



Educação Unisinos

E-ISSN: 2177-6210

revistaeduc@unisinos.br

Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Brasil

Gonçalves de Oliveira, Gilberto

Neurociências e os processos educativos: um saber necessário na formação de
professores

Educação Unisinos, vol. 18, núm. 1, enero-abril, 2014, pp. 13-24

Universidade do Vale do Rio dos Sinos

São Leopoldo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449644342003>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

Neurociências e os processos educativos: um saber necessário na formação de professores

Neuroscience and educational processes: A necessary knowledge in teacher training

Gilberto Gonçalves de Oliveira
gilberto.oliveira@uniube.br

Resumo: A educação ganha importância inusitada, neste momento, quando se comprova que as estratégias pedagógicas utilizadas no processo ensino-aprendizagem são eficientes na reorganização do sistema nervoso em desenvolvimento, produzindo novos comportamentos. É neste contexto que se desenvolveu esta pesquisa com o objetivo de elucidar as contribuições diretas e indiretas da neurociência para a formação de professores. É um estudo bibliográfico realizado a partir de aportes teóricos de autores do campo da neurociência e da formação de professores, tais como: Bartoszeck (2007), Rose (2006), Hardiman e Denckla (2009), Scorza *et al.* (2005), Rato e Caldas (2010), Goswami (2006), Noronha (2008), dentre outros. A metodologia empregada foi o diálogo hermenêutico nos moldes propostos por Gadamer (1997), como abordagem comprensiva de saberes relacionais. Num primeiro momento, foram elencados autores cujos escritos se relacionam com a neurociência. Em um segundo momento, reunir-se autores que trataram da formação docente e, em um terceiro momento, realizou-se a confluência entre tais escritos com o propósito de associar os conhecimentos neurocientíficos de modo a direcioná-los como subsídios a serem empregados na área de formação de professores. A partir deste estudo, podemos apresentar algumas conclusões: a aprendizagem é decorrência da neuroplasticidade; o cérebro humano não finaliza seu desenvolvimento, mas reestrutura-se, reorganiza-se constantemente. Ideias novas sobre a cognição e o desenvolvimento podem dar novas direções para a educação.

Palavras-chave: neurociência, aprendizagem, educação, formação de professores.

Abstract: Education is gaining an unusual importance at this time, when there is evidence that the teaching strategies used in the teaching-learning process are efficient in the reorganization of the developing nervous system, producing new behaviors. It is in this context that this study was conducted in order to elucidate the direct and indirect contributions of neuroscience to teacher training. It is a bibliographic study on theoretical contributions by authors of the field of neuroscience and teacher training, such as: Bartoszeck (2007), Rose (2006), Hardiman and Denckla (2009), Scorza *et al.* (2005), Rato and Caldas (2010), Goswami (2006) and Noronha (2008), among others. The methodology used was the hermeneutic dialogue as proposed by Gadamer (1997), as it is a comprehensive approach to relational knowledge. At first the article lists authors whose writings relate to neuroscience. In a second step, it discusses authors who have dealt with teacher training. Finally it brings these writings together with the purpose of linking the insights from neuroscientific research and treating them as contributions to the area of teacher training. On the basis of this study, some conclusions are presented: learning is a result of neuroplasticity, the human brain does not finish its development, but restructures, reorganizes itself constantly, and new ideas about cognition and development may provide new directions for education.

Keywords: neuroscience, learning, education, teacher training.

Introdução

Este artigo é fruto de uma pesquisa elaborada com a contribuição de educadores a partir de minha formação acadêmica de origem médica, como neurologista. Foi a partir de um questionamento surgido em sala de aula do curso de Pedagogia da Uniube que se delineou o tema da pesquisa. O conteúdo – Aspectos neurológicos da aprendizagem – foi questionado: é necessário que o pedagogo estude este conteúdo em sua formação?

O objetivo deste estudo é a construção de uma resposta, ainda que provisória, mas sustentada pela pesquisa científica, que demonstre a importância da contribuição da neurociência para a formação inicial e ao longo da vida do professor.

As pesquisas abordando aspectos da neurociência relativos à educação têm procurado construir um espaço comum e familiar aos pesquisadores de uma e outra área. Muitas pesquisas deverão acontecer no ambiente de sala de aula, de escola através do professor, com sugestões para que o neurocientista se integre a este contexto e participe efetivamente.

Os conhecimentos em neurociência são produzidos numa velocidade vertiginosa, e a possibilidade de comprovação científica conta com exames de neuroimagem de alta tecnologia. Cada vez mais se conhece e se esclarece o funcionamento do fascinante cérebro humano. Estes conhecimentos têm interessado a pesquisadores de diversas áreas de conhecimento, dentre elas a educação. No entanto, estes conhecimentos não têm a difusão necessária para que os estudiosos das diversas áreas de saber trabalhem com conceitos mais universais, que se alcancem a interdisciplinaridade e a desejada transdisciplinaridade. Um conhecimento que embase os processos educacionais de modo que se alcance a educação desejada para os dias

atuais certamente tem a contribuição da neurociência.

É um estudo teórico, nos moldes do que diz Amaral (2002, p. 14): “Teoria, aqui bem entendida, como uma forma de ‘pensar mais’ sobre um determinado tema, para além da maneira como o mesmo vem sendo pensado, discutido e analisado de forma dominante ao longo dos anos”.

A tentativa de aproximar e entrelaçar conhecimentos desenvolvidos em diversas áreas sobre as dimensões do cérebro humano e a aprendizagem exige uma abordagem hermenêutica. Especificamente, a pesquisa se desenvolveu numa concepção da hermenêutica filosófica defendida por Gadamer (1997), como arte da compreensão do outro e de se tornar compreensível pelo outro.

Palmer (1968) propõe a hermenêutica como o estudo do conhecimento como encontro histórico que depende da experiência pessoal de quem está no mundo e ultrapassa o conceito de interpretação textual. Segundo ele (1968, p. 20), “A interpretação é, portanto, talvez o ato essencial do pensamento humano; na verdade, o próprio fato de existir pode ser considerado como um processo constante de interpretação”.

Neste estudo foram elencados autores com produções que trazem esclarecimentos sobre a neurociência. Noutro momento foram reunidos autores relacionados à educação e formação de professores. Posteriormente, procurou-se a confluência destas produções com o propósito de produzir esta pesquisa que pretende direcionar os conhecimentos neurocientíficos como subsídios a serem utilizados na compreensão dos processos educacionais, especialmente relacionados à aprendizagem.

A neurociência

A exploração do cérebro humano, em sua complexidade, não é tarefa

para um campo restrito da ciência. Assim, a neurociência se integra a outras ciências numa rede que amplia as informações e constrói um conhecimento que parece não se esgotar. O termo neurociência se difunde como um conceito transdisciplinar ao reunir diversas áreas de conhecimento no estudo do cérebro humano. As dificuldades decorrentes de campos diversos de conhecimento, neurociência e educação, diluem-se na medida em que cada um se apropria das terminologias do outro e buscam um novo conhecimento.

