



## Sobre a Ciência da Mente, Cérebro e Educação: Uma Breve Introdução

---

Ramacciotti, M.C. C.<sup>1</sup>; Brito-Pereira, E.J.<sup>1</sup>; da Nóbrega, M.L.L.<sup>1</sup>; de Castro, L.F.R.F.<sup>1</sup>; de Lima, L.G.<sup>1</sup>; dos Santos, M.B.<sup>1</sup>; Eugênio, D.A.<sup>1</sup>; Ferreira, T.C.<sup>1</sup>; Lemes, C.R.<sup>1</sup>; Lima, C.P.L.<sup>1</sup>; Lopes, E.<sup>2</sup>; Matos, C.F.F.<sup>3</sup>; Mocheuti, K.N.<sup>4</sup>; Nascimento, N.L.<sup>1</sup>; Oliveira, B.<sup>5</sup>; Picoli, H.S.<sup>1</sup>; Rodrigues, M.A.C.<sup>6</sup>; Sahão, E.A.<sup>7</sup>; Salamani, L.M.<sup>8</sup>; Santos, E.C.G.<sup>1</sup>; Silva, W.B.A.<sup>1</sup> & Gualtieri, M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo – USP; <sup>2</sup>Universidade Estadual da Paraíba – UEPB; <sup>3</sup>Centro Universitário Maurício de Nassau – FAP; <sup>4</sup>Universidade Federal do Mato Grosso – UFMT; <sup>5</sup>Universidade Federal do Tocantins – UFT; <sup>6</sup>Logos University International; <sup>7</sup>Universidade Estadual Paulista – UNESP; <sup>8</sup>Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP

### Correspondência

mirela.ramacciotti@usp.br

### Como Citar Esse Documento

Ramacciotti, M.C. C.; Brito-Pereira, E.J.; da Nóbrega, M.L.L.; de Castro, L.F.R.F.; de Lima, L.G.; dos Santos, M.B.; Eugênio, D.A.; Ferreira, T.C.; Lemes, C.R.; Lima, C.P.L.; Lopes, E. ; Matos, C.F.F.; Mocheuti, K.N. ; Nascimento, N.L.; Oliveira, B.; Picoli, H.S.; Rodrigues, M.A.C.; Sahão, E.A. ; Salamani, L.M.; Santos, E.C.G.; Silva, W.B.A. & Gualtieri, M. (2024) Sobre a Ciência da Mente, Cérebro e Educação: Uma Breve Introdução. *Revista Neurociências e Comportamento*. v.2, 33-76 . DOI: 10.5281/zenodo.10815635

## RESUMO

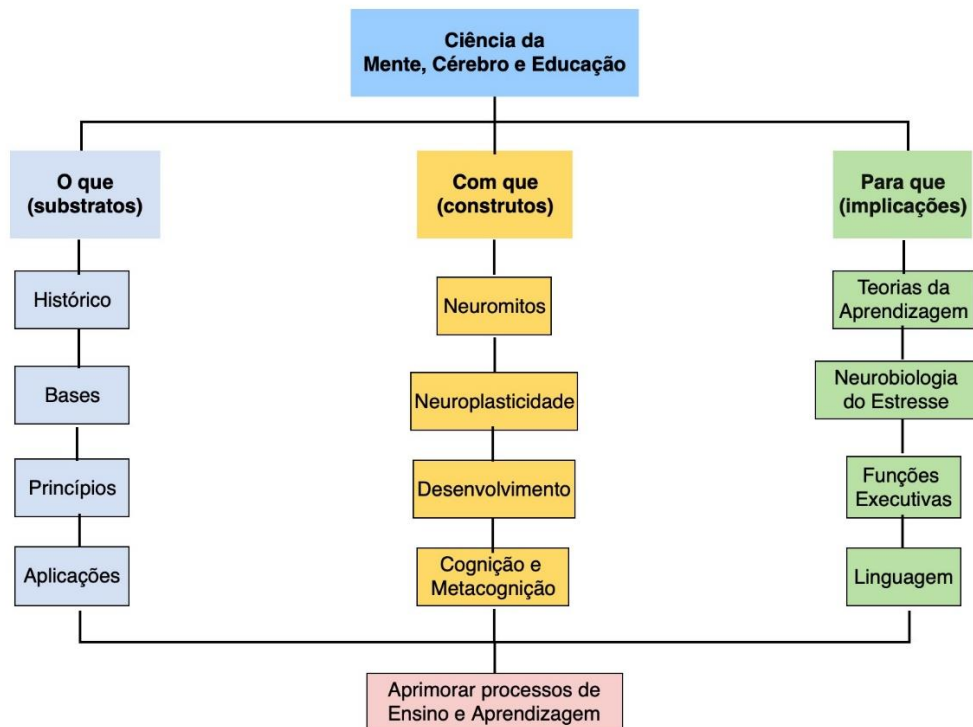
Nesta revisão narrativa traçamos um panorama geral sobre a ciência da Mente, Cérebro e Educação (MCE). Surgida durante a ‘década do cérebro’ (1990s), pesquisadores e educadores de diversos locais e segmentos buscaram unir esforços para aprofundar, integrar e aprimorar processos de ensino e aprendizagem. Neste trabalho trazemos na introdução o substrato desta ciência transdisciplinar examinando seu histórico, bases, princípios e aplicações. Prosseguimos com o assentamento de construtos necessários para seu entendimento e aperfeiçoamento tais como neuromitos, neuroplasticidade, desenvolvimento humano juntamente com cognição e metacognição. Dessa forma, podemos compreender, na sequência desse recorte narrativo, como a MCE pode auxiliar nas implicações que afetam professores e alunos como teorias da aprendizagem, neurobiologia do estresse, funções executivas e linguagem. Finalizamos com comentários sobre o que se faz necessário para que essa ciência alcance maior projeção. Nosso objetivo é mostrar como o escopo da MCE, que envolve a troca de saberes em bases igualitárias por meio de vocabulário comum, pode beneficiar a educação atual.

**Palavras-chave:** *Mente, Cérebro, Educação, Transdisciplinaridade, Neurociência*

Para esta revisão<sup>1</sup> trouxemos, de forma colaborativa, um recorte narrativo – de modo algum exaustivo - do substrato desta ciência jovem, com cerca de 30 anos, para que o entendimento do que a ciência da Mente, Cérebro e Educação (MCE) trata e abrange possa acontecer. Passamos à exposição de construtos básicos com os quais a MCE contribui e interage a fim de explorar as implicações que substratos e construtos têm para o objetivo maior dessa ciência, i.e., aprimorar processos de ensino e aprendizagem. De forma geral, observaremos aspectos fundamentais na intersecção de áreas, teorias e evidências que alicerçam a ciência da MCE de acordo com a Figura 1 (ver abaixo).

### Figura 1

*Fluxograma do recorte narrativo para a ciência da Mente, Cérebro e Educação*



<sup>1</sup> Esta revisão narrativa constitui-se de empreendimento colaborativo resultante da finalização da disciplina (PSE-5991) oferecida em pós-graduação pelo Instituto de Psicologia da USP. O escopo do curso visa fornecer informações essenciais para que mestrandos e doutorandos de ramos ligados à educação e ao desenvolvimento sustentável da sociedade possam conhecer a ciência da Mente, Cérebro e Educação.

## SUBSTRATOS

### *Histórico*

Como conciliar saberes e fazeres em ciência com relação ao ensinar e aprender? Foi com base nessa necessidade que a MCE emergiu em meados dos anos 1990s como um desafio interdisciplinar entre a neurociência cognitiva e a psicologia do desenvolvimento, expandindo-se para incluir diversos campos do conhecimento que se voltam para a educação (Fischer, 2011; Ansari et al., 2012).

De forma ampla, a epistemologia da MCE situa-se na convergência da psicologia, neurociência e educação (Tokuhama-Espinosa & Nouri, 2020) e sua construção como disciplina acadêmica implica em um processo de intenso desenvolvimento e diálogo que transcende as fronteiras disciplinares (Ansari et al., 2012; Tokuhama-Espinosa & Nouri, 2020). O campo de estudo de MCE reside na exploração das vertentes biopsicossociais que embasam processos de ensino e aprendizagem (Tokuhama-Espinosa & Nouri, 2020).

Compreender a conexão entre educação e o processo de aprendizagem cerebral visando melhores práticas com base em evidência ainda é um processo em construção (Sigman et al., 2014). Embora pesquisas demonstrem que todos os seres humanos possuem capacidade de aprender (Tokuhama-Espinosa & Nouri, 2020), o caminho da ciência translacional, *i.e.* aquela que vai da bancada dos laboratórios, seja na pesquisa básica ou clínica, para os ambientes de aplicação, como os de ensino e aprendizagem, é árduo (Solari et al., 2020; Stafford-Brizard, Cantor & Rose, 2017). Com relação à MCE, nesse caminho importa entender como diferentes potenciais, experiências prévias, níveis de atenção e memória influenciam a neuroplasticidade intrínseca à aprendizagem. Isso requer esforços constantes de compreensão e respeito a

diferentes saberes e realidades levando a requisitos específicos daqueles que trabalham com a ciência da MCE para sua construção transdisciplinar.

Os pesquisadores nessa área devem ser flexíveis o suficiente para combinar e equilibrar diferentes abordagens e áreas do conhecimento sem predominância nem hierarquização (Guerra, 2011; Hobbiss et al., 2019). Essa tarefa não é fácil, tampouco simples. Demanda aprofundamento e humildade daqueles que tenham a capacidade de unir teoria à prática, transitando com destreza e rigor entre os conhecimentos das áreas primárias juntamente com habilidades de pesquisa (Nouri, Tokuhama-Espinosa, & Borja, 2022). Há, ademais, na busca por valorização igualitária, o apreço ao compartilhamento de vocabulário e saberes que permita adaptações informadas para a melhora das práticas educacionais (Guerra, 2011; Hobbiss et al., 2019). Isso implica na constante construção de repertório que deve ser claro e compartilhado para possibilitar a realização de pesquisas colaborativas que se baseiem em contextos diversos, como os escolares, bem como no apreço e defesa da inclusão ativa dos professores no processo de pesquisa (Guerra, 2011; Tokuhama-Espinosa & Nouri, 2020).

