

CONEXÕES ENTRE NEUROEDUCAÇÃO E FORMAÇÃO DE PROFESSORES

CONNECTIONS BETWEEN NEUROEDUCATION AND TEACHER TRAINING COURSE

CONEXIONES ENTRE LA NEUROEDUCACIÓN Y LA FORMACIÓN DOCENTE

1

Karly B. Alvarenga¹
Antônio Domingos²

Resumo

Este trabalho teórico é parte de um pós-doutorado e é fruto de uma análise em artigos e livros datados no período de 2008 a 2019. O objetivo principal é apresentar algumas conexões entre as neurociências cognitivas e a formação de professores. Os resultados apontam para a imprescindibilidade em expor aos professores e aos estudiosos os aspectos relacionados ao funcionamento cerebral no ato de aprender, tais como emoções, ansiedade, dom, cultura, plasticidade cerebral, transmissão de informações, entre outros. São necessárias mais pesquisas colaborativas para consolidar o diálogo entre as neurociências cognitivas e a educação.

Palavras-chave: Currículo. Formação docente. Conteúdos. Neurociências Cognitivas.

Abstract

The main objective of this work is to present some connections between Cognitive Neurosciences and teacher training. It is part of a postdoctoral. It is the result of theoretical research carried out in articles and books dated from 2008 to 2019. The results point to a need to present to future teachers and, already teachers, issues related to brain functioning in the act of learning, such as emotions, anxiety, gift, culture, brain plasticity and the transmission of information, among others. More collaborative research in this area is needed to consolidate the dialogue between Cognitive Neurosciences and Education.

Keyword: Curriculum. Teacher's training. Subjects. Cognitive Neuroscience

¹Doutora. Universidade Federal de Goiás – UFG. BR. <https://orcid.org/0000-0001-7670-8548>. karly@ufg.br

²Doutor. Universidade Nova de Lisboa. UNL. PT <https://orcid.org/0000-0002-5362-5691>. amdd@fct.unl.pt

Resumen

El principal objetivo de este trabajo es presentar algunas conexiones entre las Neurociencias Cognitivas y la capacitación del profesorado. Es parte de un posdoctorado. Es teórico, cuyo análisis fue realizado en artículos y libros fechados entre 2008 y 2019. Los resultados apuntan a la necesidad de presentar a los futuros profesores y, ya profesores, cuestiones relacionadas con el funcionamiento cerebral en el acto del aprendizaje: emociones, ansiedad, don, cultura, plasticidad cerebral, transmisión de información, entre otros. Se necesita más investigación colaborativa en esta área para consolidar el diálogo entre Neurociencias Cognitivas y Educación.

Palabras-clave: Currículo. Capacitación docente. Contenidos. Neurociencias Cognitivas.

Submetido 21/09/2021

Aceito 22/12/2021

Publicado 28/12/2021

Para começar

O refinamento sobre como é o processo de adquirir conhecimento, de maneira sistematizada e organizada, intriga os educadores e outros profissionais, como psicólogos, pedagogos, sociólogos, médicos, antropólogos e filósofos, desde o início da formação do aluno. As instituições escolares escolhem os conhecimentos a ser ensinados, organizam e elaboram metodologias de ensino que favoreçam a aquisição dos conteúdos e, em seguida, avaliam se foram realmente assimilados.

As teorias de aprendizagem, em tempos passados, eram elaboradas apenas pela observação do comportamento do indivíduo ou dos animais, não existindo nenhum outro meio de coletar dados para a elaboração de uma resposta à pergunta: como o aluno aprende? Porém, as preocupações com a aprendizagem começaram a render mais e mais investigações, quando os resultados das avaliações passaram a indicar que não houve a aquisição dos conteúdos escolares. Um exemplo dessa preocupação pode ser encontrado no Poorvu Center, da Yale University.

Algumas questões sempre inquietam os pesquisadores da área educacional: seria o nosso método de ensinar não efetivo? Seriam os estudantes não aptos a aprendê-lo? O que sucede onde não houve aprendizado? Como acontece a comunicação entre professor e aluno e entre aluno e aluno? Como é a formação do professor? Essas perguntas e as relações entre elas, sem dúvida, podem ser motivo de investigações.

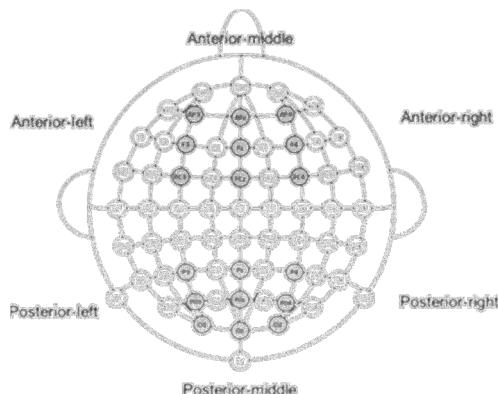
O processo de ensino e aprendizagem é complexo e necessita de constantes estudos, pois é dinâmico e deveria seguir o curso do desenvolvimento da humanidade, em que entram em cena fatores cultural, social, econômico, tecnológico, político, familiar, biológico e outros. Em meio a esse intrigante fenômeno repleto de variáveis que envolvem o ensino e a aprendizagem escolar, destacamos a relacionada à formação inicial e continuada do professor. Ela precisa ser repensada e reformulada constantemente? Ela deve ou não seguir em paralelo à dinâmica do desenvolvimento da sociedade? Ela precisa estar ou não em conexão com as mudanças científicas, tecnológicas, culturais, ambientais e biológicas da sociedade? Perrenoud (1999) propõe o constante repensar crítico para a formação docente. Concordamos com o autor e acreditamos que a resposta seja sim às três questões.

Existem outros pesquisadores vigilantes à formação do professor, como Schulman (1986), Kazemi *et al.* (2015), Stewart (2014) e Gatti, Shaw e Pereira (2021), atentos às necessidades de reformulações nessa formação. Apresentamos alguns aspectos baseados em autores elencados ao longo deste trabalho (Cf. quadro1) que fomentem uma reflexão sobre as conexões entre a neuroeducação e a formação do professor.

Em 1985, a ideia do "neuroeducador" foi apresentada por Jocelyn Fuller e James Glendening, que consideraram o desenvolvimento de uma ciência de natureza interdisciplinar e destacaram a importância do bom ensino mediante o conhecimento das estruturas biológicas e do funcionamento do cérebro. Desde então, houve um aumento significativo do número de investigações sobre o papel das neurociências na educação, paralelamente a uma explosão de descobertas, inovações e avanços sobre o conhecimento do cérebro. Cabe destacar que são inúmeras as variações de nomenclaturas para esse tipo estudo, como *neurodidática*, *neuroeducação*, *neuroaprendizagem*, *neurocognição*, *neurociência educativa* e outros nomes, e, ao longo deste texto, alternamos os termos, para enfatizar a diversidade.