A neurociência se constitui como a ciência do cérebro e a educação como ciência do ensino e da aprendizagem e ambas têm uma relação de proximidade porque o cérebro tem uma significância no processo de aprendizagem da pessoa. Verdadeiro seria, também, afirmar o inverso: que a aprendizagem interessa diretamente o cérebro. Rato e Caldas (2010, p. 627) afirmam que:

Embora a ideia de que a investigação neurocientífica pode influenciar a teoria e prática educacional já não seja uma novidade, atualmente, com as novas descobertas científicas, a neurociência e a educação voltam a cruzar caminhos.

Há entraves que podem ser apontados para esta aproximação, como as questões relacionadas às respostas que a neurociência ainda não pode dar. Uma importante questão se refere à limitação em demonstrar cientificamente como a mente e o cérebro funcionam. Fischer (2009, p. 1) discorda dos autores que consideram prematura a ideia de relacionar a educação com a neurociência. Este autor defende a ideia de que a investigação da neurociência em contextos educativos abriria um leque de possibilidades de descobertas tanto em biologia básica quanto dos processos cognitivos relacionados

ao desenvolvimento e à aprendizagem. Ele propõe a união da biologia, neurociência, desenvolvimento e educação, que seriam a base da pesquisa educacional.

Reunir cientistas com educadores, integrar investigação e prática, com uma infraestrutura necessária para se produzir um estudo consistente de ensino e aprendizagem em ambientes educacionais, é a proposta de Fischer (2009). Entender os aspectos biológicos relacionados com a aprendizagem, as habilidades e deficiências de cada indivíduo ajuda educadores e pais na tarefa de educar. Elaborar ações educativas com base no conhecimento da neurociência é dispor de ferramentas capazes de analisar o percurso da aprendizagem para que se alcance o potencial individual de desenvolvimento e aprendizagem. Goswami (2006, p. 6) relata sua experiência ao divulgar a neurociência no ambiente educacional:

Primeiramente é a imensa boa vontade que os professores e educadores têm para com a neurociência – eles estão muito interessados em neurociência, eles sentem que nós temos o potencial de fazer descobertas importantes sobre a aprendizagem humana e estão ansiosos para aprender sobre estas descobertas e para contribuir com ideias e sugestões.

Estudos sobre a neurociência: do século XVIII ao século XXI

No século XVIII, antes do advento do microscópio composto, acreditava-se que o sistema nervoso funcionasse como uma glândula que secretava seus fluidos que seriam conduzidos pelos nervos para a periferia do corpo (Tabacow, 2006). Ramón y Cajal (1852-1934) descreveu a teoria neuronal no final do século XIX. Um paradigma revolucionário para sua época, a teoria neu-

ronal trouxe luzes para as ciências em efervescência, dando-lhes uma base biológica para o funcionamento do sistema nervoso.

O ambiente intelectual, cultural e filosófico do final do século XIX, de preparação para o século XX, enriqueceu-se com esses conhecimentos que redirecionaram as ciências da época. O neurônio foi conhecido como a unidade básica do sistema nervoso, funcionando com o suporte das células da glia, por mais de cem anos. Neste período, acreditou-se que, entre outras características, o neurônio não se regenerava ou se reproduzia e que não haveria neurogênese no adulto. Scorz et al. (2005, p. 250) comentam as descobertas de Ramón y Cajal segundo as quais “no SNC dos adultos, as vias neuronais são fixas e imutáveis. Todas as células deverão morrer e não ocorrerá regeneração. Talvez no futuro a ciência mude esta lei”.

Segundo a teoria neuronal, ao nascimento, o número de neurônios está estabelecido para cada indivíduo. No processo de envelhecimento, haveria uma perda inexorável de neurônios com limitação progressiva do funcionamento cerebral. Acreditava-se que o cérebro humano alcançasse seu desenvolvimento e crescimento máximo entre 20 e 30 anos. Após este período, haveria um declínio intelectual relacionado à perda neuronal. Reforçou-se a premissa de que a infância e adolescência seriam as melhores fases para se aprender e que a vida adulta não seria uma etapa adequada para a aprendizagem (Fernández, 2002, p. 189). Estas ideias direcionaram a educação por longo período e chegaram até os dias atuais. Hoje se questionam estes paradigmas, que estão sendo revistos.

Fernández (2002) afirma que o que se pode concluir destes estudos é que a idade não é por si só um impedimento para a aprendizagem.

Os possíveis declínios observados na aprendizagem neste período devem ser atribuídos a múltiplos fatores, como o estado geral de saúde, nível socioeconômico e deficiência de estímulos.

O que se tem comprovado é que, entre o nascimento e a adolescência, novos neurônios serão acrescentados ao cérebro, novos circuitos neuronais serão construídos em consequência da interação com o ambiente e da estimulação adequada. Este processo desacelera no adulto, mas não é interrompido durante toda a vida, sendo conhecido como neuroplasticidade.

Uma nova teoria neuronal constituiu-se no final do século XX, estabelecendo conceitos que reconhecem o neurônio como uma célula capaz de se modificar, estrutural e funcionalmente, após lesões ou estímulos adequados, provocando uma reorganização cerebral que atenda cada fase de vida do indivíduo. O cérebro é entendido como um sistema aberto, auto-organizável, que funciona em circuitos de rede, para atender cada etapa da vida da pessoa. Estes conhecimentos vêm provocando mudanças nas várias ciências, como na educação, abrindo novas possibilidades de intervenções mais adequadas sobre o cérebro humano.

O crescente interesse educacional no conhecimento do cérebro reflete a convicção de cientistas e educadores respeito da possibilidade de que a neurociência possa contribuir com a educação, principalmente nos aspectos do desenvolvimento e da aprendizagem. São várias as tentativas de aproximação, e uma nova perspectiva de diálogo multidisciplinar parece surgir.

No século XX, os anos noventa ficaram gravados como a “Década do Cérebro”. Um conjunto de ações e investimentos em nível mundial para o desenvolvimento de pesquisas sobre o cérebro reverteu em

conhecimentos que revolucionaram diversas áreas de saber. A neurociência constrói respostas diferentes daquelas postas pela visão cartesiana que perpassou e perpassa ainda hoje as ciências. A difusão social destes conhecimentos levou a discussão para além dos especialistas, tornando a neurociência um assunto de interesse social. Alguns pesquisadores, com base nos avanços da neurociência e a concretização do Projeto Genoma Humano, propuseram que a primeira década do século XXI seria a “Década da Mente”.

Cientistas no mundo todo estudam o cérebro humano sob diversos olhares, diferentes paradigmas, problemáticas particulares, níveis diferenciados e técnicas diversificadas. O fato é que esta multidisciplinaridade não garante uma voz única que anuncie conhecimentos que tenham efeito em todas as áreas envolvidas nesta questão. Muitos destes conhecimentos ainda permanecem estanques, não atingindo a desejada transdisciplinaridade. Este estudo procura as interfaces entre neurociência e educação que possam trazer benefícios a uma e outra área do saber na busca de compreender o cérebro humano em sua função de aprender.