### ***Bases Epistemológicas***

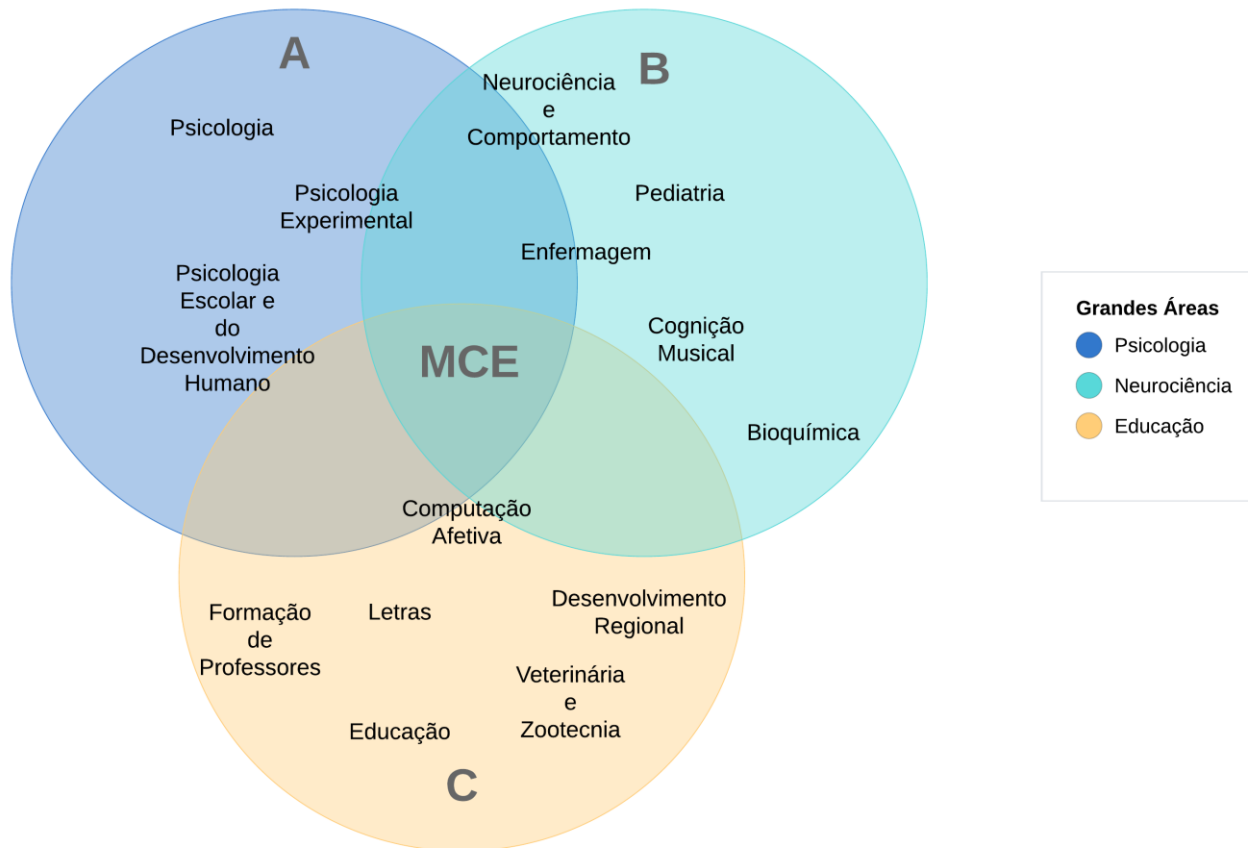
Sendo a ciência da MCE resultante de um entroncamento de três ciências independentes, porém interligadas, sua origem denota o movimento interdisciplinar que passou a relacionar epistemologicamente áreas básicas de formação e de conhecimento com o objetivo de integrar saberes. Contudo, o desenvolvimento intencional de um novo patamar científico caracteriza sua base transdisciplinar (Schwartz, 2015). Essa mudança de paradigma (inter- para trans-) permitiu alcançar uma nova base comum composta por itens mais significativos, porque dialogados, para ensino e aprendizagem provenientes das diferentes disciplinas.

A transdisciplinaridade é um debate fundamental na MCE pois inaugura a concepção de uma nova disciplina, que vai além de um conjunto de abstrações conceituais/laboratoriais aplicadas à prática, refletindo uma ciência com fundamentos epistemológicos, filosóficos, éticos, práticos e científicos próprios. Ter uma base transdisciplinar como premissa é o que garante que a MCE possua um campo de integração entre pesquisa e prática. E, por meio dessa integração entre conhecimentos produzidos nas universidades e centros de pesquisa com a aplicabilidade a contextos educacionais, é que se forma uma sólida base científica (Fischer, 2009). Na junção entre ciência e demandas empíricas emergem as questões que norteiam as pesquisas e que levam ao conhecimento aplicável.

Para tanto, há necessidade de um movimento colaborativo entre profissionais pesquisadores e educadores (ver Figura 2). Do laboratório à sala de aula, e vice-versa, cruzam-se também as formulações de problemas a serem resolvidos, perguntas de pesquisa e demandas por metodologias necessárias aos anseios concretos da sociedade (Fischer, 2009). Tamanho intercâmbio requer o assentamento de bases apoiadas em diretrizes que se aplicam a todos os que ensinam e aprendem. Destarte, a necessidade da fundamentação de princípios.

**Figura 2**

*Bases epistemológicas (A, B, C) e demais áreas específicas de conhecimento aplicado que dialogaram em MCE para este trabalho.*



### ***Princípios***

A ciência da MCE ocupa-se em investigar como os seres humanos aprendem a fim de desenvolver métodos de ensino mais eficazes (Tokuhamas-Espinosa, 2010). Para isso, é norteadas por princípios que evocam evidências compatíveis à nossa espécie com relação ao aprender. Estes ressaltam, conforme Tokuhamas-Espinosa e Nouri (2020): (i) a singularidade dos cérebros humanos, (ii) a diferenciação inata, (iii) a importância da experiência prévia, (iv) a neuromodulação, (v) a neuroplasticidade, e (vi) a necessidade de sistemas de memória e atencionais para aprendizagem.

Evidências apontam que embora a estrutura básica cerebral dos humanos seja a mesma, não há dois cérebros idênticos (Amaral & Guerra, 2020). A combinação única entre a natureza de cada indivíduo e sua experiência de vida afetam sua neuroanatomia e fisiologia (Sefarty, 2021). O cérebro de cada indivíduo desenvolve-se para aprender tarefas diferentes sendo sua capacidade de aprendizagem influenciada pelo meio, por suas experiências anteriores, por suas escolhas assim como por eventos perinatais e exposições ambientais (Tokuhama-Espinosa, 2017; Tokuhama-Espinosa & Nouri, 2020).

Sendo a eficiência cerebral norteadora para o emprego de esforço e energia ao aprender, experiências anteriores influenciam novas aprendizagens garantindo que estímulos externos sejam decodificados e comparados, tanto passiva quanto ativamente, com as memórias existentes. Nesse processo, há mudanças neurofisiológicas constantes. É dessa forma que experiências influenciam mudanças moleculares que ocorrem de forma individual antes de serem manifestas como comportamento (Sefarty, 2021). Novos contextos demandam alterações e adaptabilidade em um processo de intensa plasticidade que ocorre ao longo da vida no aprender (Tokuhama-Espinosa, 2017; Tokuhama-Espinosa & Nouri, 2020).

A aprendizagem envolve múltiplos processos cognitivos que demandam memória e atenção. O aprendizado, como o que se verifica em contextos acadêmicos ou profissionais, requer sistemas de memória de curto e longo prazo que funcionem bem somados à habilidade de atenção consciente. No entanto, a aprendizagem procedimental, a habituação, a sensibilização e até memória episódica podem ocorrer sem atenção consciente (Tokuhama-Espinosa, 2017; Tokuhama-Espinosa & Nouri, 2020). Entender como isso se processa impõe alguns desafios para que a aplicabilidade seja efetiva.



## *Aplicações*

Embora a aplicação da MCE seja campo promissor, há desafios para garantir que os avanços científicos sejam utilizados de forma adequada e eficaz no contexto educacional (Ansari & Coch, 2006; Torrijos, González & Bodoque, 2021).

Inicialmente, há que se construir pontes entre a neurociência cognitiva e a educação por meio do treinamento de professores, treinamento de pesquisadores e colaboração entre estudantes, educadores e cientistas (Ansari & Coch, 2006). Em que pese as dificuldades, quando se reúnem diferentes perspectivas, novas visões e conceitos para trabalhar questões fundamentais relacionadas ao processo de aprendizagem têm chance de prevalecer.

Ademais, a aplicação da MCE pode ‘blindar’ profissionais da educação em relação ao uso inadequado dos resultados da pesquisa e à prevalência dos chamados neuromitos (Torrijos, González & Bodoque, 2021), i.e., informações incorretas ou mal interpretadas sobre o cérebro que podem levar a práticas educacionais equivocadas. Por exemplo, a revisão sistemática de Torrijos, González & Bodoque (2021) sugere que, mesmo após duas décadas da definição dos neuromitos - como o de que aprendemos melhor com a utilização de canais sensoriais preferenciais conhecido como ‘estilos de aprendizagem’ - eles ainda são objeto de atenção e adesão. Isso aponta para alguns possíveis motivos, tais como: falta de conhecimento científico; lacunas de comunicação entre cientistas e professores, e uso de fontes de informação de baixa qualidade por parte dos educadores (Torrijos, González & Bodoque, 2021).