Várias são as investigações que focalizam áreas de ativações cerebrais, principalmente as relacionadas ao melhor entendimento do processo de desenvolvimento da linguagem, da escrita e da aprendizagem matemática (Leikin *et al.*, 2014; Pizyblski, Santos Junior e Pereira, 2009; Smedt e Verschaffel, 2010; Obersteiner *et al.*, 2010 e outros). Para ter ideia de como se realiza uma investigação sobre esse tema, exemplificamos a realizada por Leikin *et al.* (2014), que, com o auxílio de eletrodos dispostos conforme indica a figura 1, obtiveram o mapeamento de áreas envolvidas na resolução de tarefas matemáticas. Os participantes eram adolescentes entre 16 e 17 anos, alguns com bom desempenho na disciplina e outros com superdotação.

Figura 1: Esboço da localização de eletrodos para realizar o Potencial Relacionado a Eventos (ERP)



Fonte: Leikin *et al.* 2014, p. 43.

Na figura 1, identificam-se os eletrodos anterofrontais: AF3, AFz e AF4; frontais: F3, Fz e F4; frontocentrais: FC3, FCz e FC4; parietais: P3, Pz e P4; parieto-occipitais: PO3, POz e PO4; occipitais: O3, Oz e O4; posteriores direitos (PR): P4, PO4, O2; médios posteriores (PM): Pz, POz, Oz; posteriores esquerdos (PL): P3, PO3, O1; anteriores direitos (AR): AF4, F4, FC4; médios anteriores (AM): AFz, Fz, FCz; anteriores esquerdos (AL): AF3, F3, FC3. O ERP, verificado por eletroencefalografia (EEG), é uma medida à resposta cerebral, que é o resultado direto de um evento específico sensorial, cognitivo ou motor. Formalmente, é qualquer resposta eletrofisiológica estereotipada a um estímulo. O estudo do cérebro, dessa maneira, fornece um meio não invasivo de avaliar o seu funcionamento.

Conhecer o processo cerebral de construção do conhecimento reflete-se na melhor compreensão da aprendizagem. Em tempos antigos, jamais se imaginava que uma equipe interdisciplinar, com aparelhagem tecnológica à base de eletromagnetismo, radiofrequência, eletrodos e outros equipamentos, embrenhar-se-ia pelos caminhos difíceis e cheios de percalços, para compreender como o cérebro funciona no ato de aprender.

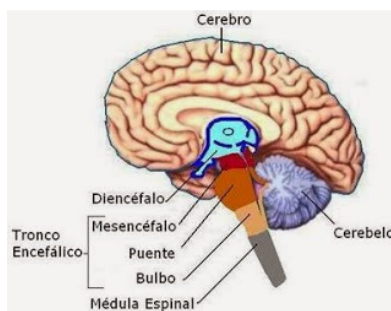
Atualmente, há em torno de 21 países e 42 periódicos envolvidos em pesquisas e publicações sobre neurociências e matemática (Feiler e Stabio, 2018). Existem polêmicas em relação às investigações. Algumas questionam como os resultados serão aplicados à sala de aula, outras apontam que as pesquisas são realizadas em laboratórios e não no campo da escola. Contudo, não é somente a matemática que tem ganhado espaço nessa temática. As línguas materna e estrangeira entram em evidência como demonstrado nos trabalhos de Kelly

(2017), Pickering e Howard-Jones (2007), Sousa e Alves (2017), Goswami (2010), entre outros pesquisadores que se preocupam, sob a perspectiva cerebral, com o ensino e a aprendizagem dos estudantes.

Bases teóricas

Compreender o funcionamento do cérebro sempre foi, e ainda é, um desafio para os cientistas. Esse órgão é parte do encéfalo – cérebro, diencefalo, cerebelo e tronco encefálico – que é parte do sistema nervoso central (Cf. figura 2).

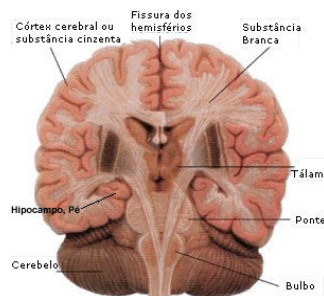
Figura 2: Partes do encéfalo



Fonte: <https://www.google.com/search?xsrf=ACYBGNQbxFkHH80qr67V2Yd23XRvxygyQ:1579803721624&q=c%C3%B3rtex+cerebral+imagens&tbm=isch&source=univ&sa=X&ved=2ahUKEwip5G9q5rnAhVTC2MBHcRcC3YQsAR6BAgJEAE&biw=1264&bih=592>

Ao final do século XIX, Golgi e outros explicaram, de maneira inicial, o modo como a informação é processada e transmitida a toda a extensão do sistema nervoso desde o momento de sua chegada aos receptores sensoriais, localizados na superfície do corpo, até sua inserção às estações finais, situadas no córtex cerebral (Delgado, 2017), como indica a figura 3.

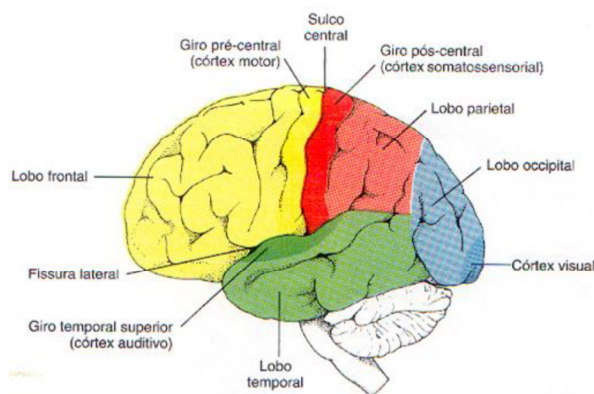
Figura 3: Córtex cerebral, parte interna (em cor rosada) e fibras mielínicas (em cor esbranquiçada)



Fonte: <https://www.google.com/search?xsrf=ACYBGNQPlpU4XxK8up67GEwLSTb5AArvmA:1579803922668&q=c%C3%B3rtex+cerebral+imagens+cor+cinza&tbm=isch&source=univ&sa=X&ved=2ahUKewjvhoCdrJrnAhUGmhQKHUGRCkAQsAR6BAgKEAE&biw=1264&bih=592>

O córtex cerebral é uma membrana fina de 6 camadas, tem, aproximadamente, de 1mm a 4 mm, cobre o cérebro com múltiplas ligações entre si e uma variedade de dimensões e formas geométricas. Apresenta a cor acinzentada e abrange todos os sulcos e circunvoluções com a área próxima de 0,22 m². Sua parte interna contém a coloração esbranquiçada e é formada pelas fibras mielínicas, por onde são transportadas as informações (Cf. figura 3). Aí se instalam as células neurogâglias e os neurônios em torno de 90 bilhões. O córtex é dividido em dois hemisférios, o esquerdo e o direito, subdivididos em lobos: frontal, parietal, temporal e occipital (Cf. figura 4).

