999). Vejamos.

No caso de uma pessoa vidente, grande parte do processo de aquisição perceptiva se dá pela via visual (nível da *primeiridade*). Em termos neurocognitivos, neste primeiro momento o tipo de modalidade perceptiva que ocorre é a unimodal (percepção pura, sem interpretação) e imediatamente se converte em amodal (*secundidade*, ou atribuição de significado). Num instante de tempo seguinte já entra em cena a modalidade intermodal, ou seja, o cérebro atribui uma representação mental (*terceiridade*) para aquilo que foi visualizado, que pode ser expresso através da conceitualização verbal, gestos, representação pictórica (gráfico, esquema, diagrama, desenho, mapa, etc.). E isto ocorre porque a visão é de natureza analógica, sintética. Isto significa que o cérebro estabelece analogias baseadas em experiências anteriores. Esta associação ou processo de analogia será tão intensa quanto mais presente o repertório de informações estiver sedimentado na memória de longo prazo.

É por esta razão que alguns pesquisadores afirmam que o atributo visual participa em aproximadamente 70% do processo de elaboração conceitual (mesmo que o conceito não esteja correto), justamente porque a visualização funciona nesta situação como um processo de síntese (Pylyshyn, 2007; Santaella, 2005; Hofstadter, 1999). Por outro lado, isto explicaria também porque significativa parcela das interpretações (e consequentes representações) baseadas apenas no atributo visual podem conduzir a equívocos, incongruências e disracionalidade (Hofstadter, *ibidem*).

De fato, como demonstrado por Bouyer (2008), Pastré, Mayen e Vergnaud (2006) e Viveiros (2005), a construção de representações mentais, quer seja de objetos visuais ou de situações didáticas não é semelhante ao processamento linear da informação tal qual ocorre numa máquina de estado finito (modelo entrada da informação-tratamento da informação-saída da informação), cuja reprodução de algum objeto seria algo semelhante a uma fotografia do mesmo, ainda que em determinados casos possa haver certa correspondência de natureza visual do objeto observado ou de uma situação vivenciada com sua representação.

Por outro lado, no caso do deficiente visual, o atributo visual não é para esta pessoa um recurso perceptivo no nível da primeiridade semiótica e, portanto, algum outro sentido deverá funcionar fazendo o papel do primeiro nível semiótico, que pode ser então a verbalização, o estímulo sonoro, o olfativo, ou o tátil, ou a combinação destes (conceito de estímulo *cross-modal*, intermodal ou multissensorial).

Esta propriedade ou característica intermodal ou multissensorial está sendo apoiada por recentes descobertas na neurociência, contradizendo o paradigma de que as funções cerebrais são localizadas em uma única região cerebral. Tais estudos mostram que quando determinado estímulo ocorre outras regiões do cérebro participam parcialmente da percepção, e da

interpretação deste estímulo. Por esta razão os processos de ensino-aprendizagem baseado no conceito de estimulação intermodal (multissensorial) podem favorecer a otimização da aprendizagem, já que mais áreas cerebrais estão envolvidas no processo (Amedi *et al*, 2005).

Esta nova concepção da neurociência foi formulada pelo neurocientista brasileiro Miguel Nicolelis em vários princípios, dos quais citamos apenas alguns: *Princípio da ação multitarefa neuronal*, *Princípio da incerteza neurofisiológica* e *Hipótese do continuum espaço temporal neuronal* (Nicolelis, 2011; Nicolelis e Lebedev, 2009) cuja interpretação translacional aplicada à área educacional levar-nos-ia a dizer que num processo de aprendizagem todo o cérebro possui participação ativa do que está ocorrendo, embora determinadas regiões possam estar aparentemente mais recrutadas do que outras. Sendo assim, a rigor, não existe a delimitação cerebral em regiões rigidamente estabelecidas em relação às funções cerebrais em situações também relacionadas com a aprendizagens, embora cada tarefa cognitiva possua suas especificidades.

Por exemplo, ao estruturarmos situações de aprendizagem que favorecessem competências e habilidades específicas nas áreas da Matemática ou da Física (resolver um problema e efetuar um cálculo físico-matemático, por exemplo), seria interessante trabalhar com atividades ou estímulos direta ou indiretamente relacionados com aquela tarefa e habilidade. Neste sentido, algumas pesquisas demonstram que o treino com a percepção musical (onde se trabalha a habilidade rítmica, que envolve implicitamente conceitos de tempo, velocidade e frequência) e o desenvolvimento de atividades cognitivas sensório-motora (físicas) estimulam determinadas habilidades matemáticas (Vaughn, 2000). Isto ocorre muito provavelmente porque no trabalho musical efetua-se a ativação intermodal do tipo tátil-sonora (Wan, 2010). Entretanto, esta conclusão não infere que isto signifique qualquer alteração no nível do coeficiente de inteligência (*QI*) (Schellenberg, 2011).

Atualmente, o campo da investigação de processos neurocognitivos envolvendo tarefas de natureza intermodal, ou multissensorial, está sendo levado a cabo por parcela significativa de pesquisadores internacionais, justamente porque isto já está trazendo uma revolução sem precedentes históricos para a área educacional. Portanto, relevar o papel em sala de aula de situações didáticas multissensoriais, não apenas para o indivíduo com deficiência visual, mas para todo o alunado, é algo a se considerar, principalmente para o Ensino de Ciências.

### **3. A Neurociência para a deficiência visual: uma abordagem epistemológica**

Para compreender melhor a fenomenologia do indivíduo com deficiência visual segundo o que conceituamos como “módulo aluno”, utilizaremos uma interpretação translacional de conceitos e resultados empíricos da Neurociência Cognitiva (Choi e Pak, 2008, 2007, 2006; Society for Neuroscience, 2003). Mas para iniciar o tema, consideramos pertinente mencionar a obra “*Fundamentos de la defectologia*”, de Vygotsky (1995), especialmente o capítulo “*El niño ciego*”.