Esses achados indicam que a aplicação da MCE, por meio do esclarecimento do que são neuromitos (OCDE, 2002; Tokuhama-Espinosa, 2018), de como se desenvolvem (Howard-Jones, 2014), da razão de sua prevalência (Torrijos, González & Bodoque, 2021) bem como das

evidências que se contrapõe à sua adoção e propagação (Tokuhama-Espinosa, 2018), tem potencial para melhorar o conteúdo científico no ensino, inclusive em nível superior, e fornecer formação contínua para professores que atuam em diversos segmentos educacionais. É crucial que educadores tenham acesso a informações atualizadas e baseadas em evidências científicas para identificar e evitar a propagação de neuromitos além de garantir uma aplicação adequada da ciência da aprendizagem. Ademais, é essencial estabelecer diretrizes claras e uma metodologia científica padrão para identificar e superar os neuromitos.

## CONSTRUTOS

### *Neuromitos*

A palavra ‘neuro’, vem do latim ‘*neurus*’ e é um termo que indica relação com o nervo ou o sistema nervoso. A palavra ‘mito’, por sua vez, significa fábula ou história, também de origem latina, ‘*mýthos*’ ou ‘*mýthus*’. A união destes termos gerou a palavra neuromito; um conto que estimula a imaginação em relação ao funcionamento cerebral que se torna comum a diversas culturas para explicar coisas complexas (Tokuhama-Espinosa, 2018).

O termo neuromito foi criado em 1980, por Alan Crockard, um neurocirurgião que assim denominou ideias não científicas sobre o cérebro (Howard-Jones, 2014). A Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), composta por países-membros que buscam o desenvolvimento econômico através de discussões sobre políticas públicas e econômicas, tem como objetivo a resolução de problemas no âmbito econômico, financeiro, comercial, social e ambiental. Assim sendo, a forma como as sociedades pensam e aprendem também se insere em seu repertório de interesses e atuação. Em 2002, um projeto sobre o cérebro e aprendizagem da OCDE destacou os muitos erros de entendimento que surgem fora da comunidade médica e

científica (Howard-Jones, 2014). O projeto resultou em uma redefinição do termo neuromito, que passou a ser compreendido como confusões geradas sobre fatos científicos, que podem surgir com o intuito de defender pesquisas relacionadas ao cérebro na educação ou em outros contextos (OCDE, 2002).

Importa ressaltar que nem toda informação sem aparente clareza pode ser considerada um neuromito. São necessários estudos e pesquisas para chegar a tal conclusão. Um aliado importante para esse fim é o painel ou método Delphi, uma técnica de investigação que reúne um conjunto de opiniões de especialistas levando a resultados de entendimento mais robustos sobre temas complexos (Marques & Freitas, 2018; Tokuhama-Espinosa, 2018). Sendo assim, temos diferentes tipos de neuromitos confirmados e que podem ser agrupados em temas (Tokuhama-Espinosa, 2018), a saber: inteligência; arquitetura e estrutura cerebrais; ensino e aprendizagem; desenvolvimento humano; ambiente de aprendizagem; neuroplasticidade; memória; atenção; linguagem, bilinguismo e multilinguismo.

A área da Mente, Cérebro e Educação (MCE) exerce um papel importante na identificação e estabelecimento dos neuromitos pois pesquisadores de diferentes campos contribuem com pesquisas próprias, inovadoras, transdisciplinares e translacionais para a identificação de neuromitos (Dündar & Gündüz, 2016; Gleichgerrcht et al., 2015; Tovazzi, Giovannini & Bastos, 2020). Essas pesquisas investigam origens e motivos para a propagação dos neuromitos, possibilitando sua desmistificação e conseqüente compartilhamento de achados com diversas áreas do saber e com pesquisadores e profissionais de forma geral (Tokuhama-Espinosa, 2018).

Dessa forma, a MCE tem o cuidado de mapear possíveis preditores de neuromitos e de promover fatores protetivos contra eles, oferecendo embasamento científico que auxilia na

formação continuada apoiada em rigor científico para uma educação de maior qualidade (Torrijos-Muelas et al., 2021). Como aprender é um comportamento que se baseia em mudanças neurais, importa conhecê-las.

### *Neuroplasticidade*

Definida como a capacidade do sistema nervoso de modificar sua organização, a neuroplasticidade abrange mecanismos estruturais, funcionais e moleculares (Farinella & Ros, 2018; Soares, 2013), sendo uma propriedade inerente ao cérebro e base de todas as aprendizagens (Cosenza & Guerra, 2011).

Essa capacidade do cérebro para reorganizar os seus circuitos neuronais acontece quando nos confrontamos com experiências novas, advindas de mudanças em nosso ambiente. Esse processo implica em uma remodelagem cerebral (Kays et al., 2012; Reis, 2009; Sefarty, 2021) que pode ser de três tipos: (i) anatômica: que acontece quando a remodelagem impacta em mudanças morfométricas do córtex cerebral; (ii) funcional: que envolve mudanças na dinâmica de funcionamento de um sistema cognitivo demandadas pela necessidade de adaptação; e (iii) somática: que implica na capacidade de regular a proliferação ou a morte de células nervosas (Kays et al., 2012; Reis et al., 2009; Sefarty, 2021).

No cerne do entendimento sobre a neuroplasticidade encontra-se a noção aventada por Donald Hebb, há várias décadas, de que é na sinapse o lugar onde se verificariam as mudanças perante duas condições relacionadas à experiência ou exposição: que fossem específicas e repetitivas (Hebb, 1949). Coube a Hebb juntar comportamento a sinapses via redes neurais (Brown, 2020) com três postulados interrelacionados.

O primeiro postulado é o da chamada ‘sinapse hebbiana’ (também conhecida como teoria ou lei hebbiana) segundo a qual neurônios que disparam juntos se conectam, o que acarretaria um reforço das conexões e, portanto, da rede neural formada. Tal noção junta-se a outro postulado seu, o de ‘assembleias neurais’. Hebb teorizou que quando houvesse uma modificação específica em como neurônios se conectam (nível celular), haveria uma alteração no metabolismo (nível molecular) resultando em mudança na forma como grupos de neurônios – as “assembleias neurais” - se comportam (Deolindo, 2015). Hebb considerou que a forma como as assembleias neurais se comportam dependeria de diferentes experiências ou exposições – sendo, portanto, flexíveis - acarretando a modificação das sinapses (sua flexibilidade) e possibilitando interações em função das experiências (funcionais) e não apenas pela sua conformação (estruturais). Essa consideração implica no terceiro postulado de Hebb - o da 'ativação simultânea' – segundo o qual, quando uma parcela mínima de cada assembleia neural entra em ação, isso acarretará a ativação de todas as células daquela assembleia.

Colocado de outra forma, a ideia é de que, para comportamentos complexos, como a aprendizagem, a unidade funcional não seria um neurônio, mas sim, um grupo deles ativados de forma conjunta para processar sinais neurais (Brown, 2020; Deolindo, 2015). O conjunto dos postulados de Hebb acabou por suplantar seu próprio criador (Sejnowski, 2003) ou pelo menos a fama a ele atribuída (Brown, Bligh & Garden, 2021).

Tomados em conjunto, os postulados de Hebb trouxeram o entendimento de que tanto experiência quanto exposição repetida criariam condições para uma organização estrutural e funcional do cérebro via “sincronização” das conexões sinápticas e do circuito funcional (Brown, 2020). Como mais tarde se averiguou, a plasticidade cortical revelou-se evidente ao longo da

vida, inclusive na idade adulta, tanto para a estrutura quanto para a função cerebral (Reis et al., 2009).

Foi durante a década de 1990, por meio de estudos em modelos animais sobre o desenvolvimento do Sistema Nervoso Central, que achados apontaram para a presença das sinapses sensoriais sensíveis ao uso, tal como previsto por Hebb (Sefarty, 2021). Essas sinapses, no hipocampo e no córtex cerebral, apresentavam ativação neuronal excitatória tornando o neurônio pós-sináptico mais sensível àquela estimulação por um período bastante longo, que podia se estender por horas ou dias (Sefarty, 2021). Esse processo é conhecido como a potenciação de longo prazo, fundamental para a consolidação de memória de curto prazo em memória de longo prazo; enquanto seu mecanismo oposto, i.e., a depressão de longo prazo, quando neurônios pós-sinápticos ficam mais lentos na sua resposta (Sefarty, 2021), é fundamental para o esquecimento de informações não relevantes. Operando em conjunto, ambos os processos importam para o aprendizado e a consolidação de memórias.

Crucial para o entendimento de como as habilidades cognitivas se organizam, é compreender que circuitos neurais de áreas sensoriais e motoras são formados por meio da experiência, i.e., da estimulação e interação com o ambiente e pessoas. Tais circuitos operam de modo semelhante aos mecanismos neurais de processos cognitivos superiores (Sefarty, 2021). É através das remodelações, i.e., da neuroplasticidade, que o desenvolvimento sensório-motor organiza habilidades cognitivas.

A neuroplasticidade pode ocorrer como uma resposta adaptativa ao meio - podendo ser positiva ou negativa (Vance et.al, 2012) – e, como visto, é dependente da ativação dos neurônios para trocas de informações. Isso ocorre quando o sujeito interage com o meio a partir de

estímulos sensoriais, motores, emocionais e sociais (Guerra, 2011). Mas a falta de estimulação adequada pode dificultar a organização das redes neurais, dificultando aprendizagens posteriores (Guerra, 2011).

Estudos, como o de Licznarski & Duman, (2013), demonstram que a neuroplasticidade no nível molecular implica em aumento de proteínas sinápticas e fatores tróficos do cérebro que levam à neurogênese e surgimento ou remodelação da arquitetura dendrítica no cérebro. Dados de neuroimagem identificaram elevação dos volumes de matéria cinzenta, da integridade funcional da substância branca, do fluxo sanguíneo cerebral com metabolismo da glicose e, particularmente, de maior conectividade funcional do cérebro em virtude da neuroplasticidade advinda de estimulação física, i.e., exercícios (Soares et al., 2013), por exemplo.