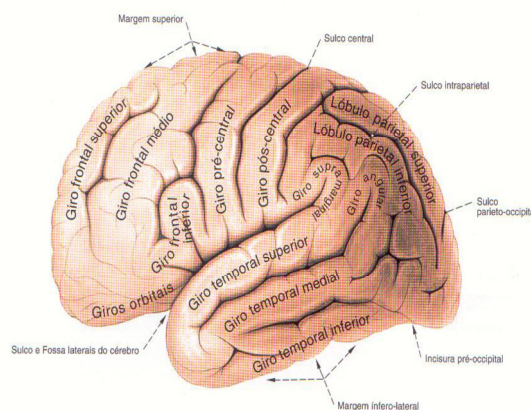
Figura 4: Divisões do córtex cerebral



Fonte: <https://www.infoescola.com/anatomia-humana/lobos-cerebrais/>

É importante entender a anatomia cerebral e suas áreas, como sulcos, giros (circunvoluções) e lobos (Cf. figura 5). Caso o leitor tenha interesse em conhecer as áreas de ativação quando se estuda matemática, pode consultar XXX (xxx); Leikin *et al.* (2016) e outros autores.

Figura 5: Divisões do cérebro em giros e sulcos



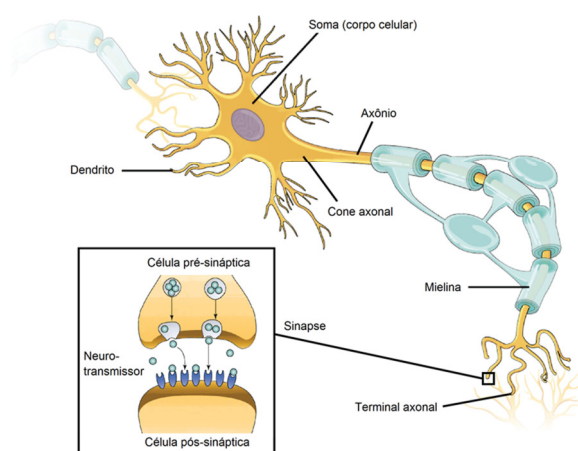
Fonte: <https://www.auladeanatomia.com/novosite/pt/sistemas/sistema-nervoso/telencefalo/>

O neocórtex é a parte mais desenvolvida do cérebro e é responsável por nossa razão e discernimento. Existem vários projetos de investigações com o objetivo de aprofundar o conhecimento sobre esse órgão tão misterioso, por exemplo, o *Blue Brain Project* (projeto europeu, que, de certa forma, concorre com o americano *Iniciativa Brain*), cujo objetivo é reconstruir, de forma completa, o cérebro humano com um supercomputador. Para isso, os pesquisadores fazem uso da topologia algébrica, uma técnica matemática que permite calcular as propriedades de um objeto ou um espaço independentemente do seu formato. O método discerne os detalhes do sistema neurológico cerebral ao mesmo tempo em que é capaz de capturá-lo em sua totalidade. Encontrou-se grande quantidade e variedade de conexões diretas entre neurônios e cavidades, algo que nunca foi visto antes em redes neurológicas, tanto biológicas quanto artificiais.

Transmissão de informações

O contexto biológico da transmissão de informações, ou seja, a passagem de um neurônio a outro, é delicado, interessante e essencial para compreender o processo da aprendizagem, pautada pelas informações, pelas comunicações entre eles (Cf. figura 6).

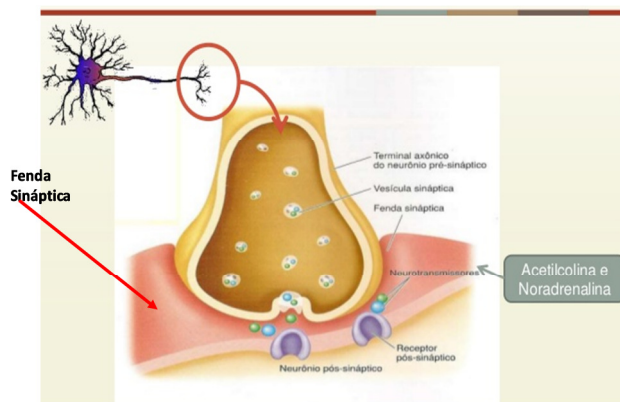
Figura 6: Articulação da transmissão das informações



Fonte: <https://pt.khanacademy.org/science/biology/human-biology/neuron-nervous-system/a/overview-of-neuron-structure-and-function>

Cada parte do neurônio – o corpo celular, os dendritos, os axônios e as terminações sinápticas – é responsável por uma função, para receber, integrar ou transmitir informação. O dendrito recebe informação, o corpo celular integra-se a ela, e o axônio transmite-a. Os terminais axônios comunicam-se com outros neurônios. Uma parte fundamental, como o restante das células, é a membrana celular, cuja função é possibilitar que um neurônio se comunique com seu ambiente externo e transmita sinais. As zonas ativas de contato entre uma terminação nervosa e outros neurônios, células musculares ou células glandulares são chamadas sinapses (Cf. figura 7), que podem ser de dois tipos: químicas ou elétricas.

Figura 7: Detalhamento da fenda sináptica em processo de uma sinapse química



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Sinapse>

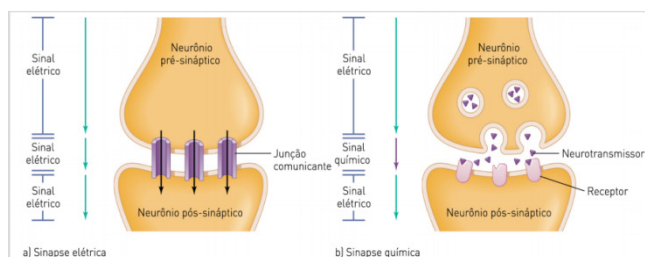
Há duas regiões, a pré-sináptica e a pós-sináptica, mas o contato físico não existe realmente, pois, mesmo estando próximas, há um espaço entre ambas as estruturas. Na sinapse química, como indica a figura 7, frequentemente encontrada em todo o sistema nervoso, os axônios liberam substâncias, os neurotransmissores, que atravessam a fenda e estimulam receptores nos dendritos, e, assim, a informação transfere-se da célula pré-sináptica para a pós-sináptica. A sinapse elétrica geralmente está relacionada a comportamentos que exigem rapidez de resposta. São mais encontradas em neurônios do tronco encefálico (para controle do ritmo de respiração e secreção de hormônios na corrente sanguínea) e também estão em abundância nos músculos cardíacos e lisos. A rapidez na transmissão do impulso elétrico entre os neurônios é muito grande.

A membrana externa do neurônio é semipermeável a certos íons e em células vivas. Há diferença na concentração de íons, Na^+ , K^+ , Cl^- e Ca^{2+} (sódio, potássio, cloro e cálcio, respectivamente), no interior em relação ao seu exterior, o que também causa uma diferença de carga líquida elétrica, em ambos os lados da membrana, de cerca de -70 mV . O interior é eletronegativo em relação ao exterior. A diferença de potencial elétrico é o potencial da membrana e é utilizada para a transmissão de informações.