A base das idéias que Vygotsky apresenta neste texto se fundamenta na noção de “compensação”, onde a falta de determinado sentido favoreceria o desenvolvimento de outro sentido. Alguns autores consideram que esta interpretação é equivocada, já que em si não ocorre nenhuma alteração no desenvolvimento da função cognitiva em virtude da ausência ou diminuição de outro sentido (Rego-Monteiro, Manhães e Kastrup, 2007). Entretanto, Gindis (1995) destaca que são exatamente os processos sócio cognitivos, como a interação social oportunizada por um contexto escolar inclusivista, que fariam com que houvesse esta

“compensação”. Há ainda outras noções apresentadas por Vygotsky: *o cego de nascimento não forma imagens mentais visuais; possui concentração e memória mais desenvolvidas do que os videntes; a cegueira impulsiona o indivíduo a criar mecanismos internos de compensação para vencer o obstáculo da ausência da visão; a linguagem falada é o mecanismo por excelência que o cego se utiliza.*

Para discutirmos algumas destas ideias, inicialmente definiremos o conceito mais importante e básico da neurociência, que o conceito de *plasticidade cerebral*. A plasticidade ocorre em todo indivíduo, e não somente no deficiente visual, e é uma propriedade que 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. Por esta razão dissemos anteriormente que as outras modalidades unimodal e amodal, respectivamente, participam do mecanismo neurocognitivo do indivíduo no sentido de constituir a imagem mental de um objeto ou de determinada situação ou fenômeno. 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).

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 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). Em todos os casos, o ganho na aprendizagem envolvendo a exploração de objetos será muito mais eficiente se efetuar-se o reconhecimento utilizando-se a maior quantidade possível de sentidos (como o tato e a visão, no caso da pessoa vidente), do que utilizar apenas um único sentido (Newell, Bühlhoff e Ernst, 2003).

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* (imagem mental) torna-se de extrema importância, principalmente em crianças (Gaunet e Thinus-Blanc, 1996; Kosslyn, Behrmann e Jeannerod, 1995; Raynard, 1991). 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 sequência 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 também pode ocorrer sem nenhuma estimulação artificial e sim de acordo com suas aprendizagens próprias e precedentes, dependentes diretamente do histórico de vida do indivíduo. (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, mesmo sem ter efetuado qualquer treino específico para esta tarefa, numa clara demonstração de que aquele indivíduo já possuía algum repertório aprendido em relação a questão espacial (De Gelder *et al*, 2008).

Outro exemplo muito significativo disto é do pintor turco cego Esref Armagan, que é capaz de desenhar objetos ou edifícios em perspectiva (Kennedy e Juricevic, 2006). O córtex visual de Armagan foi desenvolvido com uma plasticidade intermodal principalmente através da estimulação tátil, e em proporção menor em relação a estimulação sonoro-auditiva da verbalização (descrição falada da cena ou do objeto a ser desenhado ou pintado, realizado por outra pessoa), o que seria mais comum de ocorrer como acontece 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 auto regulação, por outro lado traz a vantagem de poder ser monitorada e controlada pela própria pessoa (*biofeedback*), por uma interface cérebro-computador ou outros dispositivos de *neurofeedback*, e com isto ter seu funcionamento otimizado no nível neurológico e comportamental (Ros *et al* 2010; Zacksenhouse *et al*, 2007; Pinkers, 1988). Particularmente isto é interessante, pois a maioria dos deficientes visuais utiliza o atributo verbal/sonoro (na forma de uma modalidade perceptiva do tipo unimodal ou até amodal) como a principal e mais importante modalidade sensorial para a construção das imagens mentais e dos conceitos sobre os fenômenos.

Em função disto, o estímulo sonoro proporcionado pela narração, descrição ou explanação verbal falada em relação às características de determinada situação didática, fenômeno ou objeto físico (por exemplo, durante uma aula de Física sobre eletromagnetismo ou ótica) representa o principal elemento para a formação perceptiva, elaboração conceitual e as consequentes múltiplas possibilidades de expressão do conhecimento para as pessoas com deficiência visual. As orientações didáticas a este respeito serão desenvolvidas oportunamente no tópico 5 deste artigo.

Concluída a revisão sobre algumas características neurocognitivas do deficiente visual, consideramos importante tratar na sequencia de explicitar com mais propriedade o papel

preponderante da linguagem no processo de aprendizagem como um todo, especialmente para a educação científica.

### **a. A neurocognição na apreensão dos conceitos e no desenvolvimento da linguagem**

Para que a proposta de um protocolo semiótico específico para o ensino de Ciências seja viabilizado, é necessário delimitar características, parâmetros e variáveis cognitivas próprias desta área do conhecimento, identificando assim propriedades epistemológicas e neurocognitivas singulares quando comparados a outros domínios ou áreas do conhecimento humano. Para isto, conforme mencionado anteriormente, relevamos neste trabalho o papel central que a linguagem desempenha não somente na aquisição, mas também na compreensão e na representação dos fenômenos e conceitos científicos.

As questões relacionadas com a gênese, cognição, aquisição e desenvolvimento da linguagem humana foram debatidas 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), vinculado ao chamado Grupo de Genebra, importante disseminador de idéias pedagógicas sobre alfabetização, cuja influência acadêmica e social atinge as políticas públicas educacionais internacionais, inclusive as de natureza institucional brasileira.

Estas discussões se centralizaram basicamente sobre duas grandes hipóteses aparentemente opostas. A primeira defende que a aprendizagem é algo inato no indivíduo e que, no caso da linguagem, o indivíduo possuiria como que uma estrutura cognitiva na qual as habilidades da linguagem já acompanhariam a pessoa até mesmo antes de seu nascimento. A abordagem da chamada gramática gerativa ou generativa, de Chomsky foi uma entre tantas teorias que se baseou nesta idéia.

Outra noção era a de que o desenvolvimento cognitivo ocorre na medida em que o indivíduo interage com o meio social. Assim, a linguagem seria algo apreendido pela pessoa, e não algo inato. Parece ser esta a interpretação mais próxima da abordagem desenvolvida por Vygotsky, para quem o desenvolvimento do pensamento e da linguagem ocorrem de maneira independente, embora mantendo uma inter-relação (Vygotsky, 1991).

No caso da educação científica tecnológica, uma das formas de expressão da linguagem ocorre exatamente na medida em que esta é veiculada e materializada através das várias formas de “textos” que constituem a linguagem científica, fazendo parte de um todo maior que é a própria linguagem humana. Utilizamos aqui o conceito de “*texto*” conforme definido por um dos expoentes mais significativos do atual Grupo de Genebra, Jean-Pierre Bronckart, ao definir o conceito de *texto empírico*:

Designa uma unidade concreta de produção de linguagem, que pertence necessariamente a um gênero, composta por vários tipos de discurso, e que também apresenta os traços das decisões tomadas pelo produtor individual em função da sua situação de comunicação particular (Bronckart, 2009, p. 77).

Sob estas condições, torna-se fácil compreender que diversos gêneros textuais permeiam a sociedade como um todo e, especificamente no contexto escolar predominam o gênero

**didático-pedagógico**, o **científico** e o **literário**, embora outros gêneros, como o **jornalístico**, também estejam presentes (Schneuwly e Dolz, 2004).