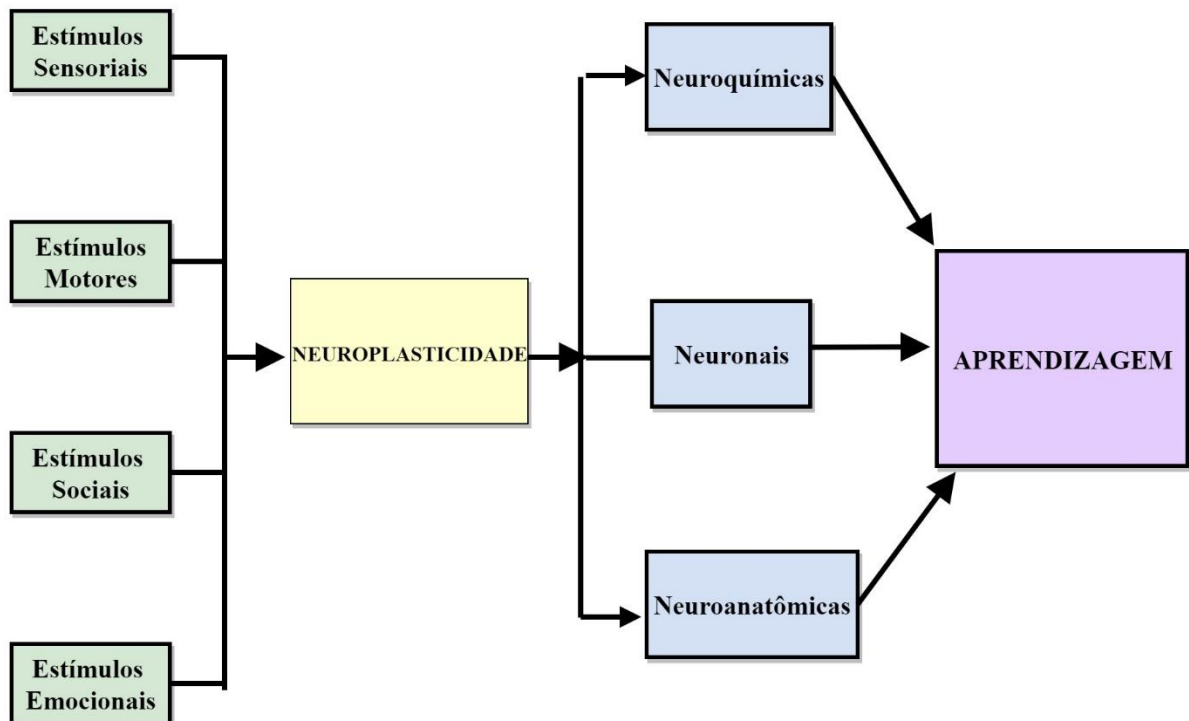
Quando exposto a estímulos, de forma inovadora e complexa, o cérebro torna-se capaz de fazer adaptações para formar conexões neurais mais fortes, melhorando a cognição e a capacidade de interação com o ambiente. Isso permite a adaptação de forma benéfica com elevação da reserva cognitiva, sendo denominada de neuroplasticidade positiva (Vance et al., 2012). Em caso oposto, quando o cérebro se encontra em interação com ambientes menos inovadores ou complexos, as adaptações são realizadas em menor escala, e as conexões neuronais - por possuírem habilidades maiores que a demanda - são diminuídas, o que pode gerar atrofia, configurando-se uma plasticidade negativa (Vance et al., 2012).

Para que a importância da neuroplasticidade fique bem evidenciada quanto à aprendizagem, importa lembrar que o cérebro muda perante a estimulação (ver Figura 3) e esta mudança antecede a mudança comportamental. Isso pode ocorrer em qualquer idade – para melhor ou para pior. Há uma variedade de fatores que podem responder pelas mudanças

cerebrais, sendo que eventos do início da vida têm maior impacto, inclusive para o vigor e a robustez com que a neuroplasticidade se verifica (Sefarty, 2021). Há também uma infinidade de experiências individuais que podem moldar a neuroplasticidade ao longo da vida (Holtmaat & Svoboda, 2009). Essa propriedade exerce, portanto, grande impacto sobre a saúde cerebral e a boa forma, para viver e aprender. Adquirimos conhecimentos por meio das mudanças propiciadas pelas neuroplasticidade ao longo do nosso desenvolvimento.

**Figura 3**

*Mecanismos envolvidos na neuroplasticidade resultando em aprendizagem.*





### *Desenvolvimento Humano*

O desenvolvimento do ser humano é um processo contínuo, que ocorre durante toda a vida, e que tem sido intensamente estudado (Fox, Levitt & Nelson III, 2010). A presença de marcos temporais, sinalizando as expectativas para as faixas etárias, principalmente nos primeiros anos da infância, também tem sido prevalente. Isso porque há uma sequência ordenada que é essencial para o adequado desenvolvimento cerebral.

O cérebro se desenvolve de forma estruturalmente complexa com uma arquitetura funcional que obedece a padrões específicos e precisos de ativação neural pré-dispostos em nossa filogênese (Dehaene-Lambert & Spelke, 2015). Sendo a aprendizagem um comportamento dependente da atividade cerebral (Guerra, 2011), temos que a aprendizagem ocorre ao longo dos estágios de desenvolvimento, em níveis com organização múltipla e hierárquica (Dehaene-Lambert & Spelke, 2015).

A partir da primeira infância, o desenvolvimento dos domínios físico, emocional, cognitivo e linguístico apresenta uma interdependência e simultaneidade. Isso aponta para uma linearidade dos estágios verificados em cada domínio, o que muitas vezes se sobrepõe aos marcos temporais para a caracterização de um desenvolvimento pleno. Importa compreender que para chorar e exprimir desconforto – uma emoção básica (Carvalho & Damásio, 2021) que caracteriza o comportamento do bebê - há que se ter um desenvolvimento mínimo da capacidade de aferição de estados corporais; de reconhecimento de um estado de desregulação da homeostasia que requer atenção; de articulação motora para a expressão vocálica que permite a comunicação externa de um estado interno que demanda auxílio.

A evolução física é a base, proporcionando o desenvolvimento dos sistemas corporais que permitirão a capacidade de explorar o mundo. Situado no mundo, o indivíduo se relacionará e

conseguirá progressivamente parear estados internos com os estímulos externos, através do desenvolvimento emocional envolvendo a expressão e posterior compreensão das emoções (Bee, 2011; Carvalho & Damásio, 2021; Papalia & Feldman, 2012). Com a demanda de atenção e a crescente criação de memórias, o desenvolvimento cognitivo refletirá a capacidade individual de utilização de recursos neurobiológicos para processar informações, raciocinar e resolver problemas (Sefarty, 2021). Para entender, interagir e participar na sociedade, a linguagem – quer verbal ou não-verbal – permitirá a esse indivíduo comunicar seu pensamento simbólico capacitando-o a ser um entre muitos, i.e., a viver em sociedade (Bee, 2011).

Na sequência de interação entre os domínios do desenvolvimento é que o ser humano adquire novas competências e habilidades por meio de contínuas, progressivas e interdependentes transformações. Importa reconhecer que a natureza, i.e, nossa dotação genética, é fator basilar para o desenvolvimento, embora as experiências – ofertadas e vivenciadas – tenham papel crucial na estruturação de sua arquitetura cerebral (Papalia & Feldman, 2012; Sefarty, 2021). E essa noção nos acompanha – na forma de teorias – há tempos.

### ***Cognição e Metacognição***

Piaget (1983) postulou que a cognição se constitui como uma adaptação biológica do ser humano, sendo o conhecimento construído à medida que as estruturas cognitivas ou substratos neurais vão sendo organizados de acordo com os estágios de desenvolvimento. Desta maneira, através de processos de assimilação (ou incorporação de novas informações) e acomodação (ou assentamento das novas informações no repertório de conhecimentos e experiências individuais), haverá ao longo do desenvolvimento a busca por um equilíbrio de conhecimentos que se apresentam em diferentes idades e estágios.

O termo cognição é, portanto, sinônimo do ato de aprender ou de adquirir conhecimento envolvendo uma força coativa, interligada e clara de vários construtos mentais, a saber: atenção, percepção, processamento (simultâneo e sucessivo), memórias de curto e longo prazo, raciocínio, visualização, planificação e resolução de problemas. Tais processos superiores decorrem das relações entre fatores hereditários, culturais e das interações sociais, sendo estas necessárias para que os processos ocorram (Vygotsky & Cole, 1978). Para Vygotsky, o processo de conhecimento se dá justamente pelas interações, que resultam no aprendizado. Ocorre, então, um processo de mediação; na cooperação dos sujeitos envolvidos, cada indivíduo elabora uma nova perspectiva de ação. Assim, os próprios pares envolvidos se tornam moduladores cognitivos que configuram a forma como cada indivíduo adquire e utiliza seu repertório de conhecimentos. Quando se adquire conhecimento sobre o próprio fenômeno cognitivo, dá-se a metacognição.

A palavra “metacognição” apareceu inicialmente no trabalho de John Flavell (1979), que lhe atribui papel importante na aquisição da linguagem – na comunicação e compreensão oral e na leitura e escrita – bem como na atenção, memória, resolução de problemas e em vários tipos de autocontrole e autoinstrução (Flavell, 1979). Metacognição pode ser entendida como a capacidade que temos de pensar sobre o pensar e considerada como a capacidade de avaliar e controlar os próprios processos mentais tendo por base a autorregulação e autoeficácia (Varshney & Barbey, 2021). Estudos, como o de Góes e Boruchovitch, (2022), apontam que estudantes autorregulados manifestam um conjunto amplo de estratégias de aprendizagem cognitivas e metacognitivas e possuem a capacidade de adaptação de metas e persistência nos esforços pessoais para atingi-las.