As sinapses elétricas dos dois neurônios envolvidos justapõem membranas citoplasmáticas, atingindo, em alguns casos, a fusão. Na área entre os dois neurônios, aparecem estruturas de proteínas chamadas *conexões*, que atravessam a membrana e formam canais através dos quais os íons podem passar. Desta forma, ambos os citoplasmas são

conectados eletricamente, e o sinal elétrico pode propagar-se em ambas as direções (à direita e, ou, à esquerda).

Figura 8: Esboço da transmissão da informação: as sinapses elétrica e química



Fonte: <https://sinapsaprender.files.wordpress.com/2014/02/sinapses.png>

Bases metodológicas da pesquisa

Ao ter contato com resultados recentes das neurociências, empenhamo-nos em analisar se alguns cursos brasileiros de formação de professores tratavam dessa temática. Ao examinar 8 ementas de cursos de licenciatura em matemática de universidades diferentes das 5 regiões brasileiras, de dois cursos de especialização e de três de mestrado, constatamos que nenhum deles abordava o tema em seus ementários. Também fizemos contatos informais com colegas brasileiros e portugueses, e eles nos disseram que, nos cursos de formação de professores nos quais eles atuavam, também não havia nenhuma referência à temática.

Assim, procedemos a um estudo pautado em examinar, qualitativamente, resultados de pesquisas empíricas e bibliográficas que refletem sobre inclusão de assuntos relacionados à neuroeducação na formação docente. Tivemos a seguinte questão direcionadora: como os trabalhos selecionados discutem a conexão entre a neuroeducação e a formação de professores?

Cabe frisar que a pesquisa bibliográfica:

Se baseia também na experiência empírica, igual aos estudos de campo, porque dos dados que nós consideramos como secundários foram dados primários para o investigador inicial, por mais que nos cheguem como experiências já analisadas e sintetizadas. Deste modo, o contacto com os factos subsiste, ainda que neste caso se trate de um contacto transferido e indireto.

[...] o pesquisador que desenvolve este modelo pode realmente conceber e resolver novos problemas. (Vilelas, 2017, p.161).

Nesse sentido, para este estudo, destacamos 22 trabalhos, livros e artigos científicos, publicados de 2008 até 2019, os quais foram lidos integralmente. Das referências bibliográficas iniciais, obtidas por conversas informais entre nós e outros pesquisadores, realizamos uma espécie de hiper-referência com base em dois critérios: formação de professores à luz dos estudos cerebrais subjacentes ao processo de aprender; publicações de variadas instituições de pesquisas, para indicar a difusão da temática. Fixamos algumas conexões entre o funcionamento cerebral e a preparação para a docência, e agrupamo-las segundo duas categorias emergentes: 1) conexões apontadas de forma implícita pelos pesquisadores selecionados; 2) conexões apontadas de forma explícita pelos pesquisadores selecionados. O quadro 1 indica os(as) autores(as) e os títulos dos trabalhos. As instituições às quais estão vinculados situam-se em países, como Inglaterra, Canadá, Bélgica, Israel, Brasil, França, México, Estados Unidos, Alemanha, Portugal, Irã e outros.

Muitos dos exemplos aqui utilizados voltam-se à matemática, por ser uma disciplina em que há mais mitos em torno de sua aprendizagem, tais como: “é difícil”, “poucos gostam”, “é só para os inteligentes”, “tem que ter o dom”, entre outros, os quais só ganham espaço por ela ser abstrata, e, na maioria das vezes, o seu campo de ação é puramente mental. Além disso, a maneira de comunicar-se matematicamente é simbólica, o que a caracteriza com uma linguagem própria, metaforizada, gerando complexidade na sua compreensão. Por conta dessas características, nós a utilizamos em vários de nossos contextos ao longo deste trabalho.

Quadro 1: Pesquisadores selecionados pelo título do trabalho e pelo resumo

Pesquisadores selecionados				
Amalric, M.; Dehaene, S. <i>Origins of the Brain Networks for Advanced Mathematics in Expert Mathematicians</i>	Delgado, C. <i>El nuevo cerebro humano: críticas, reflexiones y nuevos descubrimientos</i>	Kelly, C. <i>The Brain Studies Boom: Using Neuroscience in ESL/EFL Teacher Training</i>	Nouri, A. <i>The Neuro-Cultural Bases of Learning and Development: towards a Culturally Responsive Education</i>	Radford, L.; André, M. <i>Cerebro, Cognición y Matemáticas</i>
Ansari, D.; Coch, D.; Smedt, B. de. <i>Connecting Education and Cognitive Neuroscience: Where Will the Journey Take us</i>	Feiler, J. B.; Stabio, M. E. G <i>Three Pillars of Educational Neuroscience from Three Decades of Literature</i>	Kucian, K.; Mccaskey, U.; Tuura, R. O.; Von Aster, M. <i>Neurostructural Correlate of Math Anxiety in the Brain of Children</i>	Nouri, A.; Mehrmohammadi, M. <i>Defining the Boundaries for Neuroeducation as a Field of Study</i>	Rato, J. R.; Caldas, A. C. <i>Neurociências e educação: realidade ou ficção</i>

Boaler, J. <i>Mentalidades matemáticas: estimulando o potencial dos estudantes por meio da matemática criativa, das mensagens inspiradoras e do ensino inovador</i>	Goswami, U. <i>Principles of Learning, Implications for Teaching: a Cognitive Neuroscience Perspective</i>	Leikin, M.; Waisman, I.; Shaul, S.; Leikin, R. <i>Brain Activity Associated with Translation from a Visual to a Symbolic Representation in Algebra and Geometry</i>	Obersteiner, A.; Dresler, T.; Reiss K; Vogel, A. C. M; Pekrun, R.; Fallgatter, A. J. <i>Bringing Brain Imaging to the School to Assess Arithmetic Problem Solving: Chances and Limitations in Combining Educational and Neuroscientific Research</i>	
Damásio, A. <i>O sentimento em si: corpo, emoção e sentimento</i>	Gomes, A. R.; Colombo Junior, P. D. <i>Diálogos necessários: neurociência, emoções e a formação inicial de professores</i>	Magrini, M. <i>Cérebro: manual do utilizador</i>	Pizyblski, L. M.; Santos Junior, G.; Pinheiro, N. A. M. <i>Relações entre o ensino da matemática e a neurociência</i>	
Smedt, B. de; Verschaffel, L. <i>Traveling down the Road: from Cognitive Neuroscience to Mathematics Education ... and back</i>	Carvalho F. H. H. de. <i>Neurociências e educação: uma articulação necessária na formação docente</i>	Nóvoa, A. <i>Educação 2021: para uma história do futuro</i>	Quinn, F. <i>Cognitive Neuroscience and Mathematics Education</i>	

Fonte: Os autores

Resultados

As duas categorias supracitadas compõem um conjunto de conhecimentos que podem e devem estar presentes nos cursos de preparação inicial e continuada de docentes, fomentando saberes mais modernos sobre o desenvolvimento do pensamento. Para obter uma interpretação mais refinada dos resultados apresentamos a primeira delas, **conexões apresentadas de forma implícita pelos pesquisadores selecionados**, subdividida em: o dom e as emoções; a cultura; a ansiedade; a língua materna; a plasticidade cerebral.

