SciELO Preprints

Estado da publicação: O preprint foi publicado em outro meio.
DOI do preprint publicado: https://doi.org/10.1590/0102-4698-58050

RELAÇÕES ENTRE A TEORIA DE PIAGET E A NEUROCIÊNCIA COGNITIVA NO ENSINO DE FÍSICA

Priscila dos Santos Caetano de Freitas, Carlos Eduardo Batista de Sousa

https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

Submetido em: 2022-08-02
Postado em: 2022-08-12 (versão 1)
(AAAA-MM-DD)

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

ARTIGO

RELAÇÕES ENTRE A TEORIA DE PIAGET E A NEUROCIÊNCIA COGNITIVA NO ENSINO DE FÍSICA

PRISCILA DOS SANTOS CAETANO DE FREITAS [1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3596-6257
CARLOS EDUARDO BATISTA DE SOUSA [2]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5248-7733

RESUMO: A teoria da aprendizagem cognitiva proposta pelo psicólogo educacional Jean Piaget é amplamente citada por educadores e pesquisadores para a legitimação de suas práticas educativas e embasamento de seus estudos científicos. A temática em questão tem grande relevância no meio educacional devido às suas contribuições para o processo pedagógico. Em vista disso, o presente trabalho visa relacionar as teorias acerca do desenvolvimento cognitivo nas perspectivas de Piaget e da neurociência cognitiva, a fim de identificar as suas contribuições para o ensino de física por meio do cotejamento entre textos da literatura disponível acerca destas teorias. Potencialidades estas já abordadas por algumas pesquisas que aplicaram os saberes da neurociência para a adoção de estratégias de ensino inovadoras no componente curricular física. Além disso, há grande estímulo de sua interseção por diretrizes curriculares relacionadas à formação inicial de professores da educação básica a fim de compreender como os alunos aprendem. Desse modo, para que se obtenha êxito em sua implementação, é urgente a inserção de disciplinas nos currículos dos cursos de formação de professores que conectem a psicologia cognitiva à neurociência cognitiva, aplicando os avanços neurocientíficos nas escolas de modo a produzir melhorias no ensino de física.

Palavras-chave: ensino de física, formação de professores, neurociência cognitiva, teoria de Piaget.

THE CONNECTION BETWEEN PIAGET'S THEORY AND COGNITIVE NEUROSCIENCE IN PHYSICS TEACHING

ABSTRACT: The theory of cognitive learning proposed by educational psychologist Jean Piaget is widely cited by educators and researchers to legitimize their educational practices and support their scientific studies. The theme in question has great relevance in the educational environment due to its contributions to the pedagogical process. In view of this, the present work aims to relate the theories about cognitive development from the perspectives of Piaget and cognitive neuroscience, in order to identify their contributions to the teaching of physics through the comparison between texts of the available literature on these theories. These potentialities have already been addressed by some research that applied neuroscience knowledge to the adoption of innovative teaching strategies in the physical curricular component. In addition, there is great encouragement from their intersection with curricular guidelines related to the initial training of basic education teachers in order to understand how students learn. Thus, in order to be successful in its implementation, it is urgent to include subjects in the curricula of teacher training courses that connect cognitive psychology to cognitive neuroscience, applying neuroscientific advances in schools in order to produce improvements in physics teaching.

Keywords: Physics teaching, teacher training, cognitive neuroscience, Piaget's Theory.

[1] Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.<202011220011@pq.uenf.br>.
[2] Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.<cdesousa@uenf.br>.

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

RELACIONES ENTRE LA TEORÍA DE PIAGET Y LA NEUROCIENCIA COGNITIVA EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

RESUMEN: La teoría del aprendizaje cognitivo propuesta por el psicólogo educativo Jean Piaget es ampliamente citada por educadores e investigadores para legitimar sus prácticas educativas y sustentar sus estudios científicos. El tema en cuestión tiene gran relevancia en el ámbito educativo por sus aportes al proceso pedagógico. Ante ello, el presente trabajo tiene como objetivo relacionar las teorías sobre el desarrollo cognitivo en las perspectivas de Piaget y la neurociencia cognitiva, con el fin de identificar sus aportes a la enseñanza de la física a través de la comparación entre textos de la literatura disponible sobre estas teorías. Estas potencialidades ya han sido abordadas por algunas investigaciones que aplicaron conocimientos de neurociencias a la adopción de estrategias didácticas innovadoras en el componente curricular físico. Además, existe un gran estímulo desde su intersección con lineamientos curriculares relacionados con la formación inicial de docentes de educación básica para comprender cómo aprenden los estudiantes. Por lo tanto, para tener éxito en su implementación, es urgente incluir en los planes de estudio de los cursos de formación docente materias que conecten la psicología cognitiva con la neurociencia cognitiva, aplicando los avances neurocientíficos en las escuelas para producir mejoras en la enseñanza de la física.

Palabras clave: enseñanza de la física, formación de professores, neurociencia cognitiva, la teoría de Piaget.

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

INTRODUÇÃO

As teorias da aprendizagem, com destaque para as teorias de Piaget, Vygotsky e Ausubel, são modelos que investigam o processo de construção do conhecimento sistematizado, sendo constituídas de conceitos, princípios e visões de mundo subjacentes a elas (MOREIRA, 1999).

Sob esta perspectiva, definem-se conceitos como signos que apontam periodicidades e que estão significativamente relacionados a princípios e teorias regidas por sistemas de valores ou filosofias. Estas estão relacionadas às teorias da aprendizagem que são classificadas pelos teóricos do assunto comumente em comportamentalista, humanista e cognitivista (Ibid.). Este estudo ater-se-á somente à teoria cognitivista, mais especificamente, à teoria da aprendizagem de Jean Piaget.