O processamento da metacognição está intimamente ligado às funções que permitem estabelecer e perseguir metas e motivaram investigações e intervenções da psicologia cognitiva a

fim de entender e aprimorar essa capacidade de consciência do próprio pensamento (Varshney & Barbey, 2021). De acordo com a revisão literária feita por Lai (2011), podemos observar seis categorias gerais de atividades que estimulam a metacognição: (1) conhecimento sobre si mesmo como aprendiz e os fatores que afetam a cognição; (2) consciência e gerenciamento estratégico da cognição; (3) conhecimento sobre o que e quando usar cada estratégia; (4) identificação e seleção dos processos apropriados e alocação de recursos; (5) atender e estar ciente da compreensão e do desempenho em uma tarefa; (6) avaliar os processos e produtos de sua aprendizagem, revendo e revisitando essa aprendizagem. As competências metacognitivas são parte integrante e inerente de estratégias pedagógicas atentas à contemporaneidade para uma aprendizagem efetiva em contextos educacionais, figurando entre várias das teorias de aprendizagem.

## IMPLICAÇÕES

### *Teorias de Aprendizagem*

Na busca pela explicação da dinâmica do processo de ensino e aprendizagem, as teorias de aprendizagem apresentam diferentes perspectivas em relação à evolução cognitiva do ser humano, bem como sobre as funções, relações e interações dos elementos envolvidos neste processo (Moreira, 2021). Assim temos teorias humanistas, como da inteligência emocional (Goleman, 1995) e da psicologia positiva (Seligman, 2002); as teorias comportamentais, como do condicionamento clássico (Pavlov, 1927) e do condicionamento operante (Skinner, 1953); as teorias conectivistas, como da dissonância cognitiva (Festinger, 1957) e da aprendizagem situada (Lave & Wenger, 1991); e as teorias cognitivistas, alvo do nosso recorte de aprofundamento.

As abordagens cognitivistas centram-se na busca pela compreensão de como o processamento de informação ocorre no indivíduo, além da mera resposta a estímulos (Moreira, 2021). O construtivismo assume o conhecimento como processo em construção que ocorre mediante a interação ativa entre o indivíduo e o ambiente que o cerca (Moreira, 2021; Ültanir, 2012). Ainda que as abordagens de vários construtivistas - como Sweller (1988) com a Teoria da Carga Cognitiva; Ericsson et al. (1993) com a Teoria da Expertise; Tuck (2010 com base em Koffka, 1922) com a Teoria da Gestalt; e Premack & Woodruff (1978) com a Teoria da Mente – sejam diversas, de forma geral, todos defendem que o aprendiz tem papel fundamental no próprio processo de aprendizagem, cabendo ao professor o papel de facilitador (Ültanir, 2012).

Entender o protagonismo do aprendiz sob a perspectiva da MCE significa valorizar o papel da remodelagem cerebral pelo qual o aprendiz passa ao construir sua aprendizagem com base em estímulos ofertados – ou mediados – pelo professor.

Dentre os vários teóricos construtivistas, três de destaque foram: Dewey, que via a aprendizagem como indissociável de seu valor prático para o estudante; Montessori, que defendia o direito do estudante em escolher o tema com o qual deve engajar-se; e Piaget, segundo o qual o conhecimento do estudante é construído por assimilação e acomodação e, portanto, o conteúdo a ser ensinado não pode ser simplesmente transferido de professor para estudante (Ültanir, 2012). Revisitados pela junção da neurociência às necessidades da educação (Amaral & Guerra, 2020), temos estudos (Arsalidou & Pascual-Leone, 2016; Baird et al., 2002; Fugate, Macrine & Cipriano, 2019) que se debruçaram sobre o trabalho desses teóricos reforçando suas bases filosóficas com estudos recentes de neuroimagem e neurofisiologia e ressaltando a relevância do engajamento individual para a própria aprendizagem.

Ademais, entre as principais teorias cognitivistas encontra-se a abordagem histórico-cultural proposta por Vygotsky e desenvolvida também por Luria (Vygotsky & Luria, 1996). Segundo Vygotsky e Luria (1996), a aprendizagem está diretamente relacionada ao desenvolvimento das funções psicológicas superiores, como atenção e memória. Assim, o processo de construção de conhecimentos está entrelaçado a um conjunto de sensações, percepções e representações mentais configurando processos mutáveis com base no entendimento de que o cérebro é parte de um sistema em constante interação com o meio, transformando estruturas e mecanismos.

É neste caminho que a MCE e as teorias apresentadas encontram ampla convergência. A MCE fornece uma perspectiva integrada sobre como os fenômenos neurobiológicos e psíquicos se relacionam com a aprendizagem. Isto se verifica pela maneira como a MCE considera o indivíduo juntamente com as particularidades do ambiente de aprendizagem e sua possível interferência no processo de ensino e aprendizagem (Tokuhama-Espinosa & Nouri, 2020). Assim, a MCE tem o potencial de propiciar maior profundidade de investigação e entendimento sobre os processos relacionados à visão cognitivista.

O neuroconstrutivismo, por exemplo, entende que, por meio da neuroplasticidade, as interações do estudante com o ambiente podem alterar suas estruturas neurais, gerando novos tipos de representações mentais (Westermann, Thomas & Karmiloff-Smith, 2010). E a MCE demonstra como as experiências emocionais e sociais participam desse processo de reestruturação da circuitaria neural (Tokuhama-Espinosa & Nouri, 2020). Dessa forma, a MCE reforça e lança nova perspectiva sobre o protagonismo das experiências do estudante no processo de aprendizado, ideia defendida pelas teorias de aprendizagem cognitivistas e atualmente melhor compreendidas frente a um corpo de evidências neurocientíficas (Amaral & Guerra, 2020). É por

meio das experiências - e de como são percebidas pelo indivíduo - que fatores de risco, como o estresse, podem afetar a capacidade de aprender.

### *Neurobiologia do Estresse*

O estresse é uma resposta biopsicossocial ao que nos incomoda ou ameaça. Como tal, implica em mecanismos fisiológicos e comportamentais que são deflagrados a partir de um estímulo identificado como ameaçador pelo sistema perceptual com variação individual por conta das influências ambientais, diferenças perceptuais e herança genética (Ramacciotti & Gualtieri, 2022).

As respostas ao estresse são essenciais para a sobrevivência humana (McEwen, 2008) e, dependendo da duração e grau de exposição aos agentes estressores, os processos de neurogênese e neuroplasticidade podem ser afetados (Ramacciotti & Gualtieri, 2022). Isso influenciará a capacidade atencional e a memória (Whiting et al., 2021). Desta forma, abordar o tema da neurobiologia do estresse é essencial ao discutirmos educação devido à influência que o estresse pode exercer sobre a aprendizagem.

Os mecanismos neurobiológicos que fazem a mediação da resposta ao estresse ocorrem primordialmente no eixo Simpático-Adrenal-Medular (SMA), causando um aumento de catecolaminas, como a adrenalina, e acionando o comportamento de luta ou fuga. Na sequência, é acionado o eixo Hipotálamo-Pituitária-Adrenal (HPA) que desempenha um papel fundamental na resposta ao estresse (McEwen, 2008).

Quando um indivíduo é exposto a um estímulo percebido como estressor, o hipotálamo promove a liberação de corticotropina (CRH), que estimula a glândula pituitária a liberar o hormônio adrenocorticotrófico (ACTH) que atua nas glândulas adrenais aumentando os níveis de

cortisol, um hormônio do estresse. O cortisol tem efeitos generalizados no corpo, incluindo o cérebro, podendo influenciar na aprendizagem e memória (McEwen, 2008).

Durante situações estressantes, a amígdala, envolvida no processamento emocional e na resposta ao medo e ao estresse, é ativada e pode afetar a consolidação da memória, particularmente em relação a eventos emocionalmente fortes (Sanford et al., 2022). Quando o estresse fica crônico, a função do hipocampo, crucial na formação e consolidação da memória, pode ser negativamente impactada, interferindo no processamento das memórias. Isso ocorre devido à exposição prolongada a altos níveis de cortisol, que podem danificar as células do hipocampo e reduzir a neurogênese nessa região (Podgorny & Gulyaeva, 2021).

O estresse pode ser positivo ou negativo e sua caracterização relaciona-se com a susceptibilidade do indivíduo ao estímulo estressor, podendo resultar em motivação ou desgaste (O'Connor et al., 2021) a depender da intensidade, período de exposição, e tipo de perfil de reatividade (Ramacciotti & Gualtieri, 2022). Sendo positivo, o estresse - percebido como uma experiência desafiadora, de duração limitada e possível de ser superada - pode contribuir para o aprimoramento de determinadas capacidades e habilidades (McEwen, 2008). Isso porque tem um papel fundamental no desenvolvimento de potencialidades necessárias ao indivíduo. É por meio dos mecanismos de interação da neurobiologia e do ambiente que a resposta adaptativa resiliente começa a ser moldada (McEwen, 2008).

O entendimento sobre os agentes estressores em um ambiente e o desencadeamento de reatividade ou resiliência daquele que ensina e aprende pode ser um fator de proteção decisivo para a aprendizagem. Isso porque o entendimento de como cada um percebe e responde aos estímulos que podem deflagrar a resposta ao estresse pode influenciar na capacidade de foco, atenção e acesso à memória (Ramacciotti & Gualtieri, 2022).



Importa compreender que respostas não adaptativas frente a estressores - características do estresse negativo - podem prejudicar funções motoras, mentais e cognitivas necessárias para uma aprendizagem eficaz (Whiting et al., 2021). O olhar do educador deve estar atento à própria capacidade bem como às diferenças dos alunos visando reconhecer circunstâncias que podem acarretar prejuízos nos mecanismos neurobiológicos, na neurogênese, na plasticidade sináptica e na regulação de neurotransmissores. Tudo isso importa para que a aprendizagem possa ocorrer com probabilidade de sucesso (Ramacciotti & Gualtieri, 2022). E para uma aprendizagem de sucesso, necessário se faz entender como planejamos e executamos ações.