1. Conexões apresentadas de forma implícita pelos pesquisadores selecionados

Esta categoria é ampla, porque, nela, estão inseridas características importantes a ser consideradas no contexto de ensino e de aprendizagem, mas que, geralmente, não são tratadas pela comunidade escolar nem sob uma abordagem generalista, quanto mais sob os aspectos cerebrais.

A cada segundo do dia, as sinapses cerebrais são criadas por processos químicos e elétricos, e os estudantes, imersos em ambientes estimulantes com mensagens positivas, são capazes de aprender muitas coisas. Diversas evidências científicas (Herculano-Houzel, 2010; Goswami, 2008; Magrini, 2019; Boaler, 2018 e outros) sugerem que a diferença de sucesso profissional, por exemplo, não está nos cérebros com que nascemos, mas na nossa maneira de ver a vida, nas mensagens que recebemos sobre nosso potencial e nas oportunidades que tivemos de aprender, que acontecem quando os estudantes acreditam em si mesmos. Para muitos, sua aprendizagem é travada pelas mensagens que receberam sobre seu potencial, fazendo-os acreditar que não são tão bons quanto os outros.

Goswami (2008) aponta que alguns neurocientistas estudam tanto sobre como as células crescem no cérebro fetal quanto sobre os neurotransmissores químicos usados para transmitir informações. O melhor conhecimento do desenvolvimento do cérebro fetal oferece informações importantes, como, por exemplo, o porquê de crianças nascidas de mães alcoolistas terem particular dificuldade de aprendizagem em numeracia. Mas, de acordo com Boaler (2018), os cientistas afirmam que algumas diferenças cerebrais da plasticidade presentes no nascimento podem ser eclipsadas pelas experiências positivas de aprendizagem.

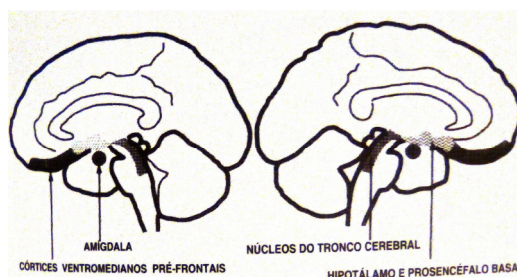
a) O dom e as emoções

Não existe a ideia de “dom matemático”, como muitos acreditam, ainda que as pessoas não nasçam com o mesmo tipo de cérebro. Ninguém nasce sabendo matemática, e ninguém nasce sem a capacidade de aprender matemática. Porém, concepções de “dom” são predominantes. Pesquisadores investigaram em que medida os(as) professores(as) universitários(as) mantinham concepções sobre o “dom” em suas matérias e descobriram algo notável: a matemática era a matéria cujos professores tinham as ideias mais fixas sobre quem podia ou não aprender tal disciplina (Boaler, 2018). Quantos já foram dispensados de uma aula de música, por não “terem o dom”?

Amarradas ao rótulo do dom estão as emoções. Aqui, consideramos as emoções primárias: alegria, tristeza, medo, cólera, surpresa ou aversão; as secundárias: vergonha, ciúme, culpa ou orgulho; as de fundo: bem-estar ou mal-estar, calma ou tensão; outras, como impulsos, motivações, estados de prazer e dor (Damásio, 2017). O sistema límbico (unidade responsável pelas emoções e pelos comportamentos sociais), formado por tálamo, amígdala,

hipotálamo e hipocampo (Cf. figura 9), avalia as informações e decidem quais estímulos devem ser mantidos ou descartados, dependendo da retenção da informação no cérebro e da intensidade da impressão provocada nele. A consciência da experiência vivenciada é aflorada quando é comparada com outras experiências e reflexões passadas. Assim, quando conseguimos estabelecer uma ligação entre a nova informação e a memória preexistente, são liberadas substâncias neurotransmissoras, como a acetilcolina e a dopamina, que aumentam a concentração e geram satisfação. (Damásio, 2017; Magrini, 2019 e outros)

Figura 9: As regiões principais ligadas à indução das emoções



Fonte: Damásio, 2017, p.85.

Apenas a região ventromediana pré-frontal é visível na superfície do cérebro. As outras são subcorticais e são encontradas perto da linha média.

Nesse sentido, é dessa maneira que emoção e motivação influenciam a aprendizagem. As emoções, por sua vez, podem intensificar a atividade das redes neuronais, fortalecer suas conexões sinápticas, estimular a aquisição, a retenção, a evocação e a articulação das informações no cérebro. Diante desse quadro, precisamos incentivar e destacar a importância de contextos que ofereçam aos indivíduos os pré-requisitos necessários a qualquer tipo de aprendizado: interesse, alegria e motivação. Na verdade, até a razão é fortemente relacionada com a emoção. De um modo ou de outro, nossos atos e pensamentos são sempre influenciados pelas emoções.

Hammes de Carvalho (2011) completa a ideia de que, na sala de aula, *o que se fala e como se fala* constituem elementos desencadeadores de pensamentos e raciocínios. Tomando as informações visuais e auditivas veiculadas por meio de recursos didáticos e as práticas docentes, podemos criar circunstâncias capazes de configurar determinada identidade

emocional em virtude de pensamentos e memórias que evocam lembranças e direcionam as interpretações na mente. As emoções e o estado de ânimo interferem na formação e na evocação de memórias, e, como qualquer função cognitiva que envolve o processo de sinapses, quanto maior o número de estímulos condicionados a essa memória tanto maior a retenção ou a evocação de dada informação.

Segundo os pesquisadores Gomes e Colombo Junior (2018) e Hammes de Carvalho (2010), sob a ótica da neurociência, as emoções são reações fisiológicas e psicológicas que influenciam a compreensão, o conhecimento e o desenvolvimento do indivíduo. Boaler (2018) destaca que o grau de emoções negativas de professoras do ensino fundamental em relação à matemática possibilita prever o desempenho das meninas em suas classes, mas não o dos meninos. Essa diferença de gênero, provavelmente, ocorre, porque as meninas se identificam com suas professoras, sobretudo no ensino fundamental, e absorvem as mensagens negativas (caso aconteçam) das professoras, como: “sei que é muito difícil, mas vamos tentar fazer” ou “eu era ruim em matemática na escola” ou “nunca gostei de matemática”.