Isto pressupõe que o ensinar não deve se concentrar apenas e tão somente em um único gênero textual, e sim em vários. Tal estratégia possui sua fundamentação científica e empírica, precisamente porque, segundo Bronckart (ibidem), todos os gêneros textuais possuem a seguinte estrutura:

- a- **A infra-estrutura geral do texto** – tipos de discurso que comporta, modalidades de articulação e sequências que aparecem;
- b- **Os mecanismos de textualização** - conexão, coesão nominal e coesão verbal;
- c- **Os mecanismos enunciativos** – as vozes que se expressam no texto e traduzem as diversas avaliações (julgamentos, opiniões, sentimentos).

A este conjunto (tríade semiótica), o autor dá o nome de '**folhado textual**' (Bronckart, ibidem, p.119). Com base neste conceito de folhado textual e nas inferências aqui colocadas, como síntese, indicamos quais seriam as orientações relativas à produção textual visando a estimulação dos processos relacionados ao ensino-aprendizagem diretamente vinculados ao Ensino de Ciências:

- Valorizar o uso de diversos gêneros textuais: tanto no processo da aquisição conceitual (vídeos, filmes, textos didáticos e paradidáticos, textos históricos, histórias em quadrinhos, etc.), como também na representação (produção de textos, como resenhas, relatórios, sinopses, esquemas, diagramas, mapas conceituais, etc.);
- Explorar com os alunos a diferenciação nas formas discursivas apresentadas nos respectivos tipos de textos: por exemplo, diferenciar o discurso utilizado no texto jornalístico dos textos de divulgação científica;
- Promover o debate entre os alunos através das argumentações desenvolvidas segundo os distintos gêneros textuais. Exemplo: o argumento desenvolvido num texto paradidático sobre a questão dos transgênicos será idêntico ao utilizado por uma empresa que fabrica produtos com esta tecnologia?
- Relevar para os alunos o papel dos agentes discursivos nos respectivos textos, relacionando-os com seus discursos: por exemplo, quais atores sociais e que tipo de discursos estão presentes numa matéria jornalística que trata dos possíveis efeitos prejudiciais da radiação eletromagnética produzida pelos telefones celulares?
- Observar, destacar e conduzir tanto a interpretação quanto a produção dos diversos tipos textuais, levando-se em consideração as diferenças de **gênero humano** (masculino e feminino): neste sentido, alunos e alunas pensam e se expressam sob o mesmo tema de uma mesma maneira? Por exemplo, sobre os temas contracepção, aborto e doenças sexualmente transmissíveis, quais seriam as representações sociais de meninos e meninas?

Isto posto, devemos ainda destacar que conforme mencionamos anteriormente, na Teoria dos Campos Conceituais a representação (terceiridade semiótica) é algo que ocorre de maneira dinâmica e multifacetada. Portanto, quando falamos em expressão através da linguagem e sua materialização por intermédio de textos, devemos imaginar que buscaremos sempre formas textuais dinâmicas, que expressem os conceitos e teoremas-em-ação, constituindo um continuum articulado dentro de uma estrutura epistêmica complexa, relacional e sistêmica. E isto condiz exatamente com a própria dinamicidade com que o sistema neurocognitivo humano opera (conceito de neuroplasticidade), e as possíveis consequências que isto implica para a aprendizagem.

Neste sentido, talvez o primeiro grande evento internacional que tratou especificamente sobre aprendizagem científica, linguagem e sua relação com o cérebro humano foi o *First High Level Forum* (OECD, 2000), que resultou precisamente numa publicação com várias indicações diretas para compor as políticas e práticas educacionais, algumas das quais serão consideradas a seguir.

Inicialmente, em termos das estruturas cognitivas no indivíduo, o processo interpretativo dos fenômenos e conseqüentemente das leis ou princípios pelas quais são regidos, inicia-se pela articulação (mental ou verbal) da linguagem e pelo mecanismo de interpretação ou leitura das palavras ou dos signos, através dos quais são estruturadas as palavras e os conceitos. Até este ponto, o processo de aquisição da conceitualização científica é muito idêntico ao processo de aquisição dos conceitos em qualquer outra disciplina do conhecimento científico.

Entretanto, em termos neurocognitivos, o processo de leitura e interpretação de símbolos e de conceitos matemáticos (e também da Física) é absolutamente específico dentro da estrutura cerebral, diferenciando-se, por exemplo, das regiões que são responsáveis pela leitura pura e simples das palavras<sup>5</sup>. Em ambas as situações, existem determinados *locus* preferenciais com neurônios específicos para cada uma das funções. (Dehaene, *et al* 1999). No caso da leitura de palavras, Dehaene (*ibidem*) adota um modelo chamado “**Detector de Combinações Locais**” (*local combination detectors* – LCD). 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). De maneira semelhante, Dehaene e Changeux propuseram um modelo de rede neuronal para o processamento numérico, a qual denominou-se ‘*numerosity detectors*’ – detector de numerosidade<sup>6</sup> -(Dehaene e Changeux, 1993).

Concomitantemente, como se isto não bastasse, o processo de aquisição e desenvolvimento da habilidade do cálculo matemático também é específico em termos neurocognitivos, associando e combinando a isto o próprio processo da leitura e da fala pelo indivíduo, fazendo com que na aprendizagem conceitual e matemática da Física, os mesmos grupos neurônicos estejam sendo recrutados, mas 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, fazendo parte de um circuito neuronal independente do mecanismo puro e estrito da linguagem (Qiao, 2007; Dehaene *et al.* 2005; Dehaene, 2001).

Além disto, a atividade neuronal específica da área do raciocínio lógico matemático demonstrou covariância direta com a área cognitiva motora (Knops *et al*, 2009), contradizendo a idéia de senso comum de que o desenvolvimento da atividade mental matemática é oposto à ativação do aparelho locomotor do indivíduo. Acrescenta-se a isto, o fato de que quando tais funções cognitivas estão associadas com as representações intermodais (incluindo a linguagem falada e as atividades cognitivas psicomotoras) recrutam ou disparam os chamados **neurônios espelhos** – *mirror neurons* -(Rogers *et al*, 2003), característicos em situações onde o indivíduo realiza qualquer atividade de imitação, quer seja imitação mental (imaginação ou imageria mental de alguma atividade real) ou a imitação baseada na observação visual ou em comandos sonoros e ou verbais.

---

<sup>5</sup> Esta noção não contraria os três princípios enunciados por Nicoletti, mencionados anteriormente no item 3.2.