As teorias cognitivistas priorizam a cognição, em como o aprendiz pensa e processa o conhecimento, ocupando-se com a atribuição de significados, a compreensão, o armazenamento e o uso da informação envolvida na cognição (POZO, 1998).

"Para os cognitivistas, o foco deveria estar nas chamadas variáveis interveniente[3]" (MOREIRA, 1999). Estas estão entre os estímulos e as respostas: nos processos mentais superiores, como a percepção, resolução de problemas e tomada de decisões (Ibid.).

A teoria da aprendizagem do psicólogo educacional, biólogo e epistemólogo Jean Piaget tem grande destaque no cenário educacional, sendo amplamente citada por pesquisadores e educadores para justificarem suas práticas escolares (ROSAT et al., 2010; OBANA, 2015; SILVA, 2019). O teórico dedicou parte de seu trabalho à discussão do desenvolvimento cognitivo humano mediante investigação experimental com o intuito de compreender as etapas da aquisição de conhecimento desde o aprendizado mais simples ao mais complexo (PIAGET, 1964; PIAGET, 1970; PIAGET, 1977; PIAGET, 1999).

Sob este aspecto, sua teoria apresenta as fases de maturação das estruturas do cérebro relacionadas à cognição, assunto de interesse da neurociência cognitiva. A neurociência cognitiva emerge no final da década de 1970, tendo como foco de pesquisas a compreensão dos mecanismos neurais relacionados à cognição a partir de suas bases biológicas e de suas implicações no comportamento humano (GAZZANIGA; IVRY; MANGUN, 2006).

Com o desenvolvimento e o aprimoramento das técnicas da física de imageamento do cérebro, a neurociência despontou como importante campo científico na década de 90 devido às explicações, com fundamentações teóricas e experimentais, a respeito da estrutura, maturação e desenvolvimento cerebral (KANDEL et al., 2014).

Diante disso, ela atraiu investimentos financeiros de modo a fomentar pesquisas na área tais como a Iniciativa de Pesquisa Cerebral por meio do Avanço da Neurotecnologia Inovadora (BRAIN)[4] e o Projeto Conectoma Humano (HCP)[5], influenciando em estudos científicos na área educacional no que se refere aos processos de ensino e aprendizagem (MASON, 2009; BRUNETTI, 2016; VAN ESSEN, GLASSER, 2016; CARVALHO, VILLAS BOAS, 2018).

---

[3] Na década de 30, o cientista Edward Tolman introduziu o termo para se referir aos eventos mediacionais, processos internos que conectam os estímulos às respostas para a análise comportamental (POZO, 1998).

[4] Projeto colaborativo que surgiu em 2013 nos EUA com o objetivo de mapear a atividade de cada neurônio do cérebro humano para obter avanços em pesquisas sobre doenças neurológicas, tais como Alzheimer, Parkinson e paralisia cerebral (BRUNETTI, 2016).

[5] O projeto iniciou-se em 2009 com o intuito de realizar o mapeamento completo do cérebro, entendendo suas funções e conexões a partir de mapas de conexões neurais, produzindo um sistema de dados que facilitou o progresso em pesquisas de distúrbios cerebrais, como autismo e doença de Alzheimer (VAN ESSEN; GLASSER, 2016).

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

Outrossim, o interesse em saber como o cérebro seleciona o que atrai a sua atenção e em como ocorre o processo de aprendizagem têm caráter imprescindível para o desenvolvimento de pesquisas em educação e o aperfeiçoamento de estratégias de ensino (COSENZA; GUERRA, 2011).

A ciência do cérebro também é evidenciada em documentos curriculares, como na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que incentivam não somente a utilização de estratégias de ensino que consideram o funcionamento do cérebro, mas também seu uso como conteúdo a partir de suas propriedades fisiológicas, em uma visão integradora e interdisciplinar, abordagem que implica diretamente na formação de professores de ciências naturais (BRASIL, 2018).

Em vista disso, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), por meio de um relatório acerca do entendimento cerebral (OCDE, 2002), reforça o diálogo entre as áreas da neurociência e educação, sobretudo no intercâmbio de informações entre elas.

Há, ainda, o destaque para a linguagem utilizada, objetivando uma transposição didática eficiente com o compartilhamento de dados neurocientíficos relacionados ao aprender, baseados em evidências científicas, de modo a combater informações errôneas associadas à ciência do cérebro. Contudo, há críticas quanto à unificação entre a neurociência e a educação (BRUER, 2002; CARVALHO, VILLAS BOAS, 2018).

O filósofo americano John Bruer (2002) destaca que, para ocorrer o sucesso dessa imbricação, é necessário o diálogo com a psicologia cognitiva e, que apesar de alguns cursos de formação de professores trazerem elementos da neurociência em sua ementa, ainda há deficiência no conteúdo devido à dificuldade de transposição didática e falta de articulação com o conhecimento existente e consolidado dos estudos de psicologia.

Carvalho e Villas Boas (2018) põem em relevo a importância da alteração das políticas educacionais, assim como a promoção de mudanças curriculares e na formação de professores, visto que há a necessidade de buscar "métodos educacionais que levem em consideração os mecanismos neurais de aprendizagem" (CARVALHO; VILLAS BOAS, 2018, p. 236).

No relatório proposto pela OCDE, há o incentivo da criação de um "currículo global mínimo essencial", o que permite a flexibilização para a aprendizagem de outras temáticas que o estudante possa se interessar (Ibid.). Nesta mesma perspectiva, a BNCC surge a fim de orientar acerca das habilidades e conhecimentos essenciais aos educandos para uma boa formação cidadã.