As emoções dos professores e dos seus estudantes podem e devem ser analisadas para auxiliar o direcionamento a um ambiente agradável e com emoções positivas: motivação, boas surpresas e descobertas. Daí, observa-se a importância de essa temática constar no currículo de formação docente.

Ademais, entre os sinais de comunicação não verbal, as expressões faciais destacam-se, por terem o papel complementar de transmitir uma informação por meio das expressões emocionais. Investigações em estudos cerebrais têm mostrado que a face humana tem uma função imprescindível de identificar e reconhecer emoções derivadas de sentimentos. Entendemos que a integração entre as neurociências, o estudo das emoções e a formação de professores é essencial e não se esgota com as reflexões deste trabalho.

b) Cultura

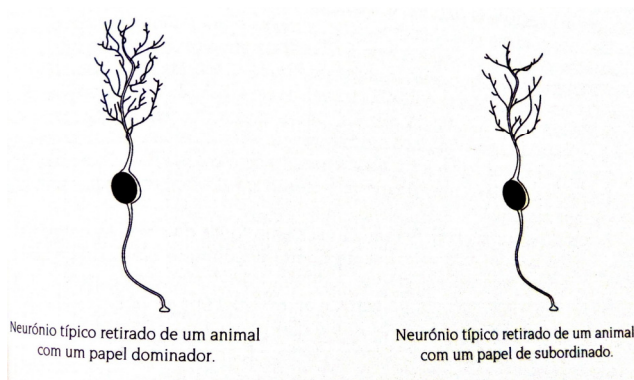
Herculano-Houzel (2010) aponta outra conexão entre a aprendizagem e a neurocognição: a que indica o cérebro adaptar-se continuamente ao ambiente cultural e mudar sua estrutura e função, dependendo da experiência. As variações neurais e comportamentais entre as culturas são devidas à interação de fatores genéticos, fisiológicos e culturais. As descobertas recentes no campo do cérebro e da cultura também sugerem que a experiência

cultural desempenha um papel significativo na formação e no desenvolvimento de mecanismos cerebrais subjacentes à cognição. O aspecto emocional também é dramaticamente afetado pela qualidade do contexto cultural (Nouri, 2017).

c) Ansiedade

A matemática, por exemplo, é frequentemente associada ao estresse, à frustração e ao confronto com tarefas que exigem estado de alerta, de tensão. Na verdade, qualquer matéria pode provocar ansiedade em muitas crianças. Descobertas (Kucian *et al.*, 2018) mostram que a ansiedade no ato de aprender está relacionada à estrutura cerebral alterada. Em particular, o padrão normal do volume da amígdala foi reduzido em indivíduos com grande ansiedade. Tal tipo de sentimento não apenas dificulta o desenvolvimento aritmético, a escrita e a linguagem das crianças, mas também está associado à estrutura cerebral alterada em áreas relacionadas ao processamento do medo. Levar em consideração a ansiedade no ambiente acadêmico pode evitar consequências prejudiciais, a longo prazo, no desempenho escolar e na qualidade de vida, especialmente em crianças com discalculia ou dislexia. Observemos que um cérebro sob menor pressão, menor estresse está mais apto para aprender (Cf. figura 10), pois possui maior quantidade de dendritos e são mais longos, o que facilita a comunicação com outros dendritos.

Figura 10: Imagens de neurônios de um animal que provoca o estresse (lado esquerdo) e de outro que recebe o estresse (lado direito)



Fonte: Jensen, 2002, p. 87

d) Língua materna

Cabe ressaltar o trabalho de Amalric e Dehaene (2016), que trata da relação entre matemática e linguagem. Eles analisaram os cérebros de alguns profissionais matemáticos, e, por meio de imagens obtidas por ressonância magnética funcional, observou-se que o raciocínio de alto nível repousa sobre um conjunto de áreas que não são as clássicas regiões do hemisfério esquerdo envolvidas no processamento da linguagem ou da semântica. Em vez disso, os domínios da matemática testados (álgebra, análise, geometria e topologia) recrutam uma rede bilateral de regiões temporais pré-frontais, parietais e inferiores que também são ativadas quando matemáticos ou não matemáticos conseguem manipular os números mentalmente. Os resultados sugerem que o alto nível de pensamento matemático faz uso mínimo de áreas de linguagem e abrange circuitos cerebrais inicialmente envolvidos quando um indivíduo está estudando espaço e números. Isto pode explicar por que o conhecimento de número e espaço, durante a primeira infância, prevê conquistas matemáticas futuras.

Outrossim, sabemos que devemos fornecer estímulos diferentes para ensinar a língua materna e outras e para ministrar matemática, pois elas não ativam, no geral, as mesmas zonas cerebrais, isto é, estímulos sensoriais de diversas modalidades auxiliariam mais o desenvolvimento intelectual do estudante se fossem adequadamente criados segundo os fins específicos de cada disciplina. Contudo, existem estímulos que servem a vários fins, como trabalhar com projetos interdisciplinares, no sentido exato da interdisciplinaridade.

e) Plasticidade cerebral

Mesmo que o termo *plasticidade cerebral* seja muito utilizado em psicologia e em neurociências, não tem sido definido com caráter último. Trata-se da faculdade do cérebro de recuperar-se e reestruturar-se. Do ponto de vista da educação, não podemos explorar e obter informações de todo o potencial da plasticidade cerebral, sem considerar a influência que a cultura e o meio ambiente exercem no desenvolvimento do aluno.

Em grande medida, o ensino tradicional faz que o aluno, isolado em sua carteira, invista seu tempo somente na resolução de exercícios com papel e lápis. As informações sobre a maturação do cérebro convidam a conceber o ensino e a aprendizagem de maneira diferente.

Devemos também perceber que o conhecimento conceitual é praticamente “incorporado”, isto é, está intimamente ligado ao funcionamento do nosso sistema sensório-

motor. Nessa perspectiva, não oferece apenas a base ou a infraestrutura para obter o conteúdo conceitual que o aluno pode desenvolver posteriormente, mas também caracteriza, profundamente, o conteúdo semântico dos conceitos em função das influências tanto de nosso corpo como do mundo exterior (Radford e André, 2009). Em outras palavras, a plasticidade cerebral, o ensino e a aprendizagem conceitual não estão somente subjugados ao sistema sensorial, mas também ao motor. Esses autores argumentam que, do ponto de vista da educação, não podemos obter todo o potencial da plasticidade cerebral sem as condições pedagógicas que a cultura deve estabelecer para garantir o pleno desenvolvimento do aluno. Gallese e Lakoff (2005) argumentam que o pensamento repousa sobre uma articulação muito fina e sutil de impressões sensoriais, que eles chamam de *natureza multimodal dos conceitos*.