<sup>6</sup> Preferimos permanecer com o conceito no inglês, porque a palavra ‘numerosity’ – numerosidade – não é de uso corrente na língua portuguesa, e difere, por exemplo, do substantivo ‘numeração’, que se refere ao ato de numerar. Numerosity refere-se a algo como uma propriedade numérica intrínseca.

Os neurônios espelho são fortemente disparados em atividades e tarefas cognitivas motoras intermodais (multissensorial) envolvendo o raciocínio lógico, ativando as áreas cerebrais da cognição emocional, da atenção, da memória e do raciocínio lógico (Muthukumaraswamy e Singh, 2008). Além disto, demonstra-se que em situações de aprendizagem onde ocorra algum tipo de monitoramento ou *feedback cognitivo* (bio ou *neurofeedback*) isto otimiza a performance de operação destes neurônios espelhos, fazendo com que a aprendizagem seja mais efetiva (Pineda *et al*, 2008).

Ainda que o domínio simbólico dos signos da Matemática e da Física, e sua conseqüente operacionalização sejam específicas e singulares a nível neuronal, o mecanismo de aprendizagem científica obedece ao mesmo padrão de aquisição da linguagem falada, ou seja, mediante determinada exposição do indivíduo a um meio composto por signos, conceitos, argumentações sobre idéias e conceitos, isto possibilita a incorporação pelo indivíduo deste mecanismo na forma de determinada habilidade lingüística que, no caso, se refere a aquisição de determinada linguagem dentro de uma área científica específica (ou até de várias simultaneamente).

Contudo, mesmo com todas as evidências favoráveis demonstrando que a habilidade do cálculo matemático é topograficamente bem específica em várias regiões cerebrais (Dehaene, Dehaene-Lambertz e Cohen, 1998), provavelmente interligadas através das várias tarefas matemáticas diferentes, o que é mais notável constatar é que o processo interpretativo do número enquanto um elemento da escrita (e não como quantidade abstrata ou como estimativa aproximada de quantidade) está diretamente interligado ao próprio mecanismo neuronal da interpretação das palavras escritas, ou seja, da linguagem cotidiana e não apenas diretamente ao domínio do número em si mesmo (Dehaene, Piazza, Pinel e Cohen, 2003; Dehaene, Spelke, Pinel, Stanescu e Tsivkin, 1999).

Este é um achado mais surpreendente em relação à suposição mais evidente de que a localização dos neurônios em tarefas relacionadas com a linguagem e com o cálculo, respectivamente, ocupam regiões cerebrais distintas. Na verdade, o fato de que a compreensão sobre o significado do número depende a priori da aprendizagem do código lingüístico, releva uma vez mais o papel que o ensino-aprendizagem de estratégias de leitura, interpretação e produção textual representam como um todo para qualquer indivíduo que pretenda também dominar a linguagem da Matemática ou da Física.

Uma das maneiras de se estudar esta complexa relação, é analisar o circuito que relaciona o processo de leitura com o cálculo matemático, avaliando-se possíveis lesões cerebrais. O processamento do número no cérebro se dá através de um circuito esquematizado na Figura 2 (reproduzida de Dehaene, Molko, Cohen e Wilson, 2004). Os números em vermelho indicam as diversas patologias associadas com possíveis lesões em algumas das partes do processo: em ❶ teríamos a alexia, que é incapacidade para ler números e multiplicar, subtrair ou comparar; na lesão ❷ é o caso da dislexia fonológica, que cria a incapacidade para ler números, mas não para multiplicar, subtrair ou comparar. As lesões ❸ e ❹ estão associadas com a incapacidade na multiplicação e subtração, mas ainda indicado a capacidade de ler os números, e ainda com a presença ou ausência de déficits associados, comparando-se com o processamento simbólico numérico. No caso da lesão ❺, mostra-se a habilidade residual do cálculo em pessoas que falham ao tentar reproduzir oralmente a solução de problemas aritméticos, mas que podem resolver os mesmos problemas pela via escrita.

Em outras palavras, ainda que o ser humano possua o senso de quantidade numérica biologicamente presente como uma espécie de instinto natural (Pinel, Piazza, Le Bihan e

Dehane, 2004; Piazza *et al*, 2004), a habilidade do cálculo matemático é algo adquirido e aprendido culturalmente e que, em primeira e última instância, depende do domínio e aquisição da própria linguagem natural e dos códigos específicos para a Matemática (e também a Física).

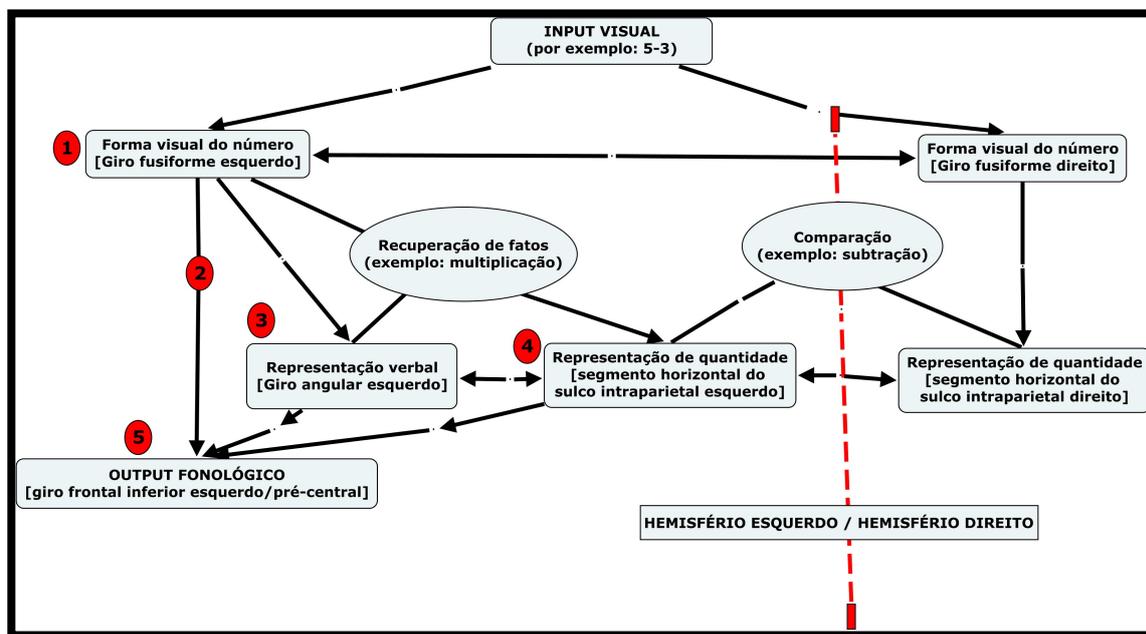


Figura 2. Esquema da representação do número arábico (extraído de Dehaene, Molko, Cohen e Wilson, 2004)

#### 4. Orientações didáticas com fundamentação na semiótica da Teoria dos Campos Conceituais

Face ao exposto, apresentamos na sequencia orientações didáticas para o Ensino de Ciências, relacionadas aos aspectos neurocognitivos aqui abordados, considerando principalmente as condições neurocognitivas de um indivíduo com deficiência visual.