### ***Funções Executivas***

As Funções Executivas (FEs) são um conjunto de habilidades humanas recrutadas para resolução de problemas, quer simples ou complexos (Malloy-Diniz et al. 2014) e que demandam controle cognitivo e autocontrole para a manutenção e alcance de metas (Munakata & Michaelson, 2021). São elas dependentes do córtex pré-frontal e outras regiões do cérebro e amadurecem nas primeiras duas décadas de vida, sendo possível categorizá-las entre controle inibitório, memória de trabalho e flexibilidade cognitiva (Diamond, 2013).

O controle inibitório engloba o autocontrole, a resistência às tentações e ação pensada. A memória de trabalho inclui armazenar e manipular informações mentais. A flexibilidade cognitiva envolve mudança de perspectiva, criatividade e adaptação ao inesperado na busca de diferentes maneiras para resolver problemas (Diamond, 2013). O bom desenvolvimento das funções executivas demanda treinamento, esforço e prática. Com longo tempo de amadurecimento, as funções executivas melhor se desenvolvem se treinadas, i.e., sua prática é crucial para o aperfeiçoamento (Diamond, 2013; Marques et al., 2020).

Para alcançar uma meta, seja na execução de uma tarefa ou no aprendizado de um determinado tópico, o indivíduo precisa identificar claramente o ponto onde quer chegar e traçar ações no sentido da conclusão da tarefa (Malloy-Diniz et al., 2014). Isso é essencial em qualquer processo, seja para quem ensina ou para quem aprende. Deve-se considerar a importância do foco da atenção na realização da atividade assim como a capacidade de recrutamento de memórias necessárias para seu desenvolvimento. Tais memórias ficarão armazenadas pelo tempo necessário para que se tenha acesso às informações até que seja efetivada a resolução da tarefa em execução, garantindo o amparo deste armazenamento contra distratores que possam interromper o curso da ação (Marques et al., 2020).

Planejar bem no entanto, não é garantia de execução eficaz no percurso de uma ação pois sentimentos de tristeza relacionados à depressão (Gotlib & Joormann, 2010) e solidão (Cardona & Andrés, 2023), para citar alguns exemplos, podem afetar a cognição. Isso porque esses sentimentos engajam mecanismos e estruturas corticais e subcorticais (Carvalho & Damasio, 2021) que demandam recursos do córtex pré-frontal, sede de processamento das FEs (Diamond, 2013). Logo, quando se está tomado por tais sentimentos, as FEs podem ser as primeiras a serem afetadas. Isso pode gerar crenças errôneas de deficiência onde há de fato comprometimento de processamento. Por isso, as evidências sugerem que não se pode ignorar os efeitos das questões de saúde emocional, física e social sobre a saúde cognitiva (Diamond, 2013; Mathews & MacLeod, 2005).

Cotidianamente, educadores, pais e profissionais enfrentam desafios nos processos de ensino-aprendizagem e se frustram com alguns resultados de estratégias pedagógicas e práticas educacionais (Amaral & Guerra, 2020; Guerra, 2011). Importa entender que aprendizagem envolve cognição e emoção, que, por sua vez, dependem de vários fatores. Se o cérebro do

indivíduo funciona melhor ao se sentir parte de uma comunidade, ao estar alegre e saudável (Li, Gow & Zhou, 2020), então é preciso considerar estratégias que ampliem o olhar da educação, para além do domínio cognitivo. Crianças e jovens mal alimentados ou amedrontados podem não atingir objetivos acadêmicos devido a mecanismos inibitórios e regulatórios necessários à aprendizagem que podem ficar comprometidos pela fome e insegurança, por exemplo (Cypel, 2016).

Indivíduos com alterações do neurodesenvolvimento envolvendo as FEs, tais como Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), Transtorno do Espectro Autista (TEA) e dislexia, podem apresentar prejuízos em habilidades que envolvem mudança de atenção, inibição de resposta e memória de trabalho (Dias et al, 2011). Nestes casos, dificuldades para execução de tarefas simples podem se manifestar (Malloy-Diniz et al., 2014). Tais tarefas se tornam difíceis e irão requerer estratégias individuais para que a aprendizagem ocorra (Santos et al., 2015). A apresentação e desenvolvimento de estratégias demandará recursos extensos com base em linguagem.

### ***Desenvolvimento da linguagem sob a ótica da MCE***

A relação entre mente e cérebro com educação passa pelo desenvolvimento da linguagem e tem sido objeto de intensa pesquisa e investigação (Huber et al., 2023; Goswami, 2009; Kuhl, 2011; Petitto, 2009; Ramacciotti & Eccles, 2019). Compreender como esses componentes interconectados influenciam-se mutuamente é crucial para práticas educativas eficazes.

Como vimos, a educação promotora de aprendizagens desempenha papel vital na formação do cérebro e suas conexões neurais. Estudos (Huber et al., 2023; Kuhl, 2011) têm demonstrado que as experiências de aprendizagem por meio da linguagem podem modificar a

estrutura e a função do cérebro, particularmente em regiões associadas ao processamento da linguagem, como a área de Broca (Friederici, 20203). Essas descobertas ressaltam a importância de fornecer ambientes educacionais enriquecedores que estimulem a plasticidade neural e otimizem o desenvolvimento da linguagem.

O desenvolvimento da linguagem é um aspecto fundamental da cognição humana, permitindo comunicação, interação social e desenvolvimento cognitivo. Pesquisas, como de Snowling & Hulme, 2012, sugerem que as primeiras experiências de linguagem e a exposição a ambientes linguísticos ricos afetam significativamente a aquisição da linguagem. Além disso, habilidades cognitivas como atenção, memória e funções executivas desempenham papéis essenciais neste desenvolvimento (Kuhn et al., 2014), sendo que diferentes tipos de memória dedicam-se a aspectos distintos da linguagem. Por exemplo, o modelo declarativo/procedimental postula que a memória lexical (de palavras) baseia-se na memória declarativa enquanto a memória procedimental dá suporte ao processamento gramatical (Ullman, 2004).

Programas educacionais que enfatizam ambientes ricos em linguagem, investem no aprimoramento de habilidade cognitivas, de estratégias instrucionais eficazes e promovem intervenções direcionadas podem aprimorar as habilidades linguísticas em indivíduos de todas as idades. Para isso é preciso entender as necessidades específicas do contexto e dos aprendizes (Gândara et al., 2023) e incorporar práticas inclusivas para promoção da linguagem (Van der Kleij et al., 2019).

Estudos, como o de Dehaene (2013), demonstraram que aprender a ler implica em uma reciclagem neuronal que recruta áreas cerebrais dedicadas à linguagem por meio da visão. Destarte, se faz necessário entender como a adoção de métodos de alfabetização por

conveniência ou costume pode ser prejudicial ao desenvolvimento da leitura. Para que isso seja evitado, há necessidade de averiguação e entendimento de evidências robustas que apontam para eficácia de determinadas práticas de efetiva aquisição, como, no caso do português brasileiro, a do pareamento do traçamento das letras com sua entoação (Scliar-Cabral, 2021).

No cenário brasileiro, estudos têm mostrado que um número considerável de estudantes precisa recuperar o desempenho em leitura em relação às expectativas para sua idade e nível de escolaridade (Brasil, 2023; Nicolau & Navas, 2015). A MCE destaca a importância de aspectos do processamento da linguagem - como percepção e reconhecimento da linguagem falada, representação e processamento de palavras e do discurso - para investigar aspectos mais complexos da linguagem (de Oliveira Henriques, 2018). Há uma necessidade premente de repensar práticas de ensino da leitura e da escrita e direcionar o planejamento com intervenções eficazes que contemplem aspectos e esforços de ordem transdisciplinar.

## CONCLUSÃO

Estabelecemos nesta revisão narrativa definições, escopo, princípios norteadores e campo de aplicação da ciência da MCE. Fizemos isso aprofundando o conhecimento nas bases formativas desse campo por meio do exame dos neuromitos, da neuroplasticidade, do desenvolvimento e da cognição e metacognição.

Sendo a MCE um campo dedicado ao aprimoramento dos processos de ensino e aprendizagem com epistemologia transdisciplinar, conhecer ideias basilares é ponto de partida para entender como essa ciência se relaciona com teóricos da aprendizagem. Ademais, a MCE aprofunda o entendimento de quais fatores podem afetar qualquer aprendizagem – como o faz o estresse – assim como a compreensão de como funções executivas e linguagem conjugam

esforços necessários para o entendimento ampliado de determinantes do aprender.

Por ser uma ciência nova e demandar pesquisadores e profissionais de diferentes campos do saber, é necessário paciência, rigor, disciplina e respeito para que o diálogo se estabeleça. Em tempos recentes, quando a educação enfrenta desafios inúmeros e crescentes para formar e transformar indivíduos e sociedades, precisamos congregamos conhecimentos e pesquisas a fim de que processos – desde o que vai da bancada do laboratório para o campo profissional até o que venha dos bancos escolares e da sociedade para a bancada investigativa – possam ocorrer com maior celeridade e eficácia.

## REFERÊNCIAS

Amaral, A. L. N., & Guerra, L. B. (2022). *Neurociência e educação: Olhando para o futuro da aprendizagem*. SESI/DN.

[https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer\\_public/22/e7/22e7b00d-9ff1-474a-bb53-fc8066864cca/neurociencia\\_e\\_educacao\\_pdf\\_interativo.pdf](https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/22/e7/22e7b00d-9ff1-474a-bb53-fc8066864cca/neurociencia_e_educacao_pdf_interativo.pdf)

Ansari, D., & Coch, D. (2006). Bridges over troubled waters: Education and cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(4), 146–151.