Uma informação recebida pode, pela desordem que gera, levar a produzir um conhecimento particular no indivíduo, pois ele precisará desenvolver certas estratégias cognitivas, a fim de reorganizar e retomar o equilíbrio na construção do conteúdo. Isso é obtido por meio de um processo dinâmico e recursivo presente na reconstrução do próprio ato de conhecer. A aprendizagem, embora dependa de substratos físicos estruturados, caracteriza-se pelo processo de contínua inovação, maleável por natureza, flexível e dinâmico. À vista disso, salientamos que tais informações neuroeducacionais poderão ajudar os docentes em suas vidas tanto pessoais quanto profissionais, e faz-se importante proporcionarmos uma oportunidade de profissionalização integral.

2. Conexões apresentadas de forma explícita pelos pesquisadores selecionados

O artigo de Ansari, Coch e Smedt (2011) argumenta que, por um lado, é crucial a capacitação de professores incluir aspectos das neurociências cognitivas como parte fundamental de sua formação. Por outro, estudantes de neurociências, em particular, cognitivas, devem inteirar-se das questões educacionais. Tal conhecimento integrado ajudará ambas as partes a compreender melhor o desenvolvimento educativo das crianças e os fatores biológicos que influenciam os processos de aprendizagem. Além disso, neurocientistas cognitivos, que já investigam temas com potencial relevância educacional, precisam familiarizar-se com os problemas pedagógicos que envolvam o assunto e investigar as questões inquietantes apresentadas por educadores e as restrições do ambiente de aprendizagem em sala de aula.

Nesse sentido, a formação de professores pode incluir as ideias de metodologia de pesquisas comportamentais e cerebrais, as limitações dos métodos comportamentais, dos métodos que rastreiam e medem a atividade do cérebro e o uso indevido de dados ditos “científicos” em publicações populares. Avaliar criticamente os resultados científicos e sua representação na mídia popular é crucial, especialmente porque já existe grande proliferação dos chamados “neuromitos” em publicações destinadas a professores. É preciso tomar certo cuidado com o que é divulgado, pois há crescente corpo de materiais pedagógicos e literatura que dizem estar “baseados no cérebro” e não estão! (Obersteiner *et al.*, 2010; Smelt *et al.*, 2011 e outros)

Os docentes precisam tornar-se “alfabetizados em neurociências”. Da mesma forma, neurocientistas cognitivos precisam tornar-se “alfabetizados em educação”, para criar laços fortes entre as áreas. Assim, para tecer esses vínculos, as fronteiras acadêmicas tradicionais precisam ser ultrapassadas, o respeito mútuo, desenvolvido, e uma base comum de conteúdos, compartilhada. Isso implica também menor resistência dos departamentos de educação à pesquisa neurocientífica (caso exista), que é empírica e quantitativa. Ao mesmo tempo, departamentos de neurociências precisam atribuir importância à pesquisa comportamental qualitativa, que é, por vezes, considerada inferior (Nouri e Mehrmohammadi, 2012; Ansari, Coch e Smedt, 2011; Feiler e Stabio, 2018; Magrini, 2019, e outros).

Para McTighe e Willis (2019), a formação de professores precisa prover os futuros docentes com o conhecimento e as ferramentas para preparar os alunos para as impactantes mudanças culturais acarretadas pela globalização. Os novos padrões do *Common Core State Standards Initiative* alinham-se bem com a necessária preparação dos alunos com as habilidades de pensamento já procuradas pelos empregadores. Essas habilidades são as descritas na literatura de neurologia há quase 100 anos e continuam sendo as redes cerebrais que podem ser fortalecidas para que todos os alunos possam participar das oportunidades e dos desafios do ensino superior, das vocações e de uma sociedade global.

Quanto professores sabem que o simples estudo de variados tipos de texto exige diferentes níveis de oxigenação do cérebro? Que quanto mais complexa a atividade proposta e à medida que se eleva o grau de raciocínio, o fluxo sanguíneo no cérebro é mais intenso? O professor tem noção de que sua ação pedagógica desencadeia no organismo do aluno reações neurológicas e hormonais que podem ter influência em sua motivação para aprender? O

professor precisa conhecer a dinâmica entre mente e cérebro? A análise dessas questões merece atenção para que se compreenda a seriedade dessas informações na adequação de metodologias de ensino.

Reflexões finais

De acordo com Gomes e Colombo Junior (2018), nas últimas décadas, têm-se intensificado as discussões e as investigações sobre os avanços das neurociências vinculados aos processos de ensino e aprendizagem, em âmbito educacional. Além disso, crescem exponencialmente os debates sobre a formação inicial e continuada dos docentes, diante das novas demandas da sociedade. As rápidas e contínuas mudanças de perfis dos estudantes apresentam-se como desafios a ser enfrentados na formação de professores e afetam, diretamente, o pensar em “ser” professor.

Aonde essa jornada nos levará pode ser imprevisível *a priori*, porém é mais certo que não faremos progressos sem algumas restrições e um esforço conjunto para traçar um caminho de como vamos chegar lá. As pesquisas em neurociências são caras, têm custos de magnitude superior aos estudos educacionais tradicionais, e, para atrair financiamento e evitar desperdiçar experimentos voltados à educação, devem ser planejadas para que haja eficácia na sala de aula. Além disso, as dificuldades técnicas exigem que o projeto experimental deva ser bastante perspicaz e direcionado aos objetivos, para ter boa chance de sucesso. (Quinn, 2010). Esses estudos contribuem para o processo educacional, e fazer uso deles pode torná-lo mais eficiente. Estarmos atentos às emoções, aos mitos, à ansiedade, ao funcionamento da estrutura cerebral na ação de aprender as variadas disciplinas e às diferentes culturas pode estreitar os caminhos que nos ligam a nós mesmos e os que tecemos até aos nossos estudantes.

É necessário quebrar os “neuromitos” e as concepções antigas. Por exemplo, Rato e Castro-Caldas (2011) alertam para a circulação de concepções falsas sobre o cérebro. A partir do momento em que as potencialidades do cérebro se tornaram assunto de notícia para jornais e revistas generalistas, tornou-se importante separar o que é científico da pura especulação. Alguns mitos, como o de usarmos apenas 10% do cérebro (não poderia estar mais errado) ou de o funcionamento cerebral esquerdo e direito ser independente (sabemos que os dois lados trabalham, na maioria das vezes, interconectados), precisam ser esclarecidos aos docentes.

Corroboramos a reflexão de Nóvoa (2009), para quem a nova perspectiva de aprendizagem deve ser fomentada com uma série de estudos e contribuições de diversos campos científicos e culturais, mas que, em grande parte, muitos desses estudos não chegam às teorias educativas e, tampouco, às práticas escolares. O autor português destaca que os resultados recentes das neurociências apontam para a importância das emoções, dos sentimentos e da consciência do indivíduo em sua aprendizagem e que as investigações neurocientíficas têm posto em destaque o papel da memória e da criatividade e os impactos das novas tecnologias na sala de aula, que, aliás, até podem impedir-nos de alcançar os nossos alunos, como tem sido em relação ao uso inadequado dos celulares. Assim, a neuroeducação é um assunto imprescindível nos currículos dos centros de formação de professores de graduação ou de pós-graduação, e é essencial que seja fomentada, discutida e analisada do ponto de vista tanto teórico quanto prático.