Para isto, procuramos descrever tais orientações seguindo a estrutura epistemológica semiótica da Teoria dos Campos Conceituais, complementadas ainda por pesquisas na área da educação inclusiva aplicada ao Ensino de Ciências (West Virginia University-EUA, 2005; Beck-Winchatz e Ostro, 2003; Grady *et al*, 2003; Kumar, Ramasamy e Stefanich, 2001; Cunningham, 1997; Gardner, 1996; Kucera, 1996; Schleppenbach, 1996).

##### a. Orientações de natureza perceptiva (nível da primeiridade semiótica)

O treinamento tátil deve ser realizado o quanto antes para qualquer indivíduo com deficiência visual, com o objetivo de se auxiliar na composição da construção do processo de 'imagem mental' (formação de imagens mentais de objetos), assim como o conhecimento mais completo possível sobre as condições do ambiente, e até um treinamento visando a exploração sensorio-motor do espaço físico. (Vieilledent, Kosslyn, Berthoz e Giraudo, 2003)

Professores e pais devem buscar todo tipo de auxílio e recurso para fazer com que alunos com deficiência visual participem de todas as atividades escolares como os outros alunos (conceito de *mainstreaming*). O processo comunicativo com este aluno deve incentivar a conversação direta e o diálogo diretamente ao deficiente visual, num tom normal de voz.

No ambiente escolar deve ser trabalhada a estimulação multissensorial, priorizando o uso de recursos auditivos e táteis (e outros); todos os objetos ou recursos didáticos como maquetes, peças de anatomia, materiais de laboratório ou textos, devem ser identificados com o Braille.

Especialmente para o Ensino de Física, a estimulação tátil auxilia na formação de determinado objeto real. A avaliação e exploração tátil, como o exame da superfície de objetos, rugosidade, saliências, relevo, etc., contribuem no processo de constituição mental daquele objeto. A observação e análise intermodal (dois ou mais estímulos separadamente ou simultaneamente) auxiliam no processo de associação fenomenológica para a compreensão de determinada situação da Física (Camargo e Viveiros, 2009).

Neste sentido, pode ser empregado modelos tridimensionais para simular átomos ou moléculas, nomeando-se os átomos através do Braille, sendo que o professor ou monitor assessora o aluno deficiente visual nesta operação. Da mesma maneira, gráficos, imagens complexas, diagramas e equações químicas podem ser escaneados, convertidos e transformados (impressos) em mapas ou diagramas táteis (matemática ou química).

Por outro lado, o exercício de exploração corporal de determinados espaços físicos é interessante tarefa de estimulação sensorial das propriedades e leis da Física. Isto pode ser conseguido fazendo o aluno se locomover para além dos limites que normalmente está condicionado, e com isto ir associando os conceitos físicos (noções/conceitos de distância, tempo, velocidade, aceleração, equilíbrio estático e equilíbrio dinâmico, efeito Doppler - afastamento e aproximação de fontes sonoras). Também pode ser efetuado cálculos mentais aproximativos estimando força, impulso, momento, bem como explorar ambientes naturais, por exemplo, com plantas e animais.

Além disto, o conhecimento sobre o espaço deve incluir a orientação do aluno com deficiência visual em relação às saídas de emergência, produtos químicos, objetos, portas e janelas de vidro, extintor de incêndio. Este tipo de orientação pode ser proporcionado por um colega voluntário da própria turma. É conveniente manter corredores e outros ambientes, como laboratórios, sempre bem iluminados, não deixando as janelas completamente fechadas. Os outros alunos devem ser treinados para oferecerem orientação ao aluno com deficiência visual, mesmo que este eventualmente utilize ou não bengala para se locomover.

Deve ser proporcionado amplo espaço para o cão-guia, quando houver, procurando manter os outros alunos sem perturbar o cão.

Na sala de aula ou em qualquer outro espaço de aprendizagem, posicione o aluno em local estratégico, de modo a permitir que ele participe da aula.

#### **b. Orientações relacionadas com os processos de desenvolvimento e aquisição de conceitos (conceitualização)**

a. O treinamento tátil é uma operação neurocognitiva, e a conseqüente aprendizagem decorrente deste treinamento ocorre numa seqüência, envolvendo as memórias de curto, médio e longo prazo. O reconhecimento tátil, sendo um processo analítico, necessita de constante estimulação e mecanismos de feedback (oral/verbalização, auditivo e outros) para se consolidar na memória de longo prazo (Raz, Amedi e Zohary, 2005; Amedi *et al*, 2004; Amedi, Raz, Pianka, Malach e Aohary, 2003;)

Em atividades de ensino de Ciências onde há a presença de vários conceitos correlacionados, para uma melhor fixação da aprendizagem é interessante utilizar estratégias de

ensino como, por exemplo, abordar um tema considerando um ‘Campo Conceitual’, ao invés de se privilegiar apenas um único conceito isoladamente, conforme mencionado anteriormente (Vergnaud, 1990). Também pode ser associado a isto, estratégias como o ‘ciclo da experiência kellyana’, desenvolvido segundo as seguintes etapas: antecipação, investimento e encontro, confirmação ou desconfirmação, revisão (Camargo e Viveiros, 2009).

Concomitantemente, como estratégia de acompanhamento metacognitivo da interação aluno-professor, sugere-se as categorias desenvolvidas por Camargo (2005): observação, compreensão e mediação.

Como estratégia de mediação pedagógica, solicite a um aluno da turma que oriente o aluno com deficiência visual na realização de procedimentos e atividades durante a aula, principalmente quando o próprio professor não tiver condições de fazê-lo. Tanto no caso de se ter o professor como mediador quanto de um aluno, deve ser dado ao deficiente visual a maior quantidade possível de informações sobre a atividade a ser desenvolvida.

b. A neuroplasticidade no deficiente visual é tão eficiente quanto mais estímulos sensoriais estiverem associados (associação intermodal, multimodal ou multissensorial) (Merabet *et al*, 2007; Amedi *et al*, 2005; Amedi *et al*, 2001)

No caso do ensino de Física, pode-se utilizar a estratégia didática da ‘transposição didática. Entretanto, deve ser observado as categorias perceptivas propostas por Camargo (2011). Neste sentido, como estimulação intermodal utilizar materiais pintados com cores fortes ou fosforescentes, ou ainda utilizar lâmpadas coloridas.