Diante disto, o presente estudo tem como objetivo geral relacionar a teoria de Piaget com a neurociência cognitiva para que sejam evidenciadas as suas contribuições e implicações no ensino de física, o que reflete na formação de professores, no currículo escolar e na adoção de estratégias que promovam a aprendizagem.

A TEORIA DA EQUILIBRAÇÃO DE PIAGET

Jean William Piaget (1896-1980) foi um biólogo, psicólogo e pioneiro do enfoque construtivista do desenvolvimento cognitivo humano com base nos processos de maturação do sistema nervoso central, na influência do ambiente e da sociedade e na evolução gradativa dos estados de equilíbrio (PIAGET, 1977). Sua teoria está firmada no progresso das estruturas cognitivas por processos como a assimilação, a acomodação e a equilibração.

Para o teórico, as relações entre aprendizagem e desenvolvimento são codependentes, não bastando repetir comportamentos. "Conhecer um objeto, conhecer um acontecimento, não é simplesmente olhar para ele e fazer uma cópia ou imagem mental dele. [...] é agir sobre ele. [..] é modificar, transformar o objeto e entender o processo dessa transformação" (PIAGET, 1964, p. 177).

Da perspectiva biológica, o processo de construção e invenção do conhecimento ocorre sob influência de fatores do ambiente físico (experiência externa dos objetos), o inato e as transmissões sociais (PIAGET, 1977). O primeiro refere-se ao conhecimento adquirido a partir das interações do sujeito com

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

o objeto do conhecimento. O segundo está associado ao conhecimento oriundo de uma programação hereditária, relacionado aos automatismos orgânicos do indivíduo. Já o último é relativo ao papel da educação e ao desenvolvimento da linguagem, fatores sociais associados à assimilação (Ibid.). Além disso, há estudos epigenéticos que corroboram com os estudos de Piaget (WEAVER et al., 2004; MEANEY, SZYF, 2005; MCGOWAN et al., 2009; MEANEY, 2010).

Piaget identificou os quatro períodos gerais de desenvolvimento cognitivo relacionando-os com a capacidade de aprender do indivíduo e a sua estrutura neurobiológica, sendo descritos em seguida (PIAGET, 1977; MOREIRA, 2009, PANTONI; ZORZI, 2009):

a) Sensório-motor: desenvolvimento desde o nascimento até os dois anos de idade em que as ações não são coordenadas e não há diferenciação do corpo da criança com o meio que a rodeia. Por meio dos sentidos, a criança responde aos estímulos do ambiente.

b) Pré-operatório: inicia-se nos dois anos de idade até os sete anos, aproximadamente. Nesse período, há o desenvolvimento da linguagem e de ações mais coordenadas. Vale salientar que a criança tem a sua atenção voltada para objetos que a são atraente, desenvolvendo a capacidade de formar esquemas simbólicos.

c) Operatório-concreto: ocorre uma descentralização gradual do sujeito, podendo iniciar-se a partir dos sete anos até os aproximadamente 11 anos de idade. Há o aumento do pensamento lógico, caracterizado por operações reversíveis.

d) Operatório formal: dos 11 anos em diante. Sua principal característica é o raciocínio em conjunto de hipóteses verbais em que o sujeito é capaz de operar construtos mentais e raciocínio matemático.

Este progresso cognitivo é um processo de equilibração e a "aprendizagem produzir-se-ia quando ocorresse um desequilíbrio ou um conflito cognitivo" (POZO, 1998, p. 178), por meio de dois processos complementares: a assimilação e a acomodação. Sua teoria possui um papel tanto estático quanto dinâmico devido à tendência ao equilíbrio entre os processos de assimilação e de acomodação.

A assimilação consiste num processo não passivo, em que a estrutura cognitiva do indivíduo necessita estar bem desenvolvida, possibilitando a absorção dos dados externos (PIAGET, 1977), ou seja, é o processo "pelo qual o sujeito interpreta a informação que provém do meio, em função de seus esquemas ou estruturas conceituais disponíveis" (POZO, 1998, p. 178). Como exemplo, tem-se a categorização conceitual.

Entretanto, só a assimilação não é suficiente para fundar o conhecimento. Pois cada indivíduo assimila o que ocorre na natureza segundo às suas visões de mundo e aos conhecimentos de seus próprios conceitos, o que resultaria em constantes equívocos.

Por essa razão, a acomodação complementa a assimilação. E é definida como "qualquer modificação de um esquema assimilador ou de uma estrutura, modificação causada pelos elementos que assimilam" (PIAGET, 1970, p. 19). Um exemplo de acomodação é a aquisição de novos conceitos pelos adultos a partir da modificação de um conceito prévio.

É importante frisar que a incorporação de um novo conceito pode modificar todo o conhecimento precedente, já que a acomodação produz uma reinterpretação dos conhecimentos anteriores em função de novos esquemas construídos. O mesmo acontece com os conhecimentos novos: "podem consistir em um saber isolado, integrar-se em estruturas de conhecimento já existentes, modificando-as levemente, ou reestruturar por completo os conhecimentos anteriores" (POZO, 1998, p. 178).

O vínculo fundamental entre os dois processos é o equilíbrio crescente entre ambos. Portanto, a mudança cognitiva ocorre a partir do desequilíbrio entre a assimilação e a acomodação.

Para superar o desequilíbrio é necessária a tomada de decisão que ocorre a partir da interação "entre o conjunto de esquemas de assimilação e a realidade assimilada" (Ibid., p. 182). Essa interação complexa deve-se às respostas chamadas adaptativas, as quais produzem acomodação e facilitam a superação do conflito entre os esquemas e os objetos e podem ser de três tipos: resposta do tipo alfa, resposta beta e resposta gama.