O desenvolvimento do cérebro

O conhecimento, por parte do educador, do neurodesenvolvimento permite a utilização de teorias e práticas pedagógicas que levem em conta a base biológica e os mecanismos neurofuncionais, otimizando as capacidades do seu aluno.

A neurociência tem raízes que somente a partir do século XIX começam a florescer. Dentre os profissionais envolvidos e interessados em neurociência, o educador vem percebendo a necessidade de se compreender eventos biológicos

relacionados ao desenvolvimento e à aprendizagem.

Conforme Cosenza (2011), o sistema nervoso é o primeiro sistema a surgir entre a terceira e quarta semana após a fecundação. O amadurecimento do neurônio promove a formação de sinapses. O cérebro do recém-nascido é pobre em sinapses, mas o cérebro infantil possui uma quantidade exagerada de sinapses que continua aumentando até o início da adolescência. Nesse período, iniciam-se os processos regressivos com a finalidade de reorganizar a estrutura cerebral. A capacidade de aprender está relacionada à quantidade de sinapses. É o fenômeno da sinaptogênese. O que a neurociência conhece sobre a sinaptogênese e a poda sináptica vem de pesquisas com macacos, sugerindo sua grande importância nos três primeiros anos de vida.

Este conhecimento levou ao conceito de períodos críticos do desenvolvimento. As mudanças estruturais, chamadas de períodos críticos, incluindo a sinaptogênese e a poda neuronal, são eventos relevantes na educação. Durante algum tempo, ficou a impressão de que, uma vez perdida a chance de atuar nos períodos críticos, não haveria como ocorrer o aprendizado.

Sobre este assunto, Bartoszeck (2007, p. 11) afirma:

A maioria dos neurocientistas atualmente acredita que os “períodos críticos” não são tão rígidos e inflexíveis. Interpretam como períodos “sensíveis” pelo que passa o cérebro na sua capacidade de ser alterado e moldado pelas experiências ao longo da vida. Estímulos como manipulação de objetos, e sons como o da fala humana, estão disponíveis em quase todos os meios ambientais. É desconhecido se existem períodos críticos para o conhecimento transmitido culturalmente, como aqueles responsáveis pela leitura e aprendizado da aritmética.

Della Chiesa (OECD, 2007, p. 111) aponta dois tipos de sinaptogênese, o primeiro que ocorre naturalmente e outro que ocorre como resultado da exposição aos estímulos ambientais. Ao primeiro tipo se refere como experiência-expectante de aprendizagem e ao segundo como experiência-dependente de aprendizagem. Em seres humanos não foram encontrados, segundo o relatório de Della Chiesa (OECD, 2007), períodos críticos de aprendizagem, sendo, portanto, mais apropriado falar de períodos sensíveis para situações em que a aprendizagem de um tipo particular é mais fácil em um período. Este autor comenta que na aprendizagem de línguas existem períodos sensíveis, sendo que alguns deles ocorrem em idade adulta. A percepção auditiva é rapidamente moldada pelo som ambiente ao longo dos 12 primeiros meses de vida da criança, a partir do ponto em que ela passa a ter dificuldade para diferenciar sons que não entrou em contato. Sabe-se que a capacidade de diferenciar sons de uma língua estrangeira diminui entre o sexto e o décimo segundo mês de vida, quando o cérebro da criança a prepara para a fala na língua nativa. A questão é saber se os programas dos sistemas educacionais têm relação com os períodos sensíveis e se os exames de imagem funcional do cérebro vão acrescentar novas explicações em relação aos processos biológicos referentes a esses períodos.

O senso comum de se propor o início da educação formal o mais cedo possível não encontra bases neurocientíficas. No aprendizado humano não existem períodos críticos, mas podemos falar de períodos sensíveis. Não existem situações em que um evento ou sua ausência num determinado período do desenvolvimento provoque um dano irreversível à aprendizagem. O conceito de “período crítico”

remonta às conhecidas pesquisas do etólogo Konrad Lorenz, em 1970. Em suas experiências com gansos ele descobriu que existia um período restrito após o nascimento em que a introdução de seres humanos ou objetos inanimados poderiam ser identificados com a mãe. Cardoso (1997, p. 1) afirma que “O trabalho de Lorenz forneceu uma evidência muito importante de que existem períodos críticos na vida onde um tipo definido de estímulo é necessário para o desenvolvimento normal”.

Segundo Lopes e Maia (2000, p. 129), McGraw (1925) “concluiu que os períodos críticos para a aprendizagem variam de atividade para atividade e que eles são um período ótimo para uma aprendizagem rápida”. Foi o primeiro autor que se referiu à possível existência de períodos críticos na aprendizagem e no desenvolvimento motor. O autor acima citado analisa os resultados desta pesquisa amplamente divulgada e não encontra uma fundamentação sólida nem consistência numa amostra limitada a um par de gêmeos.

Lopes e Maia (2000, p. 130), analisando os chamados períodos sensíveis, dizem: “O processo de aprendizagem é influenciado por vários fatores que determinam que uma idade é a adequada para aprender uma habilidade e outra para aprender outra habilidade”. Um fator importante no processo de aprendizagem é a motivação e o interesse da criança, assim como o nível maturacional, o desenvolvimento e as experiências de aprendizagem.

O período de 0 a 3 anos de idade pode ser considerado um dos períodos mais importantes do neurodesenvolvimento, em qualquer circunstância do ambiente, se enriquecido ou não com estímulos. Acredita-se que ambientes enriquecidos favoreçam o desenvolvimento cerebral. Na adolescência, o cérebro ainda está em desenvolvimento, principalmente

nos lobos frontais e parietais. Nestes locais, a poda sináptica inicia após a puberdade. Além deste fato, um processo de mielinização aumenta nestas mesmas regiões, melhorando em muito a eficiência da transmissão da informação tanto em termos de velocidade quanto de qualidade.

Durante toda a vida humana, o processo de mielinização se manterá, mesmo que num ritmo menor. O cérebro do adolescente está, nestes termos, menos preparado que o cérebro adulto para realizar uma série de funções. Dentre elas podemos incluir a atenção, as funções executivas, principalmente as tarefas de planejamento futuro, inibição de comportamentos inadequados, multitarefa e uma série de atividades socialmente orientadas. Sabe-se que estas mudanças são bem menos intensas que na infância, mas o cérebro adulto continua suas modificações e seu desenvolvimento.

O cérebro do adulto tem menor plasticidade; o número de neurônios se reduz, mas as consequências educacionais destes eventos ainda não podem ser interpretadas completamente. A neurogênese, com o surgimento de novos neurônios, diferentemente do que se pensava, continua, pelo menos, por parte da vida adulta. Esta permanente plasticidade do cérebro sugere que ele foi concebido para a aprendizagem e adaptações, que podem provocar modificações em sua estrutura diante de novos desafios.