Em alunos com baixa visão empregar o recurso do retroprojetor (ou projetor de slides), preferencialmente projetando em fundo ou tela opaca, quando o grau de deficiência visual assim o permitir.

A aprendizagem pode ser melhorada através da estimulação auditiva, como gravar para o aluno deficiente visual trechos mais importantes das aulas, para que o mesmo possa posteriormente estudar através deste material. Este material pode inclusive compor um arquivo com aulas gravadas para esta finalidade específica.

A estimulação intermodal pode ser obtida com a aplicação de software de voz para o ensino de matemática (cálculo) e química orgânica (no Brasil dispõe-se do software DOSVOX), ou ainda software que converte tanto o texto explicativo de matemática, quanto às equações matemáticas para o Braille e também software de conversão de texto em som: atualmente dispõem de programas no padrão internacional ‘Daisy’ (exemplo, o software MECDaisy, no Brasil). Também é possível que equipamentos de laboratórios possam ser adaptados via interface a um computador, e este a uma impressora Braille.

### **c. Orientações relacionadas com atividades de expressão**

a. A neuroplasticidade de determinado indivíduo deficiente visual é única e, portanto, os mecanismos de percepção e expressão cognitivos são também únicos (Sadato *et al*, 1998, 1996).

É necessário avaliar as habilidades de percepção do aluno deficiente visual, com o objetivo de identificar qual (ou quais) funções perceptivas são mais destacadas (oralidade, audição, tato, sinestesia). A partir disto, o professor deve iniciar um planejamento didático individualizado, pensando-se principalmente nas três fases que compõem qualquer situação didática (Vergnaud, 1990), que são:

1. O problema físico e sua contextualização, principalmente através de situações concretas e significativas, fazendo uso da estratégia de se trabalhar com um Campo Conceitual, ao invés de utilizar conceitos separadamente;
2. O processo de elaboração argumentativa e interativa, ou seja, a formulação dos conceitos e teoremas-em-ação por parte do aluno (e respectiva estrutura cognitiva);
3. O conseqüente sistema de representações semióticas possíveis de serem utilizadas pelo aluno: oralidade, produção de texto (se o aluno for capaz de utilizar a informática, ou máquina braille), criação de desenhos, esquemas, de preferência com o recurso de alto relevo, utilização de modelos em escala, utilização de modelos tridimensionais; utilizar tinta de alto-relevo; utilizar a técnica da xilo ou litogravura; utilizar canetas térmicas, que podem ser aplicados em superfícies sensíveis ao calor, como alguns tipos de papéis termo-sensíveis, plásticos e isopor; pode-se ainda produzir estas figuras em alto ou baixo relevo, através de máquinas controladas eletronicamente, através do computador e utilizando software de CAD (*computer aided design*) em superfícies mais duras como acrílico, madeira ou metal.

## 5. Conclusão e considerações finais

Com base naquilo que desenvolvemos no decorrer deste artigo, como conclusão ou síntese apresentamos abaixo os aspectos que consideramos necessários para constituição do que inicialmente chamamos de '*Protocolo Semiótico*', objetivando um Ensino de Ciências que leve em conta pessoas com deficiência visual.

- O Ensino de Ciências pressupõe três momentos básicos (tríade semiótica): a) a apresentação do conhecimento através de situações didáticas compondo um campo conceitual, ao invés da simples apresentação de um único conceito isolado; b) oportunizar o desenvolvimento argumentativo na fase de elaboração dos conceitos e teoremas-em-ação; c) o momento de explicitar as diversas representações sobre aquele campo conceitual segundo as respectivas situações didáticas desenvolvidas;
- Esta tríade semiótica deve ser desenvolvida considerando a possibilidade de utilização de gêneros textuais diferenciados;
- Todo processo de aquisição, apreensão ou exploração do conhecimento, através das situações didáticas, segundo determinado campo conceitual, deve ser realizado utilizando-se a maior quantidade possível das distintas modalidades perceptivas. No caso do deficiente visual, as estimulações tátil, auditiva (sonora) e verbal são fundamentais para a constituição dos conceitos científicos e formação de imagens mentais das situações didáticas e respectivo. Esta estimulação multissensorial (intermodal) deve ocorrer o quanto antes na vida acadêmica do aluno;
- A utilização de recursos assistivos, na forma de complementação e constituição didático-pedagógica é imprescindível dentro de um programa de formação ou alfabetização científica, e deve ser aplicada de maneira contextualizada;
- O desenvolvimento das habilidades e competências na área de Ciências pressupõe a estimulação paralela ou concomitante em relação a outras áreas do conhecimento humano, como a expressão artística (motora, musical, pictórica), verbal (aprimoramento sócio comunicativo, desenvolvimento argumentativo), física (esportiva, lúdica), expressão tátil através da representação pictórica, gráfica, esquemática ou escrita.

Assim sendo, acreditamos que a proposta de um **Protocolo Semiótico para o Ensino de Ciências** possibilite a realização de estudos e recortes mais pontuais e que, através disto, sejamos capazes de desenvolver determinados construtos cognitivos específicos para a área de Ensino de Ciências.

A possibilidade de obtenção de construtos cognitivos para o Ensino de Ciências pode evidenciar características de natureza cognitiva bem delimitadas para esta área, fazendo com que, a partir disto, sejam desenvolvidos ou obtidos parâmetros na forma de indicadores ou descritores que subsidiem a prática pedagógica da área, ao invés de se utilizar simples adaptações ou generalizações, como é o caso atualmente da composição das matrizes de competências e habilidades propostas através dos Parâmetros Curriculares Nacionais.

Como vimos para o caso específico da pessoa com deficiência visual, a Neurociência Cognitiva pode trazer um importante aporte empírico para sustentação sobre a fundamentação envolvida nos processos cognitivos humanos em tarefas ou situações didáticas específicas dentro da educação científica.

Neste sentido, é necessário que seja retomado na área de Ensino de Ciências como um todo, principalmente aquelas mais próximas da cognição, um estreito relacionamento epistemológico com áreas como a Psicologia Cognitiva, a Biologia experimental, a Neurociência Cognitiva ou ainda com a Medicina translacional.

Tal preocupação possui sua forte razão de ser tendo em vista a necessidade premente no refinamento didático na área de Ensino de Ciências visando uma alfabetização científica de qualidade, e não apenas com o objetivo de atender a grande demanda que as avaliações institucionais (nacionais ou internacionais) tem imposto ao sistema educacional como um todo.