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

A resposta alfa está relacionada a não aceitação da resposta, não modificando o sistema de conhecimento. A resposta beta é quando há integração do elemento perturbador à estrutura organizada e a resposta gama provoca mudanças no sistema de conhecimentos, permitindo o acesso aos níveis superiores de equilíbrio (PIAGET, 1977).

Com a reestruturação, torna-se viável a tomada de consciência em que o aprendiz compreende o problema, modificando e reconhecendo seu próprio conhecimento a partir dos erros e acertos (Ibid.). Para alcançar a verdadeira reestruturação, "o sujeito deve superar desequilíbrios de diversas naturezas" (POZO, 1998, p. 186), seja empírico ou conceitual.

Pozo (1998) faz algumas críticas bem fundamentadas à teoria piagetiana. Como em relação aos problemas teóricos desse modelo de equilibração (possibilidade de aprendizagem associativa) e ao fato de a aprendizagem, segundo Piaget, substituir o desenvolvimento (Ibid.).

Destaca que no estágio das operações concretas, tanto a linguagem quanto os princípios de causalidade são adquiridos pelas crianças independentemente de serem ou não treinadas a isso, o que difere da aquisição do conhecimento científico, que se constitui como não necessário, adquirido de forma intencional por meio da instrução (Ibid., p. 189).

Segundo Pozo (1998), a teoria piagetiana deveria explicar o aparecimento das "estruturas gerais do conhecimento que possuam um caráter necessário ou universal" (Ibid.). Seu problema está na compreensão de como ocorrem as estruturas cognitivas, já que, para Piaget, cada indivíduo constrói o seu conhecimento, o que é paradoxal, visto que as pessoas constroem, de forma objetiva, o mesmo conhecimento, ainda que os processos cognitivos para isso sejam diferentes.

Ao negar a aprendizagem cumulativa específica, a teoria incorre em um paradoxo da aprendizagem, em que, conforme Pozo, as concepções errôneas são resistentes ao desequilíbrio provocado pela reestruturação dos conhecimentos específicos e essa reestruturação pode apoiar-se na associação (Ibid.).

Ressalta-se, ainda, a importância da interação social e da instrução na aprendizagem de conceitos, fatores estes que não são valorizados por Piaget. Ele apenas reduz a aprendizagem ao desenvolvimento, o que minimiza o grau de relevância tanto das aprendizagens associativas quanto dos processos de instrução.

ORGANOGÊNESE DO SISTEMA NERVOSO E SUA MATURAÇÃO: DIÁLOGO NECESSÁRIO COM A TEORIA DE PIAGET

No período embrionário, em relação às células nervosas, ocorre a expressão genética de neurônios, sua diferenciação, o deslocamento para locais específicos do embrião e a interconexão com outras células periféricas ou à distância. Esse último processo tem início no período embrionário e é influenciado por fatores ambientais, finalizando-se na fase pós-embrionária (PANTONI; ZORZI, 2009).

A ideia de o desenvolvimento intelectual acompanhar o desenvolvimento do corpo vai ao encontro com a teoria da aprendizagem de Piaget, o qual realizou estudos empíricos, influência de sua formação como biólogo, principalmente no que diz respeito à interação com o ambiente e à existência de estruturas operacionais que são desenvolvidas a partir de estágios, considerando a atuação do sujeito sobre o objeto de estudo no processo de aquisição de conhecimento e fatores como a maturação biológica, o papel da experiência, a transmissão social e a equilibração (PIAGET, 1977).

No tocante ao sistema nervoso, o córtex cerebral é constituído por dois hemisférios: o direito e o esquerdo, que estão interligados pelo corpo caloso (Figura 1). Estes se dividem em quatro lobos: frontal, parietal, temporal e occipital (PANTONI; ZORZI, 2009).

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

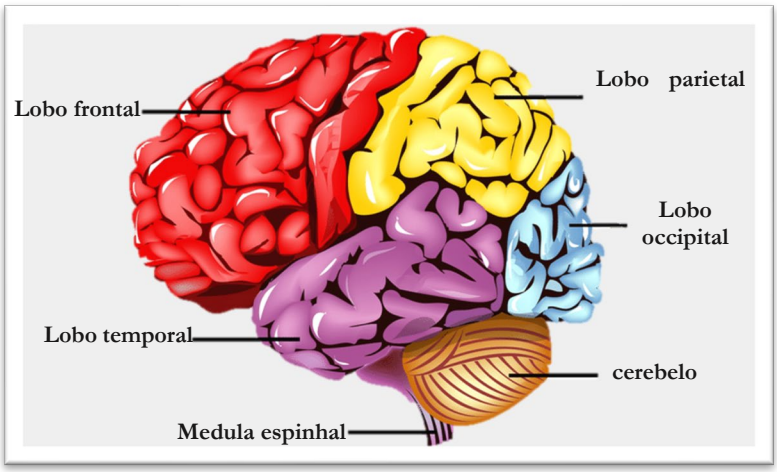

Figura 1: Divisões do cérebro humano (visão lateral). Fonte: Adaptado de Monteiro (2016).

O lobo frontal está associado aos movimentos corporais voluntários, à emoção, à elaboração do pensamento, à linguagem e às habilidades cognitivas, enquanto o parietal está relacionado à lógica matemática e à integração de informações sensoriais (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2017).