O processo de mielinização tem uma progressão prevista para cada um dos múltiplos sistemas tanto no aspecto da velocidade com que ocorre quanto no tocante à intensidade. O processo de maturação do sistema nervoso tem uma sequência ordenada. Segundo Valente (2006, p. 117):

Algumas áreas e sistemas iniciam a mielinização durante os primeiros

meses de gestação e rapidamente atingem seu padrão maduro de desenvolvimento, mesmo antes do término da gestação. No entanto, outros sistemas que iniciaram concomitantemente o processo de mielinização podem levar meses, até anos, para atingir o padrão maduro por apresentarem taxa de mielinização distinta.

Esta quase permanente plasticidade, entendida como o conjunto de recursos do cérebro para reorganizar seus padrões e suas características de conexão sináptica, cria possibilidades infinitas de adequações ao crescimento do organismo, às novas necessidades intelectuais e adaptações comportamentais. Contudo, a neuroplasticidade pode ter efeitos negativos ao reforçar circuitos neuronais que provoquem disfunções envolvendo a memória ou a atenção e mesmo doenças como a epilepsia.

O cérebro tem se mostrado cada vez mais susprendente mesmo para o mais entusiasta neurocientista, mas nem tudo é inusitado e nem o melhor. Um computador de última geração é capaz de operações mais complexas. O que fazemos não é o mais espetacular do universo, mas o que acontece em nosso cérebro é único. As habilidades mentais são únicas e nos tornam especiais. A consciência, o pensamento, a experiência subjetiva de existir sempre intrigaram filósofos, artistas e cientistas em toda a história da humanidade. A mente humana, entendida como uma extensão transcendental do ser humano, é imaterial. Como produto da atividade cerebral é material.

Estaria a neurociência próxima de explicações sobre o funcionamento da mente após terem se passado cerca de 20 anos da chamada “Década do Cérebro”? Milhões de anos de evolução e nove meses de gestação dão ao cérebro humano base biológica para nos tornar seres humanos, com capacidades exclusivas como a

linguagem, a consciência de si próprio e da existência do outro.

Da origem da vida com os rudimentos do sistema nervoso até o surgimento do cérebro humano, percebe-se que a conversão deste ser em humano é um processo muito mais complexo. Recursos humanos exclusivos, mesmo quando comparados com espécies próximas, mostram a descontinuidade evolutiva das espécies. Mais do que a própria estrutura cerebral, a mente humana, em sua capacidade de ser consciente, é absolutamente única.

Descrever a evolução do cérebro humano torna-se tarefa simples quando comparada com a discussão sobre a mente humana. Este é um desafio para a neurociência atual. Entender a mente como produto do cérebro pode satisfazer o discurso científico, mas em nada contribui para as discussões da neurociência atual. Os processos mentais e conscientes do ser humano seriam a continuação do processo evolutivo de funções adaptativas necessárias à sobrevivência do ser humano que é possuidor de um cérebro de tamanho privilegiado?

Pesquisas sobre comportamento, organização social e a evolução da mente dos ancestrais humanos tornam-se menos consensuais. Relacionar mudanças na estrutura do crânio e da face com o aumento do lobo frontal e associar estas modificações com a aquisição de funções mentais específicas do ser humano parece especulativo.

Rose (2006, p. 108) afirma: “É inequívoco que nosso cérebro e mente humanos são produtos da evolução, mas os processos pelos quais as mentes modernas evoluíram e as restrições que esses processos evolutivos podem ter imposto são questões de debate intenso e apaixonado”.

O que a neurociência atual demonstra é que não se pode reduzir

mente/cérebro a uma maquinaria cognitiva que processa informações. A capacidade de interpretar e expressar a emoção, por si, sem falar de outros aspectos, diferencia-o em muito de um computador. Quando a elas se associam estados mentais caracterizando sentimentos, podemos dizer que aí existe uma exclusividade humana. Qual seria o ponto da evolução em que ocorreu a conversão para seres humanos é ainda uma especulação. Em alguma época do Pleistoceno, entre 600 e 100 mil anos, pressões evolutivo-ambientais, que não se conhecem, teriam levado ao aparecimento da mente e da consciência humanas. Rose (2006) cita o período iniciado há 250 mil anos em que as variações climáticas severas ocorridas na África impuseram condições adversas que exigiram habilidades mentais necessárias para a sobrevivência. Buscar traços universais humanos que poderiam distinguir os seres humanos é uma aventura que deve se prolongar para as ciências.

Os desafios da neurociência para a escola

Aprender não é absorção de conteúdos e exige uma rede complexa de operações neurofisiológicas e neuropsicológicas. Alvarez e Lemos (2006, p. 182) comentam que, além destes dois aspectos, a aprendizagem solicita a contribuição do meio ambiente.

[...] devem-se considerar os processos cognitivos internos, isto é, como o indivíduo elabora os estímulos recebidos, sua capacidade de integrar informações e processá-las, formando uma complexa rede de representações mentais, que possibilite a ele resolver situações-problema, adquirir conceitos novos e interpretar símbolos diversos.

Percebe-se que a complexidade do aprender exige funções cerebrais e funções mentais que se entrelaçam, mas não se limitando a um ou outro aspecto.

O cérebro não vive sem suprimento alimentar, representado por glicose e oxigênio. Seu crescimento, desenvolvimento e funcionamento estão condicionados a sua nutrição. Ter um cérebro com capacidade de realizar suas funções, com todas as suas estruturas bem formadas anatomicamente, sem desvios no seu desenvolvimento nem em sua genética, no entanto, não garante a aprendizagem.

Quando o aprendizado se orienta por metas, como tomada de decisão, planejamento e execução de planos, escolhas de comportamentos mais adequados para uma dada situação, serão incluídas funções mentais com comportamentos complexos. São funções chamadas executivas. Função executiva é, segundo Eslinger (2000, p. 1), um conceito neuropsicológico de formulação recente. Relaciona-se com a organização, pelo executor, da informação formulando planos, definindo objetivos, controlando as variantes. “Em estudos neuropsicológicos, as funções executivas têm sido demonstradas como sendo muito diferentes da inteligência geral e memória”. As áreas cerebrais responsáveis pelas funções executivas amadurecem tardivamente, na idade adulta jovem. Como no desenvolvimento de outras funções cerebrais, as funções executivas tornam-se progressivamente conectadas aos domínios do conhecimento para fatos, imagens e palavras. Tudo isso para que o conhecimento tenha propósito, justificativa e aplicabilidade em comportamentos direcionados para uma meta.

As ações educacionais modelam as funções executivas e, segundo Eslinger (2000), podem ser ensinadas de forma direta. Treino de habilida-

des e o desafio melhoram o desempenho da criança como executora. “Pais, educadores e neurocientistas podem iniciar um diálogo sobre como entender mais e utilizar mais os sistemas múltiplos de memória, e como introduzir cenários sonoros de linguagem mais cedo no desenvolvimento infantil” (Eslinger, 2000). Aprender com as experiências é uma característica adquirida no processo evolucionário da espécie humana. Esta capacidade se deve, em grande parte, às funções executivas. As disfunções executivas podem trazer problemas de gravidade variável. As funções executivas bem desenvolvidas permitem que o aluno seja independente, tenha capacidade de meta-análise, supere limites e utilize habilidades para aprender. Crianças com disfunção executiva têm dificuldade para alternar concreto e abstrato, literal e simbólico, temas centrais e detalhes.