## Referências Bibliográficas

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.; FLOEL, A.; KNECHT, S.; ZOHARY, E.; COHEN, L.G. Transcranial magnetic stimulation of the occipital pole interferes with verbal processing in blind subjects. **Nature Neuroscience**. V.7, N.11, November, 2004.

AMEDI, A.; MALACH, R.; HENDLER, T.; PELED, S.; ZOHARY, E. Visuo-haptic object-related activation in the ventral visual pathway. **Nature Neuroscience**. V.4, N.3, March, 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), p.758-66, 2003.

AMEDI, A.; von KRIGSTEIN, K.; van ATEVELDT, N.M.; BEAUCHAMP, M.S.; NAUMER, M.J. Functional imaging of human crossmodal identification and object recognition. **Exp.Brain Research**. 166, p. 559-571, 2005.

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

- BECK-WINCHATZ, B., OSTRO, S. J. Using Asteroid Scale Models in Space Science Education for Blind and Visually Impaired Students. **The Astronomy Education Review**, v.2, n.2., p.118-126, 2003.
- BÉRTOLO, H; PAIVA, T. Conteúdo visual em sonhos de cegos. **Psicologia, Saúde e Doenças**. II(1). 2001.
- BOUYER, G.C. **Ergonomia cognitiva e mente incorporada**. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2008.
- BRONCKART, J-P. **Atividade de linguagem, textos e discursos – por um interacionismo sociodiscursivo**. 2.ed. São Paulo: Educ, 2009.
- CAMARGO, E.P.de. **Ensino de óptica para alunos cegos: possibilidades**. Curitiba: Editora CRV, 2011.
- CAMARGO, E.P. de. O ensino de física no contexto da deficiência visual: elaboração e condução de atividades de ensino de física para alunos cegos ou com baixa visão. Universidade Estadual de Campinas. Departamento de Educação. Tese de doutorado. Orientador: Dirceu da Silva, 2005.
- CAMARGO, E.P.de, VIVEIROS, E.R.de Pressupostos e critérios pedagógicos para uma prática inclusiva para o ensino de física. In: **Docência e formação de Professores na Educação Superior: múltiplos olhares e múltiplas perspectivas**. Organizadores: Armindo Quillici Neto e Sílvia Ester Orrú. Curitiba: Editora CRV, 2009.
- CHOI BCK, PAK AW. Multidisciplinary, interdisciplinarity, and transdisciplinarity in health research, services, education and policy: 3. Discipline, inter-discipline distance, and selection of discipline. **Clin Invest Med.**;31: E41-48. 2008
- CHOI BCK, PAK AWP. Multidisciplinary, interdisciplinarity and transdisciplinarity in health research, services, education and policy: 2. Promotors, barriers, and strategies of enhancement. **Clin Invest Med.**;30:E224-32. 2007
- CHOI BCK, PAK AWP. Multidisciplinary, interdisciplinarity and transdisciplinarity in health research, services, education and policy: 1. Definitions, objectives, and evidence of effectiveness. **Clin Invest Med.**; 29:351-64. 2006
- COLIN, V. Images mentales et déficience visuelle: Ecrits psychomoteurs. **Evolutions psychomotrices**, n. 65,141-146. 2004.
- CUNNINGHAM, C. Science, technology and math issues for k-12 students with disabilities. **Information Technology and Disabilities E-Journal**. V. IV, n. 4, 1997.
- 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. Precise of the number sense. **Mind & language**. V.16, n.1, p.16-36, 2001.
- DEHANE, S.; CHANGEUX, J-P. Development of elementary numerical abilities: A neuronal model. **Journal Cognitive Neuroscience**, 5:390--407, 1993.

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.; DEHAENE-LAMBERTZ, G.; COHEN, L. Abstract representations of numbers in the animal and human brain. **Trends Neuroscience**, 21, p.355–361, 1998.

DEHAENE, S., MOLKO, N., COHEN, L., WILSON, A.J. Arithmetic and the brain. **Current Opinion in Neurobiology**, N.14: p.218–224, 2004.

DEHAENE, S.; PIAZZA, M.; PINEL, P.; COHEN, L. Three parietal circuits for number processing. **Cognitive Neuropsychology**. 20(3/4/5/6), p.487-506, 2003.

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. **Ver e ensinar a matemática de outra forma – entrar no modo matemático de pensar: os registros de representações semióticas**. 1.ed. Organização Tânia M.M. Campos. Tradução Marlene Alves Dias. São Paulo: PROEM, 2011.

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

ERICSSON, K. A., SIMON, H. A. Verbal reports as data. **Psychological Review**, 87, p.215-251, 1980.

GARDNER, John A. Tactile Graphics: an overview and resource guide. (Science Access Project, Department of Physics, Oregon State University). **Information Technology and Disabilities E-Journal**. v. III, n.4, December, 1996.

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.

GINDIS, B. The social cultural implication of disability – Vygotsky paradigm for special-education. **Educational Psychologist**. V.30, n.2, p.77-81, 1995.

GRADY, C.A.; FARLEY, N.; ZAMBONI, N.; AVERY, F.; CLARK, B.; GEIGER, N.; WOODGATE, B. Accessible Universe: Making Astronomy Accessible to All in the Regular Elementary Classroom. **The Astronomy Education Review**. v.2, n.2, p.1-19, 2003.

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

HOC, J.M., & Amalberti, R. Analyse des activités cognitives en situation dynamique: dun cadre théorique à une méthode. **Le Travail Humain**, 62, 97-130. 1999.

HOC J.-M. **Supervision et Contrôle de Processus. La cognition en Situation Dynamique, Series Sciences et Technologies de la Connaissance**, Presses Universitaires de Grenoble. 1996.

HOFSTADTER, D.R. **Gödel, Escher, Bach: an eternal golden braid**. Mew York: Basics Book, 1999.