Já o lobo temporal tem relação com o mecanismo da audição, com a compreensão da linguagem, a codificação da memória e, também, com o aprendizado. Por último, o lobo occipital possui relação com o processo da visão, incluindo fatores como cor, forma e movimento (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2017). É importante frisar que se trata de regiões integradas, ou seja, uma depende da outra para desempenhar as suas funções.

É no córtex cerebral que ocorre o processamento de informações mais complexas mediante a chegada de impulsos elétricos para posterior interpretação. Por esta razão, tal estrutura está relacionada ao desenvolvimento das funções nervosas superiores (PANTONI; ZORZI, 2009).

Os neurônios (Figura 2), células nervosas especializadas, se comunicam por meio de impulsos elétricos que são transmitidos a células excitáveis mediante seus prolongamentos: axônios e dendritos (Ibid.).

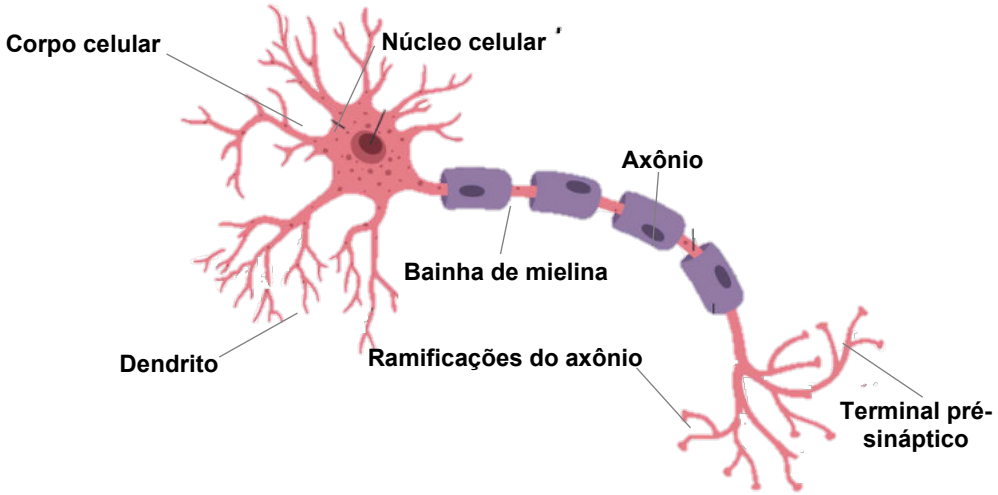

Figura 2: Estrutura do neurônio. Fonte: Adaptado de <https://cutt.ly/7GfiLBo> e Kandel e colaboradores (2011, p. 20).

Cada neurônio pode realizar entre 3 a 150.000 conexões e é na faixa etária dos dois anos em que ocorre o pico (Figura 3), devido à produção de mielina, substância que envolve o neurônio e está relacionada com o aumento de velocidade de transmissão de informações, sendo interrompida aos 30

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

anos de idade. O período entre o sétimo mês de gestação e os dois anos de idade corresponde ao mais alto nível de sinaptogênese (Ibid.).

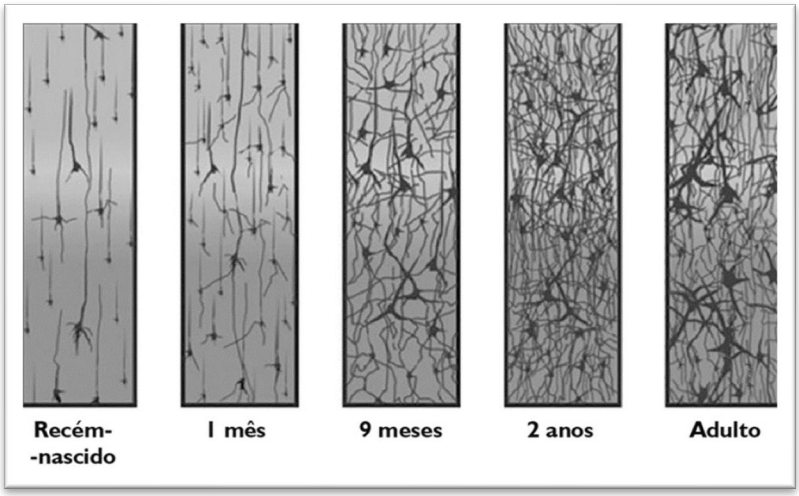

Figura 3: Conexões neurais ao longo do desenvolvimento humano. Fonte: Eagleman (2017, p. 11).

A sinaptogênese é o mecanismo pelo qual as células nervosas formam sinapses, i.e., "zonas ativas de contato entre uma terminação nervosa e outra célula nervosa, ou uma célula muscular ou ainda uma célula glandular" (BRANDAO, 2004, p. 28) por meio da combinação de marcadores moleculares[6].

Nas regiões de sinapse, há vesículas sinápticas que se rompem com o estímulo do sinal elétrico, liberando neurotransmissores na fenda sináptica, onde ocorre a transformação de estímulo elétrico em químico (Figura 4). Após o término das junções sinápticas, elas podem ser remodeladas na fase adulta por serem estruturas dinâmicas (Ibid.).