Com um sistema múltiplo de memórias, o cérebro humano está apto a realizar praticamente todas as suas funções. As funções da memória são definidas n’O Código Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (OMS, 2003, p. 46) como “funções específicas de registro e armazenamento de informações e sua recuperação quando necessário”. Memória de curto e longo prazo, imediata, recente e remota com funções de recordar e esquecer. Como falar de aprendizagem sem a função da memória? Se não houvesse, na mente, um modo de armazenamento das representações vividas e um complexo mecanismo de recuperação de experiências, não haveria aprendizagem. Cardoso (1997, p. 1) escreve sobre a memória dizendo:

Esta intrigante faculdade mental forma a base de nosso conhecimento, estando envolvida com nossa orientação no tempo e no espaço e nossas

habilidades intelectuais e mecânicas. Assim, aprendizagem e memória são o suporte para todo o nosso conhecimento, habilidades e planejamento, fazendo-nos considerar o passado, nos situarmos no presente e prevermos o futuro.

de professores, com o objetivo de oferecer aos educadores um aprofundamento a esse respeito, para que se obtenham melhores resultados no processo de ensino-aprendizagem, especialmente, na educação básica.

A memória não se localiza em uma única estrutura cerebral. Existe uma integração de sistemas que, ao entrarem em funcionamento, envolvem a mente e o cérebro, o biológico e o psicológico. Um sistema neural interconectado em rede permite que se conceba um contínuo entre os processos cognitivos e afetivos no funcionamento psíquico. Pensar em um conhecimento exclusivo cognitivo ou afetivo seria pensar em sistemas justapostos na mente humana, o que não ocorre.

Na sala de aula podemos identificar que o conhecimento afetivo requer ações cognitivas e, ao contrário, também ações cognitivas exigem os aspectos afetivos.

Aceitar, de forma integrada, na educação os processos cognitivos e afetivos aponta caminhos e possibilidades de se compreender o psiquismo humano. A dimensão semântica do raciocínio humano exclui as experiências mais particulares e subjetivas do ser humano. Num outro extremo, encontramos estudos que analisam e valorizam aspectos psicoafetivos do pensamento humano em detrimento dos aspectos cognitivos.

Existe um espaço entre a neurociência e a educação, entre o neurocientista que estuda a aprendizagem e o pesquisador em educação e a formação de professores, como comenta Noronha (2008, p. 1):

Por entender a importância do cérebro no processo de aprendizagem, consideram-se, aqui, as contribuições da Neurociência para a formação

Hardiman e Denckla (2009, p. 1) discutem a educação com bases científicas e, neste contexto, ressaltam a importância da neurociência dizendo que “[...] a próxima geração de educadores deverá alargar a sua abordagem centrada não apenas no ensino da matemática, por exemplo, mas também na forma como o raciocínio matemático se desenvolve no cérebro”.

A neurociência atual contribui para mudar a visão do cérebro humano. Tradicionalmente este seria um conhecimento das áreas médicas. Um grande interesse por seu estudo pode ser identificado nos frequentes comunicados das diversas mídias e das diferentes áreas de conhecimento, agregando-lhe um valor social que se evidencia no dia a dia. Fischer (2009) comenta a emergência de um campo de pesquisa em educação envolvendo a neurociência como base. São profissionais e pesquisadores que procuram trabalhar em conjunto em torno de questões e pesquisas para construir o conhecimento útil para a educação.

Existem exemplos bem-sucedidos desta aproximação entre profissionais de diferentes campos de conhecimento, como a medicina, que reúne médicos, biólogos, físicos, fisioterapeutas e enfermeiros em torno do mesmo objetivo das questões de saúde. O modelo mais recente da mente humana tem o cérebro como o órgão central no carreamento da consciência e da aprendizagem. Vidal (2009, p. 5) traz a referência do cérebro como fonte da personalidade e do *self* criando o termo *brainhood*.

Se a personalidade é a qualidade ou a condição de ser uma pessoa individual, *brainhood* poderia nomear a qualidade ou a condição de ser um cérebro. Esta qualidade ontológica definiria o “sujeito cerebral” que tem sido aceito, pelo menos nas sociedades industrializadas e medicalizadas, desde meados do século XX.

A ideia de que a pessoa é o seu cérebro não desconhece seu corpo, suas relações, sua cultura e história. Dizer que a aprendizagem ocorre no cérebro não pode significar que, quando a pessoa aprende, o conhecimento fica armazenado em seu cérebro até que num determinado momento possa ser recuperado. Seria como se pela manhã, ao acordar, selecionássemos as informações necessárias para as atividades daquele dia.

A aprendizagem é muito mais e utiliza muito mais do que o cérebro. Quando as pessoas aprendem algo, elas obtêm um objeto (pensamento, ideia, conceito) e depois dele se apossam. Se desejarem ensinar o que aprenderam, devem transmitir a informação a alguém disponibilizando o objeto de conhecimento em uma fonte de busca. As pesquisas em neurociência mostram que o conhecimento é baseado em atividade (Fischer, 2009). Com base nestas pesquisas é que sabemos que a atividade molda, literalmente, a anatomia e a fisiologia de seus cérebros e corpos. A aprendizagem escolar com base na atividade promove uma aprendizagem que não é simplesmente aquisição de objetos de conhecimento. Se assim fosse, não seriam necessários anos de escolarização para se alfabetizar e conhecer as ciências que dão ao aluno habilidades de ler, compreender, explicar, escrever e ser um cidadão pleno. É o conhecimento como uma construção ativa em que o aluno utiliza o que aprende de modo

eficaz aliando a compreensão do que conhece, sua manipulação e utilização. É o conhecimento baseado na atividade.

No século XXI, que exige uma constante adaptação dos conhecimentos em relação ao mundo de rápidas mudanças, a memorização de fatos não é suficiente. Faz-se necessária a compreensão dos conceitos. Construir o conhecimento é, literalmente, um processo ativo de pessoas envolvidas em ensinar e aprender. As pessoas constroem o conhecimento para utilizá-lo fazendo coisas no mundo.

Pesquisadores e profissionais trabalhando em conjunto podem refinar seus procedimentos, gerar novas hipóteses e métodos para a formação de futuros pesquisadores e profissionais docentes. Fischer (2009) aponta a deficiência na educação deste tipo de infraestrutura que crie um terreno científico para que o processo ensino/aprendizagem seja submetido à pesquisa experimental em que a intervenção pedagógica é seguida de avaliação. O sucesso da aprendizagem está, também, na dependência do currículo, do professor, do contexto da sala de aula e da comunidade como um todo. Serão estes fatores que farão a interação com as características de cada cérebro em particular (Goswami, 2006). Os estudos demonstrando modificações da estrutura neural que se seguem após o indivíduo passar por um processo educacional são pontuais e não envolvem a avaliação de questões da mente humana.