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

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

- 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.; BEHRMANN, M.; JEANNEROD, M. The cognitive neuroscience of mental imagery. **Neuropsychologia**, v. 33, n. 11, 1335-1344, November 1995.
- KOSSLYN, S. M., THOMPSON, W. L., KIM, I. J., ALPERT, N. M. Topographical representations of mental images in primary visual cortex. **Nature**, 378, 496-498. Reprinted in M. S. Gazzaniga (Ed.), (2000), *Cognitive Neuroscience: A Reader*. Malden, MA: Blackwell Publishers, Inc, 1995.
- 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.
- KUCERA, T.J. **Teaching chemistry to students with disabilities. Information Technology and Disabilities E-journal Rochester Institute of Technology**. ISBN 0-8412-2734-9. December, 18, 1996.
- KUMAR, David D.; STEFANICH, Greg. P.;RAMASAMY, Rangasamy. Science for Students with Visual Impairments: Teaching Suggestions and Policy Implications for Secondary Educators. **Electronic Journal of Science Education**. V.5 , n. 3 , March 2001.
- 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.
- MERABET, L.B.; SWISHER, J.D.; McMANS, S.A.; HALKO, M.A.; AMEDI, A.; PASCUAL-LEONE, A.; SOMERS, D. Combined activation and deactivation of visual cortex during tactile sensory processing. *Journal of Neurophysiology*. V.97, February, 2007.
- MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de Ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, V.7, n. 1, 2002.
- 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.
- NEWELL, F.N., BÜLTHOFF, H., ERNST, M.O. Cross-Modal Perception of Actively Explored Objects. in: H.S. Oakley, & S. O'Modhrain (Eds.), **Proceedings EuroHaptics 2003**. Dublin, Ireland: Trinity College Dublin, 291 – 299, 2003.
- NICOLELIS, M. **Beyond boundaries: the new neuroscience of connecting brains with machines – and how it will change our lives**. New York: Times Book, 2011.

NICOLELIS MAL, CHAPIN JK. Controlling robots with the mind. **Scientific American**, 287, p.24-31, October 2002.

NICOLELIS, M., LEBEDEV, M.A. Principles of neural ensemble physiology underlying the operation of brain-machine interfaces. **Nature Reviews Neuroscience**, 10, 530-540 (July) | doi:10.1038/nrn2653. 2009

OECD. **First High-Level Forum on Learning Sciences and Brain Research: Potential Implications for Education Policies and Practices: Brain Mechanisms and Early Learning**, Sackler Institute, New York, June 16–17, organized by the OECD. 2000.

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

PASTRÉ, P., MAYEN, P., VERGNAUD, G. La didactique professionnelle. **Revue française de pédagogie**. N.154, 2006.

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.

PIAZZA, M.; IZARD, V.; PINEL, P.; LE BIHAN, D.; DEHAENE, S. Tuning Curves for Approximate Numerosity in the Human Intraparietal Sulcus. **Neuron**, Vol. 44, 547–555, October 28, 2004.

PICARD, R. **Affective Computing**. Cambridge, MA: The MIT Press, 1997.

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.

PINEL, P.; PIAZZA, M.; LE BIHAN, D.; DEHAENE, S. Distributed and Overlapping Cerebral Representations of Number, Size, and Luminance during Comparative Judgments. **Neuron**, V. 41, p.1–20, March 25, 2004.

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

PREECE, J.; ROGERS, I.; SHARP, H. **Design de Interação: Além da Interação Humano-Computador**; Porto Alegre: Bookman, 2007.

PYLYSHYN, Z.W. **Things and places – how the mind connects with the world**. Cambridge: A Bradford Book/MIT Press, 2007.

PUNIE, Y. **A social and technological view of Ambient Intelligence in Everyday Life: what bends the trend? European Media, Technology and Everyday Life Research Network**. European Commission (EMTEL), 2003.

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.

- REGO-MONTEIRO, P., MANHÃES, L.P., KASTRUP, V. Questões Acerca da Teoria da Compensação no Campo da Deficiência Visual. **Revista Benjamin Constant**, n.36, Abril, 2007.
- 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.; DEIBER, M.P.; IBAÑEZ, V.; HALLETT, M. Neural networks for Braille reading by the blind. **Brain**, 121, 1213-1229, 1998.
- 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.
- SANTAELLA, L. **Matrizes da linguagem e pensamento: Sonora, visual, verbal –aplicações na hipermídia**. 3.ed. São Paulo: Iluminuras/FAPESP, 2005.
- SCHLEPPENBACH, D. Teaching science to the visually impaired. **Information Technology and Disabilities E-Journal**. December, 1996.
- SHELLENBERG, E.G., Examining the association between music lessons and intelligence. **British Journal of Psychology**. V.102, p.283-302, 2011.
- SCHNEUWLY, B., DOLZ, J. Gêneros orais e escritos na escolar. Campinas: Mercado de Letras, 2004.
- SOCIETY FOR NEUROSCIENCE. Translational Neuroscience Accomplishments. 2003.
- SOLER, M. A. **Didáctica multisensorial de las ciencias**, Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A, 1999.
- SOUZA, I.L.de. A competência leitora na perspectiva do SARESP – a habilidade de inferir informação implícita em texto escrito. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2007.
- STEPHAN, P.F. Cognitive design. **Swiss Design Network** (Hrsg.)p. 107-124. 2005
- 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.
- TORINO, C., MENDES, C.R. Avaliação educacional e educação estatística – um olhar sobre os resultados do SARESP. Anais do XIV Encontro de Iniciação Científica da PUC-Campinas - 29 e 30 de setembro de 2009.
- 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.
- VAUGHN, K. Music and mathematics: Modest support for the oft-claimed relationship. **Journal of Aesthetic Education**. V.34, n.3-4, p.149-166. 2000.
- VERGNAUD, G. The theory of conceptual fields. **Human development**. V.52, n.2, p.83-94, 2009.

VERGNAUD, G. **L'enfant, la mathématique et la réalité – problèmes de l'enseignement des mathématiques à l'école élémentaires**. 5.ed. Suisse: Peter Lang, 1994.

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

VIEILLEDENT, S.; KOSSLYN, S.M.; BERTHOZ, A.; GIRAUDO, M.D. Does mental stimulation of following a path improve navigation performance without vision? **Cognitive Brain Research**. 16, p.238-249, 2003.

VIVEIROS, E.R.de. Investigando a relação sujeito-conhecimento entre alunos da Licenciatura em Química: contribuições da Teoria dos Campos Conceituais. Dissertação de Mestrado. Orientador Renato Eugênio da Silva Diniz. Programa de Pós graduação em Educação para a Ciência. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2005.

VYGOTSKY, L.S. **Pensamento e Linguagem**. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991. Série Psicologia e Pedagogia.

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

WASELFISZ, J.J. **O ensino das Ciências no Brasil e o PISA**. São Paulo: Sangari, 2009.

WAN, CY. Music Making as a Tool for Promoting Brain Plasticity across the Life Span. **Neuroscientist**. V.16, n.5, p.566-577, 2010.

WEST VIRGINIA UNIVERSITY. **Strategies for teaching students with vision impairments** (in: Inclusion in Science Education for Students with Disabilities) (Project on Coordinated and Thematic Science (CATS), The WV Department of Education, The National Science Foundation, WVU Eberly College of Arts & Sciences).

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.