<https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.02.007>

Ansari, D., De Smedt, B., & Grabner, R. H. (2012). Neuroeducation – A critical overview of an emerging field. *Neuroethics*, 5, 105–117. <https://doi.org/10.1007/s12152-011-9119-3>

Arsalidou, M., & Pascual-Leone, J. (2016). Constructivist developmental theory is needed in developmental neuroscience. *npj Science of Learning*, 1(1), 1-9.

<https://doi.org/10.1038/npjscilearn.2016.16>

Baird, A. A., Kagan, J., Gaudette, T., Walz, K. A., Hershlag, N., & Boas, D. A. (2002). Frontal lobe activation during object permanence: Data from near-infrared spectroscopy. *NeuroImage*, 16(4), 1120-1126. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1170>

Bee, H. (2011). *A criança em desenvolvimento*. Artmed.

Brasil (2023). Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). Brasil no PIRLS 2021: Sumário Executivo. Brasília, DF: Inep.

[https://download.inep.gov.br/pirls/2021/brasil\\_sumario\\_executivo.pdf](https://download.inep.gov.br/pirls/2021/brasil_sumario_executivo.pdf)

Brown, R. E. (2020). Donald O. Hebb and the Organization of Behavior: 17 years in the writing. *Molecular Brain*, 13(1), 1-28.

Brown, R. E., Bligh, T. W., & Garden, J. F. (2021). The Hebb synapse before Hebb: theories of synaptic function in learning and memory before, with a discussion of the long-lost synaptic theory of William McDougall. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 15, 732195.

Cardona, M., & Andrés, P. (2023). Are social isolation and loneliness associated with cognitive decline in ageing?. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 15, 1075563. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.1075563>

Carvalho, G. B., & Damasio, A. (2021). Interoception and the origin of feelings: A new synthesis. *BioEssays*, 43(6), Article e2000261. <https://doi.org/10.1002/bies.202000261>

Cole, M., & Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: Development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

Cypel, S. (2016). Funções executivas: Seu processo de estruturação e participação no processo de aprendizagem. In N. T. Rotta (Coord.), *Transtornos da aprendizagem: Abordagem neurobiológica e multidisciplinar* (pp. 392-406). Artmed.

Cosenza, R. M., & Guerra, L. B. (2011). *Neurociência e educação: Como o cérebro aprende*. Artmed.

de Oliveira Henriques, A. M. R. (2018). As neurociências ao serviço da linguagem. *Linguarum Arena: Revista de Estudos em Didática de Línguas da Universidade do Porto*, 4, 39-64. ISSN 1647-8770



Dehaene, S. (2013). A aprendizagem da leitura modifica as redes corticais da visão e da linguagem verbal. *Letras De Hoje*, 48(1), 148–152. Recuperado de

<https://revistaseletronicas.pucrs.br/index.php/fale/article/view/12113>

Dehaene-Lambertz, G., & Spelke, E. S. (2015). The infancy of the human brain. *Neuron*, 88(1), 93–109. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.026>

Deolindo, C. S. (2015). Identificação de assembleias neurais em trens de spike: métricas de similaridade e métodos de classificação. Dissertação de Mestrado. Instituto Internacional de Neurociências Edmond e Lily Safra. <https://www.institutosantosdumont.org.br/wp-content/uploads/2018/08/dissertacao-mestrado-iinels-camila-deolindo.pdf>

Diamond A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>

Dias, N. M., Menezes, A., & Seabra, A. G. (2011). Alterações das funções executivas em crianças e adolescentes. *Estudos Interdisciplinares em Psicologia*, 1(1), 80–95.

<https://doi.org/10.5433/2236-6407.2010v1n1p80>

Dündar, S., & Gündüz, N. (2016). Misconceptions regarding the brain: The neuromyths of preservice teachers. *Mind, Brain, and Education*, 10(4), 212-232.

<https://doi.org/10.1111/mbe.12119>

Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100(3), 363–

406. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.100.3.363>

Farinella, M., & Ros, H. (2018). *Neurocomic*. Darkside.

Festinger, L. (1957). *A theory of cognitive dissonance*. Stanford, CA: Stanford University Press.

Figuerola, W. B., & Ribeiro, S. (2013). Sono e plasticidade neural. *Revista USP*, (98), 17-30. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i98p17-30>

Fischer, K.W. (2009). Mind, brain, and education: Building a scientific groundwork for learning and teaching. *Mind, Brain, and Education*, 3(1), 3-16. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2008.01048.x>

Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906–911. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906>

Fonseca, V. (2008). *Desenvolvimento psicomotor e aprendizagem*. Artmed.

Fox, S. E., Levitt, P., & Nelson III, C. A. (2010). How the timing and quality of early experiences influence the development of brain architecture. *Child Development*, 81(1), 28-40. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2009.01380.x>

Friederici, A. D. (2023). Evolutionary neuroanatomical expansion of Broca's region serving a human-specific function. *Trends in Neurosciences*, 46 (10), 786-796. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2023.07.004>

Fuentes, D., Malloy-Diniz, L. F., Camargo, C. H. P., & Cosenza, R. M. (Coord.). (2014). *Neuropsicologia: Teoria e prática*. (2 ed.). Artmed.

Fugate, J. M., Macrine, S. L., & Cipriano, C. (2019). The role of embodied cognition for transforming learning. *International Journal of School & Educational Psychology*, 7(4), 274-288. <https://doi.org/10.1080/21683603.2018.1443856>

Gândara, J.P., da Silveira, H.G., Sousa, H., Ramacciotti, M.C.C., Puglisi, M.L. (2022). Early Language Intervention in School Settings: What Works for Whom?. In: Alves, M.V., Ekuni, R., Hermida, M.J., Valle-Lisboa, J. (eds) *Cognitive Sciences and Education in Non-WEIRD Populations*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-06908-6\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-06908-6_18)

Gleichgerrcht, E., Lira Luttges, B., Salvarezza, F., & Campos, A. L. (2015). Educational neuromyths among teachers in Latin America. *Mind, Brain, and Education*, 9(3), 170-178. <https://doi.org/10.1111/mbe.12086>

Goleman, D.(1995). *Emotional Intelligence: Why it can matter more than IQ*. London: Bloomsbury.

Goswami, U. (2009). Mind, brain, and literacy: Biomarkers as usable knowledge for education. *Mind, Brain, and Education*, 3(3), 176-184. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2009.01068.x>

Gotlib, I. H., & Joormann, J. (2010). Cognition and depression: current status and future directions. *Annual review of clinical psychology*, 6, 285–312. <https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.121208.131305>

Guerra, L. B. (2011). O diálogo entre a neurociência e a educação: da euforia aos desafios e possibilidades. *Revista Interlocução*, 4(4), 3-12. [https://www2.icb.ufmg.br/neuroeduca/arquivo/texto\\_teste.pdf](https://www2.icb.ufmg.br/neuroeduca/arquivo/texto_teste.pdf)

Hobbiss, M. H., Massonnié, J., Tokuhama-Espinosa, T., Gittner, A., de Sousa Lemos, M. A., Tovazzi, A., Hindley, C., Baker, S., Sumeracki, M. A., Wassenaar, T., & Gous, I. (2019). “UNIFIED”: Bridging the researcher–practitioner divide in mind, brain, and education. *Mind, Brain, and Education*, 13(4), 298-312. <https://doi.org/10.1111/mbe.12223>

Holtmaat, A., & Svoboda, K. (2009). Experience-dependent structural synaptic plasticity in the mammalian brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(9), 647-658. <https://doi.org/10.1038/nrn2699>

Howard-Jones, P. (2014). Neuroscience and education: Myths and messages. *Nature Reviews Neuroscience*, 15, 817–824. <https://doi.org/10.1038/nrn3817>

Huber, E., Corrigan, N. M., Yarnykh, V. L., Ramírez, N. F., & Kuhl, P. K. (2023). Language experience during infancy predicts white matter myelination at age 2 years. *Journal of Neuroscience*, 43(9), 1590-1599. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1043-22.2023>

Kays, J. L., Hurley, R. A., & Taber, K. H. (2012). The dynamic brain: Neuroplasticity and mental health. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 24(2), 118–124. <https://doi.org/10.1176/appi.neuropsych.24.1.118>

Koffka, K. (1922). Perception: an introduction to the Gestalt-Theorie. *Psychological Bulletin*, 19(10), 531–585. <https://doi.org/10.1037/h0072422>

Kuhl, P. K. (2011). Early language learning and literacy: Neuroscience implications for education. *Mind, brain, and education*, 5(3), 128-142. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2011.01121.x>

Kuhn, L. J., Willoughby, M. T., Wilbourn, M. P., Vernon-Feagans, L., Blair, C. B., & Family Life Project Key Investigators (2014). Early communicative gestures prospectively predict language development and executive function in early childhood. *Child development, 85*(5), 1898–1914. <https://doi.org/10.1111/cdev.12249>

Lai, E. R. (2011). Metacognition: A literature review. *Pearson Research Report, 24-40*. [https://www.academia.edu/64842513/Metacognition\\_A\\_Literature\\_Review\\_Research\\_Report](https://www.academia.edu/64842513/Metacognition_A_Literature_Review_Research_Report)

Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge University Press.

Li, L., Gow, A. D. I., & Zhou, J. (2020). The role of positive emotions in education: A neuroscience perspective. *Mind, Brain, and Education, 14*(3), 220-234. <https://doi.org/10.1111/mbe.12244>

Licznerski, P., & Duman, R. S. (2013). Remodeling of axo-spinous synapses in the pathophysiology and treatment of depression. *Neuroscience, 251*, 33–50. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2012.09.057>

Malloy-Diniz, L. F., et al. (2014). Neuropsicologia das Funções Executivas e da Atenção. In D. Fuentes (Ed.), *Neuropsicologia, Teoria e Prática* (2nd ed., pp. 116-138). Artmed.