Tokuham-Espinosa apresentou, em 2008, sua dissertação de doutoramento em Filosofia na Escola de Educação da Universidade de Capella, Minneapolis, Minnesota, EUA. A proposta era de um estudo relativo ao desenvolvimento de normas no novo campo acadêmico da neuroeducação envolvendo a ciência do cérebro, da mente e da

educação. A neuroeducação tem interessado a muitas sociedades ao apresentar princípios úteis para uma melhor estrutura para a prática de ensino e aprendizagem ligando mente, cérebro e educação. A intersecção destas três linhas tem recebido outras terminologias: educação baseada no cérebro, neurociência educacional, psicologia educacional, neuropsicologia cognitiva e neurociência cognitiva (Tokuhama-Espinosa, 2008). Segundo a autora (2008, p. 1, tradução minha),

A neuroeducação é definida por vários especialistas como a utilização científica da pesquisa empírica para confirmar as melhores práticas em pedagogia (Balttro, Fischer e Léna, 2008; Fischer, Daniel, Immordino-Yang, Stern, Battro e Koizumi, 2007; Sheridan, Zinchenko e Gardner, 2005). A neuroeducação detém, potencialmente, a chave para uma mudança de paradigma em técnicas de ensino e um novo modelo de aprendizagem desde a infância até a idade adulta.

A aprendizagem é uma modificação de comportamento que envolve a mente e o cérebro. Aprender envolve o pensamento, as emoções, as vias neurais, os neurotransmissores, enfim, todo o ser humano. Deve haver um equilíbrio entre cérebro, psiquismo, mente e pedagógico (Tokuhama-Espinosa, 2008).

O surgimento de novas tecnologias educacionais coloca o cérebro humano, com tudo o que ele significa, em maior evidência ao se perceber a sua incrível capacidade de produzir sentido e complexidade compatíveis com os conhecimentos necessários tanto para o educando quanto para o educador do século XXI.

Considerações finais

A neurociência vem se constituindo num campo de conhecimento multidisciplinar de estudo do

cérebro. Uma limitação observada durante este estudo é de que os conhecimentos não são partilhados universalmente pelas diversas áreas de interesse, não se configurando uma desejável multidisciplinaridade. A investigação do cérebro humano, em sua complexidade, é uma tarefa que exige a contribuição dos saberes de diversas áreas. As pesquisas educacionais fornecem material necessário ao desenvolvimento das pesquisas em neurociência, e esta desenvolve pesquisas sobre o funcionamento do cérebro e da mente humana que interessam ao processo de aprendizagem. Existe um interesse mútuo de aproximação, apesar do reconhecimento de dificuldades e entraves para que isso aconteça. Em outros tempos, as tentativas de aproximação destas áreas não foram frutíferas. Muitos acreditam que o momento atual seja propício para esta aproximação. Não existe, neste momento, o interesse numa proposta para se desenvolver um método de ensino ou uma teoria educacional com base em neurociência. O que esta pesquisa constatou foi um desejo crescente de integração. A neurociência pode ser a base para análise de teorias e reflexões sobre o processo de ensino-aprendizagem sob a luz dos processos cerebrais como origem da cognição e do comportamento humano.

A aproximação de biologia, neurociência, desenvolvimento humano e educação seria uma excelente base para a pesquisa educacional. Aspectos bioéticos devem ser evidenciados desde o início para que não exista distorção ou mitificação popular em relação à neurociência e às possíveis descobertas sobre o cérebro humano. Alguns destes mitos são aparentemente inofensivos, como a história de que usamos somente 10% de nossa inteligência; no entanto, outros causaram impacto na educação, como a questão da dominância

hemisférica esquerda, a prontidão ou a quantificação da inteligência.

Propostas de autores comprometidos éticamente em produzir estudos consistentes sobre ensino e aprendizagem defendem a criação de ambientes educacionais integrando neurocientistas e educadores, com pesquisa e prática. A elaboração de ações educativas com bases na neurociência acrescenta ferramentas eficazes na análise do percurso da aprendizagem permitindo que seja possível se atingir o potencial de desenvolvimento individual.

É um privilégio participar destes momentos em que importantes conhecimentos são produzidos e acompanhar o quanto se têm ampliado os horizontes da neurociência. A descoberta do neurônio, no final do século XIX, promoveu um avanço considerável na ciência deste período.

Ao final do século XX, este paradigma deu lugar a outro: o neurônio e todo o sistema nervoso têm uma plasticidade própria que lhe confere uma enorme capacidade de se reorganizar. Dos conceitos enraizados sobre a principal célula do sistema nervoso, o neurônio, a maioria foi revista. Nos tempos atuais, prevalecem os conceitos de neuroplasticidade, de um cérebro com múltiplas habilidades e recursos, que não finda seu desenvolvimento, mas está em permanente reorganização. O início do século XXI tem no estudo da mente humana um novo paradigma do complexo mente-cérebro.

Este estudo se volta especialmente para os processos educacionais relativos à aprendizagem e ao aprender. A aprendizagem é vista como um processo de mudança de comportamento decorrente da experiência que se faz pela intervenção de fatores neurológicos, relacionais e ambientais. O aprender é o resultado obtido pela interação entre as estruturas mentais e o meio ambiente.

Em relação à formação do professor, torna-se necessária a aquisição de conhecimentos que o habilitem a ensinar, motivar e avaliar o aluno num formato que seja mais eficiente e compatível com o funcionamento do seu cérebro. Compreender que os conhecimentos da neurociência são importantes para a educação ainda é um paradigma novo. Muitos destes conhecimentos carecem de pesquisas educacionais que validem sua importância, consistência e aplicabilidade em educação.

Apresentar o conhecimento num formato em que o cérebro aprenda melhor passa a ser, além da preocupação com o ensinar e o avaliar o processo de ensino-aprendizagem, uma necessidade da educação atual. Promover uma aprendizagem significativa tem como substrato biológico a reorganização das conexões entre os neurônios, a neurogênese e a aplicação ampla do conceito de neuroplasticidade. Do ponto de vista da neurociência, uma aprendizagem somente ocorre porque o cérebro tem a plasticidade necessária para se modificar e se reorganizar frente a estímulos e se adaptar. A educação amplia sua base científica com as pesquisas que demonstram que o cérebro humano não finaliza seu desenvolvimento, mas uma constante reestruturação o reorganiza a partir de estímulos eficientes. A pretensão deste artigo é levantar aspectos das neurociências relacionados com a educação que possam subsidiar e contribuir para a formação dos professores.

A aprendizagem se dá, com particularidades, ao longo da vida do indivíduo. Não se espera o fechamento deste processo com um último e definitivo certificado. Pode-se dizer que, neste momento, a neurociência não busca uma nova teoria da educação científica, mas a compreensão científica da educação.

Uma proposta que vem ganhando espaço como campo de intersecção e trânsito para a educação e a neurociência é a neuroeducação. Programas de pesquisa em tradicionais instituições acadêmicas norte-americanas estão envolvidos no desenvolvimento da neuroeducação na busca de compreender como a neurociência pode afetar a educação, os educadores, os aprendizes e as escolas. Esta proposta foi apresentada em artigo por Zaro e colaboradores no início do ano de 2010.