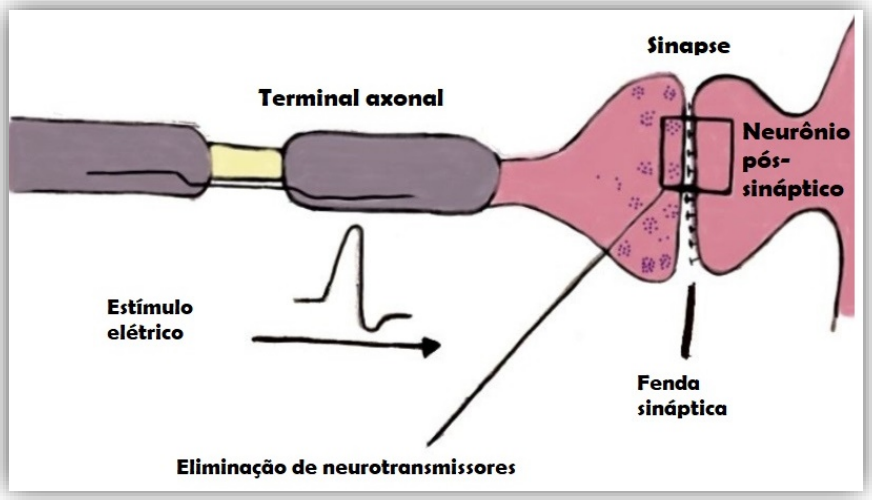

Figura 4: Transformação do impulso elétrico em químico. Fonte: Autoria própria, adaptado de Pantoni e Zorzi (2009, p. 14).

As sinapses podem ser classificadas em elétricas, responsáveis pela transmissão da informação por meio de impulsos elétricos e, em sua maioria, em sinapses químicas. Estas ocorrem na presença de um mediador: os neurotransmissores ou neuromoduladores (Ibid.).

Os neurotransmissores, em sua maioria, são aminoácidos, aminas ou peptídeos. De acordo com o princípio de Dale, cada neurônio tem um neurotransmissor correspondente. Entretanto, há neurônios que liberam mais de um neurotransmissor, esses transmissores que saem pelo mesmo terminal

[6] Define-se marcador molecular como qualquer fenótipo molecular proveniente de um gene expresso ou de um segmento particular do DNA (FERREIRA; GRATTAPAGLIA, 1998).

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

nervoso são chamados de cotransmissores, como o ácido gama-aminobutírico (GABA) e a glicina (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2017).

A neurociência cognitiva corrobora com a teoria piagetiana no que se refere ao desenvolvimento das células nervosas em um indivíduo, visto que, em seu nascimento, ele ainda não possui as condições necessárias para o pleno funcionamento neuronal, o que implica na necessidade de estímulos ambientais adequados e a mielinização das fibras nervosas (PIAGET, 1999; BEAR, CONNORS, PARADISO, 2017).

> É necessário que em cada estágio, o indivíduo receba as estimulações e o tipo de ensino compatíveis com seu potencial cerebral. Temos então, a partir de um certo estágio de desenvolvimento, o aumento da importância do fator ambiental na expressão da maturação do sistema nervoso, o que é fundamental na puberdade e na adolescência. A experiência e o aprendizado passarão a desempenhar um papel fundamental para a integração das regiões cerebrais e mesmo para promover alterações estruturais celulares. Nesse estágio, a plasticidade assume o sentido e garante a especialização crescente (PANTONI; ZORZI, 2009, p. 46).

A experiência é fundamental no desenvolvimento cognitivo. Contudo, não representa simplesmente uma cópia do mundo externo, mas o conhecimento está associado à interação entre assimilação e acomodação para o equilíbrio entre o sujeito e os objetos frutos do conhecimento, com papel de destaque para o inato no desenvolvimento cognitivo. Já no "domínio de níveis superiores, representativos e especialmente as estruturas cognitivas operacionais, essas estruturas não são inatas" (PIAGET. 1977, p. 7, tradução da autora).

No nível sensório-motor, é possível observar o papel central das transmissões hereditárias (inato), visto que a mielinização no trato piramidal[7] resulta na coordenação existente entre a apreensão e a visão, o que sugere ser proveniente da programação hereditária (PIAGET, 1977).

Por ser um ser social, quando o homem não está exposto a um ambiente adequado, o seu cérebro molda-se às particularidades do ambiente e não se desenvolve normalmente. Um estudo realizado por pesquisadores da escola de medicina da Universidade Estadual de Wayne comprovou a influência do abandono na infância por tempo prolongado e a sua relação com danos neurológicos em crianças (CHUGANI et al., 2001).

O estudo foi realizado com dez crianças adotadas de faixa etária média de nove anos que vieram de orfanatos estatais da Romênia, frutos de políticas públicas e sociais do governo na década de 1980, e que sofreram privações físicas e emocionais nestes ambientes. Os pesquisadores constataram mudanças de curto e longo prazo nas funções cerebrais, em que as crianças apresentaram déficits cognitivos, sociais e comportamentais (Ibid.).

A ciência do cérebro revela que o comportamento humano é produto da aprendizagem, o que valida a teoria da equilibração de Jean Piaget, em que há uma forte relação entre o meio e o desenvolvimento cognitivo. Esses conhecimentos podem contribuir na reflexão e adoção de práticas pedagógicas mais adequadas ao desenvolvimento humano que possibilitarão uma melhor formação cidadã como sujeitos críticos, ativos e autônomos.

A IMPORTÂNCIA DO DESENVOLVIMENTO DAS FUNÇÕES EXECUTIVAS SUPERIORES PARA A COGNIÇÃO

As funções executivas podem ser definidas como "um mecanismo de controle cognitivo que direciona e coordena o comportamento humano de maneira adaptativa, permitindo mudanças rápidas e flexíveis ante as novas exigências do ambiente" (SALLES; HAASE; MOLLOY-DINIZ, 2016, p. 26).

Desse modo, há uma relação entre os estudos clínicos de Piaget sobre a epistemologia genética e a neurociência, com destaque para: a influência do ambiente no desenvolvimento cognitivo, a capacidade do cérebro em sofrer modificações em sua estrutura no processo de aquisição de conhecimento e a ontogênese das funções cognitivas.