Referências

- XXX. Neurociência cognitiva e matemática. In: PINA, R.; DÖRR, R. (ed.). *Cenários de pesquisa em educação matemática*. Jundiaí: Paco Editorial, xxxx.
- AMALRIC, M.; DEHAENE, S. Origins of the Brain Networks for Advanced Mathematics in Expert Mathematicians. **PNAS**. V. 113, n. 18, p. 4909-4917, 2016.
- ANSARI, D.; COCH, D.; SMEDT B de. Connecting Education and Cognitive Neuroscience: Where Will the Journey Take us? **Educational Philosophy and Theory**. V. 43, n. 1, 2011.
- BOALER, J. *Mentalidades matemáticas: estimulando o potencial dos estudantes por meio da matemática criativa, das mensagens inspiradoras e do ensino inovador*. Porto Alegre: Penso, 2018.
- CARVALHO, F. H. H. de. Neurociências e educação: uma articulação necessária na formação docente. **Trabalhos em Educação e Saúde**. V. 8, n. 3, p. 537-550, 2011.
- DAMÁSIO, A. *O sentimento em si: corpo, emoção e sentimento*. Lisboa: Temas e Debates, 2017.
- DELGADO, C. *El nuevo cerebro humano: críticas, reflexiones y nuevos descubrimientos*. Colombia: Ediciones B. Grupo Z, 2017.
- FEILER, J. B.; STABIO, M. E. Three Pillars of Educational Neuroscience from Three Decades of Literature. **Trends in Neuroscience and Education**. V. 13, 2018.
- GALLESE, V.; LAKOFF, G. The Brain's Concepts: the Role of the Sensory-Motor System in Conceptual Knowledge. **Cognitive Neuropsychology**. V. 22, n. 3, p. 455-479, 2005.
- GATTI, B. A.; SHAW, G. S. L.; PEREIRA, J. G. L. T. Perspectivas para formação de professores pós pandemia: um diálogo. **Práxis Educacional**. V. 17, n. 45, 2021, p.1-25.

GOMES, A. R.; COLOMBO JÚNIOR, P. D. Diálogos necessários: neurociência, emoções e a formação inicial de professores. **Revista Iberoamericana de Educación**. V. 78, n. 1, 2018.

GOSWAMI, U. Principles of Learning, Implications for Teaching: a Cognitive Neuroscience Perspective. **Journal of Philosophy of Education**. V. 42, 2008.

GOSWAMI, U. Phonological Development across Different Languages. In: WYSE, D.; ANDREWS, R.; HOFFMAN, J. (ed.). *The Routledge International Handbook of English, Language and Literacy Teaching*. London: Routledge, 2010.

HERCULANO-HOUZEL, S. *Neurociência e educação*. Belo Horizonte: CEDIC, 2010.

JENSEN, E. *O cérebro, a bioquímica e as aprendizagens*. Trad. Joana Pinto. Portugal: Asa Editores, 2002.

KAZEMI, E. *et al.* Getting Inside Rehearsals: Insights from Teacher Educators to Support Work on Complex Practice. **Journal of Teacher Education**. November, 19, 2015.

KELLY, C. The Brain Studies Boom: Using Neuroscience in ESL/EFL Teacher Training. In: GREGERSEN, T. S.; MACINTYRE, P. D. (ed.). *Innovative Practices in Language Teacher Education- Spanning the Spectrum from Intra- to Inter-Personal Professional Development*. Springer, 2017.

KUCIAN, K. *et al.* Neurostructural Correlate of Math Anxiety in the Brain of Children. **Translational Psychiatry**. V. 8, 2018.

LEIKIN, M. *et al.* Brain Activity Associated with Translation from a Visual to a Symbolic Representation in Algebra and Geometry. **Journal of Integrative Neuroscience**. V. 13, n. 1, 2014.

MAGRINI, M. *Cérebro: manual do utilizador*. Portugal: Desassossego, 2019.

MCTIGHE, J.; WILLIS, J. *Upgrade Your Teaching: Understanding by Design Meets Neuroscience*. Alexandria: ASCD Publications. 2019.

NOURI, A.; MEHRMOHAMMADI, M. Defining the Boundaries for Neuroeducation as a Field of Study. **Educational Research Journal**. V. 27, n. 1, 2, 2012.

NOURI, A. The Neuro-Cultural Bases of Learning and Development: Towards a Culturally Responsive Education. **Journal of Curriculum Studies (J.C.S.)**. V. 11, n. 43, 2017.

NÓVOA, A. *Educação 2021: para uma história do futuro*. 2009. Disponível em: <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/670>. Acesso em março de 2019.

OBERSTEINER, A. *et al.* Bringing Brain Imaging to the School to Assess Arithmetic Problem Solving: Chances and Limitations in Combining Educational and Neuroscientific Research. **ZDM Mathematics Education**. V. 42, p. 541-554, 2010.

PERRENOUD, P. Formar professores em contextos sociais em mudança prática reflexiva e participação crítica. **Revista Brasileira de Educação**. 1999, set-dez, n. 12. p. 5-21.

PICKERING, S. J.; HOWARD-JONES, P. Educators' Views on the Role of Neuroscience in Education: Findings from a Study of UK and International Perspectives. **Mind Brain Education**. V. 1, p. 109-113, 2007.

PIZYBLSKI, L. M.; SANTOS JÚNIOR, G.; PINHEIRO, N. A. M. Relações entre o ensino da matemática e a neurociência. I Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia. Paraná, 2009.

QUINN, F. *Cognitive Neuroscience and Mathematics Education*. 2010. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/1150/997b6518793d64a92859973e07c1cab4da39.pdf>. Acesso em dez. 2018.

24

RADFORD, L.; ANDRÉ, M. Cerebro, Cognición y Matemáticas. **Relime**. V. 12, n. 2, 2009.

RATO, J. R.; CALDAS, A. C. Neurociências e educação: realidade ou ficção? VII Simpósio Nacional de Investigação em Psicologia. Universidade do Minho, fev, 2010.

SCHULMAN, L. S. Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. **Educational Researcher**. V. 15, n. 2, 1986. p. 4-14.

SMEDT, B. de; VERSCHAFFEL, L. Traveling down the Road: from Cognitive Neuroscience to Mathematics Education ... and back. **ZDM Mathematics Education**. V. 42, p. 649-65, 2010.

SOUSA, A. M. O. P.; ALVES, R. R. N. A neurociência na formação dos educadores e sua contribuição no processo de aprendizagem. **Revista de Psicopedagogia**. V. 34, n. 105, São Paulo, 2017.

STEWART, M. Making Sense of a Teaching Programme for University Academics: Exploring the Longer-Term Effects. **Teaching and Teacher Education**. V. 38, February, 2014. p. 89-98.

VILELAS, J. *Investigação: o processo de construção do conhecimento*. Lisboa: Sílabo. 2017.