O conceito de neuroeducação é apresentado como um novo paradigma para a pesquisa educacional que prevê a integração de achados de pesquisas em neurociências e a necessidade de se buscar formas de ensinar que potencializem os resultados do aprendizado. É uma proposta que pretende prover caráter científico à pesquisa educacional estabelecendo uma estrutura teórica e metodológica na qual possam ser testadas as melhores práticas educacionais.

A década de 90 do século XX ficou conhecida pelo esforço multinacional em promover pesquisa que resultasse em conhecimento sobre o cérebro humano que se refletisse nas ações de prevenção do adoecimento cerebral. A primeira década do século XXI foi identificada como a década da mente, em que a neurociência traz discussões importantes sobre a relação cérebro-mente.

Depender da cultura para completar seu desenvolvimento e assim sobreviver pode deixar subentendido que os seres humanos são semelhantes não somente no aspecto biofísico, mas que também seus cérebros o são. Esta não é a verdade. Um programa genético define o caminho a ser percorrido pelo desenvolvimento, mas outros trajetos serão traçados pelo ambiente, pela socialização e pela cultura do indivíduo. A construção do cérebro humano não é somente

uma questão de produção celular. Existe uma organização em todo este processo iniciado na concepção e que não se finda mesmo com o indivíduo adulto.

O cérebro é o órgão da aprendizagem. O amadurecimento do neurônio tem como consequência a formação de sinapses, e diversos fenômenos promovem uma reorganização constante. A aprendizagem interfere diretamente neste processo. Estendendo os conceitos aplicados a um único neurônio para um grupo de neurônios, ou a 100 bilhões de neurônios, teremos, em perspectiva, uma ideia do que é o cérebro humano. Estas características sugerem que o cérebro humano foi concebido para a aprendizagem e adaptações que assegurem a sobrevivência do indivíduo. Conhecendo o neurodesenvolvimento, o educador pode fazer maior uso das teorias e práticas educacionais levando em conta a base biológica e os mecanismos neurofuncionais que lhe permitem otimizar as capacidades do aluno.

Podemos afirmar que o que fazemos como seres humanos não é o grande espetáculo do universo, mas o que acontece em nosso cérebro é único. As habilidades mentais como a consciência, o pensamento, a experiência subjetiva do existir são únicas e nos tornam especiais.

O ser humano se torna humano por meio da cultura e na cultura, sem a qual o cérebro humano perde grande parte de seu significado. Em contrapartida, não existiria cultura sem o cérebro humano. A mente humana emerge e se afirma na existência da relação cérebro-cultura. São interdependentes como cérebro, mente e cultura. Estes elementos estão presentes no ato de educar.

Surge a ideia do cérebro social, no sentido de que os comportamentos sociais vão se explicar, em última análise, pelo funcionamento cerebral. É o cérebro como substrato

biológico que condiciona social e psicologicamente o ser humano.

Entender o mundo não é simplesmente uma necessidade, mas é encontrar um lugar para o indivíduo no novo mundo. A mente humana é a base para as representações sociais e coletivas que confere a subjetividade ao indivíduo. Quando o homem reflete sobre sua própria atividade como sujeito, afirma-se a sua consciência como o sujeito da atividade.

Os conhecimentos atuais da neurociência sugerem que o ser humano é agente e pensante, e os exames funcionais de imagem cerebral permitem associar as funções mentais com o funcionamento de circuitos neuronais que se interligam a partir de diversas áreas cerebrais. Permite-se pensar o cérebro como elemento fundamental da sociabilidade humana, um cérebro social. Ao se identificar áreas cerebrais capazes de diferenciar o si mesmo e o outro, levanta-se a discussão se esta área é o agente causal ou é o mecanismo neurofisiológico utilizado nesta distinção. O que se pode afirmar é que alguma coisa acontece no cérebro quando o indivíduo faz uma ação, do mesmo modo que o indivíduo faz alguma coisa quando acontece algo em seu cérebro. O estágio atual dos exames de neuroimagem ainda é muito especulativo, e a relação entre as modificações neuroquímicas e o comportamento humano nas esferas motoras, cognitivas ou psicoafetivas não estão definitivamente comprovadas.

O cérebro do século XIX foi definido como a morada da alma, e, no século XXI, tem se mostrado como o centro organizador das experiências humanas, o *self*, o centro da pessoa. O cérebro adquire cada vez mais o papel de ator social, sendo percebido como mais do que um órgão, aquilo que nos define, com atribuições e propriedades que já foram atributos para se definir o sujeito. Conhecer

o cérebro humano tem hoje uma relevância inusitada, e vários termos surgem para dizer sobre esta inquietação, como o *homo cerebralis* do historiador das ciências do cérebro Michael Hagner (1997), ou o “homem neuronal” do neurocientista Jean-Pierre Changeux (1985).

Ter um cérebro e ser uma mente traz a discussão cartesiana da dicotomia mente e corpo, assunto sobre o qual a neurociência tem marcado pontos para que se comprehenda que o ser humano é um contínuo.

Para o ser humano, ter um cérebro e ser uma mente pode significar que tem emoções, mas também sentimentos; tem funções mentais, mas também tem intencionalidade, personalidade, subjetividade, consciência. A hominização diferenciou o homem moderno dos primatas e o incita a ser mais homem. Tornar-se humano é apropriar-se daquilo que é exclusivo da espécie humana, já que cada espécie é, por definição, exclusiva.

Mas quem seria este homem humano? Um cérebro evoluído lhe daria a razão necessária para se tornar humano? É desejo do homem se tornar humano ou lhe seria mais atraente ser um deus? Estaria o homem desafiando a divindade ao perscrutar os mistérios da mente e do cérebro humano? Como a educação pode atender a estas questões que emergem a partir dos conhecimentos da neurociência na busca de um ponto que integre homem e cérebro, cérebro e mente? Os aspectos filosóficos estarão sempre implícitos nessas questões referentes às relações cérebro-mente.

Como a educação pode responder às necessidades do mundo no estágio atual de desenvolvimento que exige autonomia e um conhecimento científico e reflexivo dos indivíduos nela inseridos? Como a educação dará conta de cumprir seu papel que deverá se estender por toda a vida do indiví-

duo, quando esta vida se alarga com conceitos que a carregam para antes do nascimento e para além da morte?

O cérebro humano não é um órgão que metaboliza informações, um sistema com princípios imutáveis, mas sim um sistema aberto e plástico. Ele é capaz de lidar com variações extremas, como a precisão/imprecisão, certo/errado, presença/ausência, ambiguidade, ordem/desordem, sendo eficiente em desenvolver estratégias para sua autorganização. No dia a dia, o ser humano tem que investigar, descobrir, interpretar e organizar o mundo em sua mente.