Marques, A. P. P., Amaral, A. V. M., & Pantano, T. (2020). *Treino de funções executivas e aprendizagem* (2nd ed). Manole.

Marques, J. B. V., & Freitas, D. D. (2018). Método DELPHI: caracterização e potencialidades na pesquisa em Educação. *Pro-Posições, 29*, 389-415. <https://doi.org/10.1590/1980-6248-2015-0140>

Mathews, A., & MacLeod, C. (2005). Cognitive vulnerability to emotional disorders. *Annu. Rev. Clin. Psychol.*, *1*, 167-195.

<https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.1.102803.143916>

McEwen B. S. (2008). Central effects of stress hormones in health and disease: Understanding the protective and damaging effects of stress and stress mediators. *European Journal of Pharmacology*, *583*(2-3), 174–185. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2007.11.071>

Moreira, M. A. (2021). *Teorias de Aprendizagem*. Editora LTC.

Munakata, Y., & Michaelson, L. E. (2021). Executive functions in social context: Implications for conceptualizing, measuring, and supporting developmental trajectories. *Annual Review of Developmental Psychology*, *3*, 139-163. <https://doi.org/10.1146/annurev-devpsych-121318-085005>

Nicolau, C. C., & Navas, A. L. G. P. (2015). Avaliação das habilidades preditoras do sucesso de leitura em crianças de 1º e 2º anos do ensino fundamental. *Revista CEFAC*, *17*, 917-926. <https://doi.org/10.1590/1982-021620157214>

Nouri, A., Tokuhama-Espinosa, T. N., & Borja, C. (2023). *Crossing mind, brain, and education boundaries*. Cambridge Scholars Publishing.

O'Connor, D. B., Thayer, J. F., & Vedhara, K. (2021). Stress and health: A review of psychobiological processes. *Annual Review of Psychology*, *72*, 663–688.

<https://doi.org/10.1146/annurev-psych-062520-122331>

OECD. (2002). *Understanding the brain: Towards a new learning science*. Organisation for Economic Co-operation and Development. <https://doi.org/10.1787/9789264174986-en>

Papalia, D. E., & Feldman, R. D. (2013). *Desenvolvimento humano*. (12ª ed.). AMGH Editora.

Pavlov P. I. (1927). Conditioned reflexes: An investigation of the physiological activity of the cerebral cortex. *Annals of neurosciences*, 17(3), 136–141. <https://doi.org/10.5214/ans.0972-7531.1017309>

Petitto, L. A. (2009). New discoveries from the bilingual brain and mind across the life span: Implications for education. *Mind, Brain, and Education*, 3(4), 185-197. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2009.01069.x>

Piaget, J. (1983). *A Epistemologia genética; Sabedoria e ilusões da filosofia; Problemas de psicologia genética*. (2nd ed.). Abril Cultural.

Podgorny, O. V., & Gulyaeva, N. V. (2020). Glucocorticoid-mediated mechanisms of hippocampal damage: Contribution of subgranular neurogenesis. *Journal of Neurochemistry*, 157(3), 370– 392. <https://doi.org/10.1111/jnc.15265>

Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and Brain Sciences*, 1(4), 515-526. <https://doi:10.1017/S0140525X00076512>

Ramacciotti, M. C. C. & Gualtieri, M. (2022). Resposta ao Estresse e Funções Executivas: Um Olhar para o Início da Aprendizagem Escolar. *Revista Neurociências e Comportamento*, 1 (1): 40-50. Recuperado de

<https://sites.usp.br/revistaneurocienciasecomportamento/wp-content/uploads/sites/995/2023/07/Volume-1.pdf>

Ramacciotti, M., & Eccles, C. (2019). Language, learning, and development: perspectives on language acquisition and brain function. *Revista EntreLinguas*, 104-120.

<https://doi.org/10.29051/el.v5i1.12789>

Reis, A., Petersson, K. M., & Faísca, L. (2010). Neuroplasticidade: Os efeitos de aprendizagens específicas no cérebro humano. In C. Nunes, & S. N. Jesus (Eds.), *Temas actuais em psicologia* (pp. 11-26). Faro.

Sanford, L. D., Adkins, A. M., & Wellman, L. L. (2022). The amygdala as a mediator of sleep and emotion in normal and disordered states. *Journal of Integrative Neuroscience*, 21(6), 163. <https://doi.org/10.31083/j.jin2106163>

Santos, F. H. (2015). Funções Executivas. In F. H. Santos (Ed.), *Neuropsicologia hoje* (2nd ed., pp. 68-75). Artmed.

Schwartz, M. (2015), Mind, brain and education: A decade of evolution. *Mind, Brain, and Education*, 9, 64-71. <https://doi.org/10.1111/mbe.12074>

Scliar-Cabral, L. (2021). Novos olhares para o processamento da leitura e da alfabetização. *Cadernos de Linguística*, 2(1), e333-e333.

Sejnowski, T. J. (2003). The once and future Hebb synapse. *Canadian Psychology / Psychologie canadienne*, 44(1), 17–20. <https://doi.org/10.1037/h0085814>



Seligman, M. E. (2002). Positive psychology, positive prevention, and positive therapy. *Handbook of positive psychology*, 2(2002), 3-12.

Sigman, M., Peña, M., Goldin, A. P., & Ribeiro, S. (2014). Neuroscience and education: prime time to build the bridge. *Nature neuroscience*, 17(4), 497-502.

<https://doi.org/10.1038/nn.3672>

Skinner, B. F. (1953). *Science and human behaviour*. New York: Macmillan.

Snowling, M. J., & Hulme, C. (2012). Interventions for children's language and literacy difficulties. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 47(1), 27-34.

<https://doi.org/10.1111/j.1460-6984.2011.00081.x>

Soares, R., Diniz, B., & Cattuzzo, M. (2013). Associação entre atividade física, aptidão física e desempenho cognitivo em idosos. *Motricidade*, 9(2), 85-94.

[https://doi.org/10.6063/motricidade.9\(2\).2670](https://doi.org/10.6063/motricidade.9(2).2670)

Solari, E. J., Terry, N. P., Gaab, N., Hogan, T. P., Nelson, N. J., Pentimonti, J. M., ... & Sayko, S. (2020). Translational science: A road map for the science of reading. *Reading Research Quarterly*, 55, S347-S360. <https://doi.org/10.1002/rrq.357>

Stafford-Brizard, K. B., Cantor, P., & Rose, L. T. (2017). Building the bridge between science and practice: Essential characteristics of a translational framework. *Mind, Brain, and Education*, 11(4), 155-165. <https://doi.org/10.1111/mbe.12153>

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285. [https://doi.org/10.1016/0364-0213\(88\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0364-0213(88)90023-7)

Tokuhama-Espinosa, T. (2011). *Mind brain and education science: A comprehensive guide to the new brain-based teaching*. W. W. Norton.

Tokuhama -Espinosa, T. (2017, setembro). *International Delphi panel on Mind Brain, and Education science*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14259.22560>

Tokuhama-Espinosa, T. (2018). *Neuromyths: Debunking false ideas about the brain*. W.W. Norton & Company.

Tokuhama-Espinosa, T., & Nouri, A. (2020). Evaluating what mind, brain, and education has taught us about teaching and learning. *ACCESS: Contemporary Issues in Education*, 40(1), 63-71. <https://doi.org/10.46786/ac20.1386>

Torrijos-Muelas, M., González-Víllora, S., & Bodoque-Osma, A. R. (2021). The persistence of neuromyths in the educational settings: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 11, Article 591923. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.591923>

Tovazzi, A., Giovannini, S., & Basso, D. (2020). A new method for evaluating knowledge, beliefs, and neuromyths about the mind and brain among Italian teachers. *Mind, Brain, and Education*, 14(2), 187-198. <https://doi.org/10.1111/mbe.12249>

Tuck, M. (2010). Gestalt principles applied in design. [Website].*Six Revisions*, 17, 2010.

Ullman, M. T. (2004). Contributions of memory circuits to language: The declarative/procedural model. *Cognition*, 92(1-2), 231-270.  
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.10.008>

Ültanir, E. (2012). An epistemological glance at the constructivist approach: Constructivist learning in Dewey, Piaget, and Montessori. *International Journal of Instruction*, 5(2), 195-212. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED533786.pdf>

Van der Kleij, S. W., Segers, E., Groen, M. A., & Verhoeven, L. (2019). Post-treatment reading development in children with dyslexia: The challenge remains. *Annals of Dyslexia*, 69, 279-296. <https://doi.org/10.1007/s11881-019-00186-6>

Vance, D. E., Kaur, J., Fazeli, P. L., Talley, M. H., Yuen, H. K., Kitchin, B., & Lin, F. (2012). Neuroplasticity and successful cognitive aging: A brief overview for nursing. *Journal of Neuroscience Nursing*, 44(4), 218–227. <https://doi.org/10.1097/JNN.0b013e3182527571>

Varshney, L. R., & Barbey, A. K. (2021). Beyond IQ: The importance of metacognition for the promotion of global wellbeing. *Journal of Intelligence*, 9(4), 54. <http://dx.doi.org/10.3390/jintelligence9040054>

Vygotsky, L. S., & Cole, M. (1978). *Mind in Society: Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.

Vygotsky, L. S., & Luria, A. R. (1996). *Estudos sobre a história do comportamento: Símios, homem primitivo e criança*. Artes Médicas.

Westermann, G., Thomas, M. S. C., & Karmiloff-Smith, A. (2010). Neuroconstructivism. *The Wiley-Blackwell Handbook of Cognitive Development* (2nd ed., pp. 723–748). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781444325485.ch28>

Whiting, S. B., Wass, S. V., Green, S., & Thomas, M. S. C. (2021). Stress and learning in pupils: Neuroscience evidence and its relevance for teachers. *Mind, brain and education*, 15(2), 177–188. <https://doi.org/10.1111/mbe.12282>