---

[7] Estrutura composta por axônios, em geral, motores, em que suas fibras saem do córtex cerebral até a medula espinhal, sendo responsáveis pela motricidade (ZEMLIM, 2002).

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

"Vale salientar que a estrutura e a arquitetura cerebral sofrem mudanças em decorrência da neuroplasticidade, sendo as sinapses neurais os pontos de liberação de neurotransmissores, que possibilitam a comunicação entre os neurônios" (DAMACENO JÚNIOR; ROMEU, 2021, p. 3).

A plasticidade neural constitui na capacidade de adaptação e modificação do cérebro mediante experiências e memórias ao longo do desenvolvimento de um indivíduo, aprendizados e lesões neste órgão. Classifica-se em estrutural (configuração sináptica) quando as experiências modificam a sua estrutura física e, em funcional (modificação do comportamento), quando as funções cerebrais são alteradas de áreas afetadas para as não danificadas (SALES, 2009).

Nos recém nascidos, ela ocorre em maior proporção devido à não especialização dos dois hemisférios do cérebro. Essa especialização ocorre, em média, entre cinco a dez anos de idade (SALLES; HAASE; MOLLOY-DINIZ, 2016). Na fase dos dois anos de idade é observado um pico das conexões neurais, pois é nessa fase que há a produção de mielina, substância que envolve os neurônios e aumenta a velocidade de transmissão de informações (Ibid.).

Diversos autores ao longo do século XX (GOLDSTEIN, SCHEERER, 1941; LURIA, 1968; CRONE, 2009) têm demonstrado evidências de que a atividade do córtex pré-frontal está diretamente vinculada às funções cognitivas complexas, juntamente com outras regiões encefálicas, como: o tálamo e o cerebelo (SALLES; HAASE; MOLLOY-DINIZ, 2016).

As funções executivas desenvolvem-se de forma não linear, resultado da maturação prolongada do córtex pré-frontal, a qual aprimora-se "sequencialmente ao longo dos anos: entre o nascimento e os 2 anos de idade, dos 7 aos 9 e um salto no fim da adolescência, entre 16 e 19 anos de idade" (Ibid.).

O desenvolvimento das funções executivas de modo adequado influencia no desenvolvimento de habilidades cognitivas e socioafetivas no indivíduo ao longo de sua vida. Salles, Haase e Molloy-Diniz (2016) relatam acerca de um estudo realizado por Moffit e colaboradores (2011) que

> mostrou que medidas de controle cognitivo relatadas entre os 3 e os 11 anos de idade foram preditoras de saúde física, dependência de substâncias, status socioeconômico e probabilidade de condenação penal em adultos com 32 anos de idade. Dessa forma, a identificação de déficits executivos ainda na idade pré-escolar é útil para a estruturação de programas de intervenção dessas funções (SALLES; HAASE; MOLLOY-DINIZ, 2016).

Apesar de Piaget não utilizar o termo funções executivas[8], ele foi um dos grandes estudiosos do desenvolvimento cognitivo, associando-o a habilidades cognitivas primordiais para a aprendizagem. A neurociência considera a linguagem e a aprendizagem, funções extremamente elaboradas, como "processamentos cognitivos resultantes de processos cognitivos primários como: sensação, percepção, atenção e memória (PANTONI; ZORZI, 2009, p. 19).

A compreensão das funções cognitivas, tais como: controle atencional e inibitório, a memória de trabalho e a flexibilidade cognitiva, foi possível mediante o uso de técnicas da física para a varredura cerebral, tendo como desdobramento a descoberta de que blocos diferentes do cérebro agem em conjunto para o desempenho de tarefas cognitivas específicas, funcionando como uma rede neural interligada (GAZZANIGA; YVRI; MANGUN, 2006; LENT, 2010; KANDEL et al., 2014; SALLES; HAASE, MOLLOY-DINIZ, 2016).

Os sinais recebidos pelo cérebro mediante entrada sensorial possuem aspectos que são focalizados, o que caracteriza a atenção, a qual é definida como um

> processo neural que se expressa no comportamento dos indivíduos e é observada pela capacidade de filtrar informações em diferentes pontos do processo perceptivo. A atenção faz com que haja a percepção de alguns estímulos e a negligência de outros dentro do processamento cognitivo (PANTONI; ZORZI, 2009, p. 27).

---

[8] O termo foi incorporado pela neuropsicóloga Muriel Lezak em 1982, a qual obteve destaque na pesquisa, avaliação e reabilitação de lesões cerebrais (FISCARELLI, 2019).

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

O processo atencional (Figura 5) pode ser originado de modo automático ou voluntário. A primeira refere-se a estímulos intensos que se destacam em um contexto ou a estímulos significativos, com ausência de consideração cognitiva. Já a atenção voluntária está relacionada a aspectos fisiológicos, como a fome ou a motivações sociais, tal como buscas na internet, sendo a "atenção direcionada pelo encéfalo de modo deliberado para algum objeto ou lugar, o que funciona como um objetivo comportamental" (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2017, p. 724).

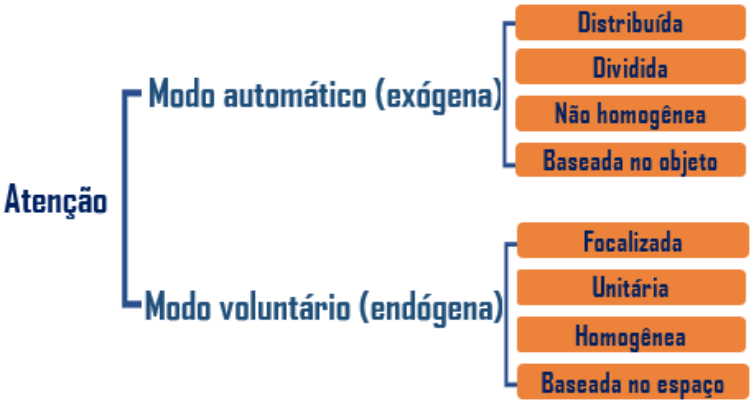

Figura 5: Tipos de processos atencionais. Fonte: Autoria própria, adaptado de Bear, Connors e Paradiso (2017).