Referências

- ALVAREZ, A.; LEMOS, I.C. 2006. Os neurobiomecanismos do aprender: a aplicação de conceitos no dia-a-dia escolar e terapêutico. *Revista de Psicopedagogia*, 23(71):181-189. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?pid=S0103-84862006000200011&script=sci_arttext. Acesso em 11/04/2014.
- AMARAL, R.A.P. 2002. *A hermenéutica crítica de Paul Ricoeur: por uma ampliação do conceito de ideologia em Educação*. Goiânia, GO. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás, 171 p.
- BARTOSZECK, A.B. 2007. Neurociência dos seis primeiros anos: implicações educacionais. *EDUCERE. Revista da Educação*, 9(1):7-32. Disponível em: revistas.unipar.br/educere/article/viewFile/2830/2098. Acesso em: 11/04/2014.
- CARDOSO, S.H. 1997. Memória: o que é e como melhorá-la. *Revista Cérebro & mente - Revista Eletrônica de Divulgação Científica em Neurociência*, 1. Disponível em: <http://www.cerebromente.org.br/n01/memo/memoria.htm>. Acesso em: 10/06/2011.
- CHANGEUX, P. 1985. *O homem neuronal*. Lisboa, Publicações Dom Quixote, 381 p.
- COSENZA, R.M. 2011. *Neurociência e Educação: como o cérebro aprende*. Porto Alegre, Artmed, 151 p.
- OECD. 2007. *Understanding the brain: the birth of a learning science*. Paris, OECD Publishing, 330 p. Disponível em: http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/education/understanding-the-brain-the-birth-of-a-learning-science_9789264029132-en#page9. Acesso em 11/04/2014. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264029132-en>
- ESLINGER, P.J. 2000. Desenvolvimento do cérebro e aprendizado. *Cérebro & Mente - Revista Eletrônica de Divulgação Científica em Neurociência*, 17. Disponível em http://www.cerebromente.org.br/n17/mente/brain-development_p.htm. Acesso em: 13/03/2009.
- FERNÁNDEZ, F.S. 2002. Características de la persona adulta que inciden en el currículo. In: UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA, *Enseñanza y Aprendizaje Abiertos y a Distancia*. Unidad Didáctica 11. Módulo II: *Enseñanza y Aprendizaje a Distancia*. Madrid, UNED, p. 173-214.
- FISCHER, K.W. 2009. Mind, brain, and education: building a scientific groundwork for learning and teaching. *Mind, Brain, and Education*, 3(1):3-16. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1751-228X.2008.01048.x/full>. Acesso em 11/04/2014. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1751-228X.2008.01048>
- GADAMER, H. 1997. *Verdade e método: traços fundamentais de uma hermenêutica filosófica*. 3ª ed., Petrópolis, Vozes, 50 p.
- GOSWAMI, U. 2006. Neuroscience and education: from research to practice? *Nature Neuroscience Reviews*, 7(5):406-413. Disponível em <http://www.nature.com/nrn/journal/v7/n5/full/nrn1907.html>. Acesso em: 11/04/2014.
- HAGNER, M. 1997. *Homo cerebralis*. Berlin, Berlin Verlag, 382 p.
- HARDIMAN, M.; DENCKLA, M.B. 2009. The science of education: informing teaching and learning through the brain sciences. Disponível em: <http://www.dana.org/news/cerebrum/detail.aspx?id=23738>. Acesso em: 03/04/2011.
- LOPES, A.R.M.; MAIA, J.A.R. 2000. Períodos críticos ou sensíveis: revisitar um tema polêmico à luz da investigação empírica. *Revista Paulista de Educação Física*, 14(2):128-140. Disponível em: <http://citrus.uspnet.usp.br/eef/uploads/arquivo/v14%20n2%20artigo3.pdf>. Acesso em: 01/07/2011.
- NORONHA, F. 2008. Contribuições da neurociência para a formação de professores. Disponível em: <http://www.webartigos.com/articles/4590/1/Contribuicoes-Da-Neurociencia-Para-A-Formacao-De-Professores/pagina1.html>. Acesso em: 03/06/2011.

- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). 2003. Classificação Internacional de Funcionalidade Incapacidade e Saúde. Disponível em: <http://arquivo.ese.ips.pt/ese/cursos/edespecial/CIFIS.pdf>. Acesso em 11/04/2014
- PALMER, R.F. 1968. *Hermenêutica*. Lisboa, Edições 70, 283 p.
- RATO, J.R.; CALDAS, A.C. 2010. Neurociências e educação: realidade ou ficção? In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INVESTIGAÇÃO EM PSICOLOGIA, VII, Barbacarena, 2010. *Actas....* Barbacarena, p. 626-644. Disponível em: <http://repositorio-cientifico.ualantica.pt/jspui/bitstream/10884/652/1/Artigo%20Neuroci%C3%A3ncias%20e%20Educa%C3%A7%C3%A3o%20JRR%20ACC%202010.pdf>. Acesso em 11/04/2014.
- SCORZA, F.A.; GUERRA, A. de B.G.; CAVALHEIRO, E.A.; CALIL, H.M. 2005. Neurogenesis and depression: etiology or new illusion? *Revista Brasileira de Psiquiatria*, 27(3):249-253. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-44462005000300017&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 28/01/2009.
- ROSE, S. 2006. *O cérebro do século XXI: como entender, manipular e desenvolver a mente*. São Paulo, Editora Globo, 371 p.
- TABACOW, L.S. 2006. *Contribuições da neurociência cognitiva para a formação de professores e pedagogos*. Campinas, SP. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 266 p. Disponível em: http://www.biblioteca-digital.puc-campinas.edu.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=46. Acesso em: 05/04/2011.
- TOKUHAMA-ESPINOSA, T.N. 2008. *The scientifically substantiated art of teaching: a study in the development of standards in the new academic field of neuroeducation (mind, brain, and education science)*. Minneapolis, EUA. Tese de Doutorado. Capella University, 625 p. Disponível em: http://media.proquest.com/media/pq/classic/doc/1555896291/fmt/ai/rep/NPDF?_s=DNFDsQW17PoYlA3ngJfb4zVgy68%3D. Acesso em 11/04/2014.
- VALENTE, M. 2006. Mielinização do sistema nervoso. In: M.V.L. de MOURA-RIBEIRO; V.M.G. GONÇALVES, *Neurologia do desenvolvimento da criança*. Rio de Janeiro, Ed. Revinter, p. 109-129.
- VIDAL, F. 2009. Brainhood, anthropological figure of modernity. *History of the Human Sciences*, 22(1):5-36. Disponível em: <http://hhs.sagepub.com/cgi/content/abstract/22/1/5>. Acesso em: 10/06/2011.
- ZARO, M.A.; ROSAT, R.M.; MEIRELES, L.O.R.; SPINDOLA, M.; AZEVEDO, A.M.P. de; BONINI-ROCHA, A.C.; TIMM, M.I. 2010. Emergência da neuroeducação: a hora e a vez da neurociência para agregar valor à pesquisa educacional. *Ciências & Cognição*, 15(1):199-210. Disponível em www.cienciascognicao.org/revista/index.php/cec/article/view-DownloadInterstitial/276/171. Acesso em: 03/04/2011.

Submetido: 05/11/2011

Aceito: 01/10/2013