Além disso, para o estabelecimento da função atenção, diversas áreas do encéfalo, como o córtex pré-frontal, o lobo parietal posterior e a área pré-motora, são acionadas, ocasionando o aumento de impulsos nervosos. Desse modo, a avaliação da atenção pode ser realizada por meio de exames de ressonância magnética funcional, assim como de testes de performance contínua, escuta dicótica, testes atencionais, entre outros (Ibid.).

Os estímulos do ambiente passam por um filtro atencional determinado a partir da ativação do córtex pré-frontal anterior. É ele que determina o que terá acesso aos sistemas corticais de processamento, principalmente os estímulos inesperados e incongruentes, sendo foco da atenção. Atenção e memória estão vinculadas e fazem parte do processo de aprendizagem (Ibid).

A fim de criar estratégias de ensino e potencializar a aprendizagem dos alunos, faz-se necessário que os professores compreendam os mecanismos moleculares presentes no processo de armazenamento de informações na memória, assim como avaliar os melhores estímulos para atrair atenção.

Na aprendizagem cognitiva, o conceito está relacionado à aquisição de informações, à construção de novos significados e à revisão de modelos mentais (OLIVEIRA, 1990). O conhecimento neurocientífico revela que quando o homem é exposto a uma nova experiência, sofrerá um novo estímulo que desencadeará em alterações nas estruturas cerebrais (Figura 6), podendo ocorrer um rearranjo da rede de neurônios ou o reforço de sinapses, acarretando na conexão da informação nova com as redes pré-existentes (PANTONI; ZORZI, 2009; LENT, 2010; KANDEL et al., 2014).

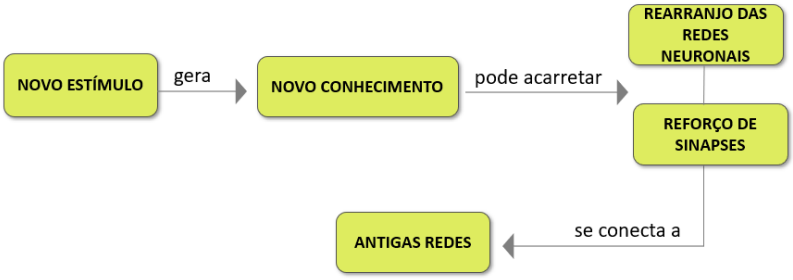

Figura 6: Relação de novo estímulo a experiências anteriores para a aprendizagem. Fonte: Autoria própria, adaptado de Pantoni e Zorzi (2009).

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

A partir desse processo, pode-se estabelecer uma relação entre a neurociência cognitiva, a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e a teoria de Piaget. A primeira teoria da aprendizagem estabelece relações entre o conteúdo a ser estudado e o conhecimento preexistente na estrutura cognitiva do aprendiz (AUSUBEL, 2000) e a segunda atribui a consolidação de um novo conhecimento ao desequilíbrio dos conceitos já existentes e a sua posterior reorganização, ou seja, a ocorrência da equilibração entre as estruturas mentais (PIAGET, 1999).

Neste contexto, essas teorias podem ser validadas por aspectos da neurociência cognitiva, como a atenção, a emoção e a memória, visto que há influência da intensidade dos estímulos nos receptores sensoriais de acordo com a associação a experiências anteriores.

O aprendizado e a memória constituem "adaptações da circuitaria encefálica ao ambiente ao longo de toda a vida" (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2017, p. 824). Compreender suas relações é essencial para o processo de aquisição de conhecimento, ou seja, para a ocorrência da aprendizagem, visto que a memória corresponde à "retenção da informação aprendida" (Ibid.). Estas informações podem ser armazenadas de forma isolada (dados aleatórios), relacional e integrada, sendo esta última correspondente à aprendizagem, pois atribui significados.

O processo de fixação é dependente de fatores como a nutrição, o sono, os conhecimentos prévios, o interesse e a capacidade de manter a atenção. Já a retenção depende da repetição, do uso de estímulos e da interação com as memórias pré-armazenadas pelo indivíduo. A reprodução ou resgate de informações é característica do processo de evocação (PANTONI; ZORZI, 2009).

Pantoni e Zorzi (2009) definem a memória como

> Atividade eletrofisiológica que possui a função de permitir o registro, manutenção e evocação de fatos já acontecidos. É modulada por fenômenos psíquicos como: consciência, atenção e concentração, interesse, emoção, sensopercepção, repetição e associação dos estímulos a serem recebidos (PANTONI; ZORZI, 2009, p. 30).

A respeito dos tipos de memória, são divididos em: memórias declarativas e memórias não declarativas (Figura 7). A primeira caracteriza-se pelo armazenamento e significação de informações de modo mais fácil, relacionadas a fatos e eventos, os quais serão esquecidos em um determinado período de tempo (curto prazo ou longo prazo), já as memórias não declarativas exigem repetição e prática durante um espaço temporal mais extenso e são menos prováveis de serem esquecidas (LENT, 2010; KANDEL, 2014; BEAR; CONNORS; PARADISO, 2017).

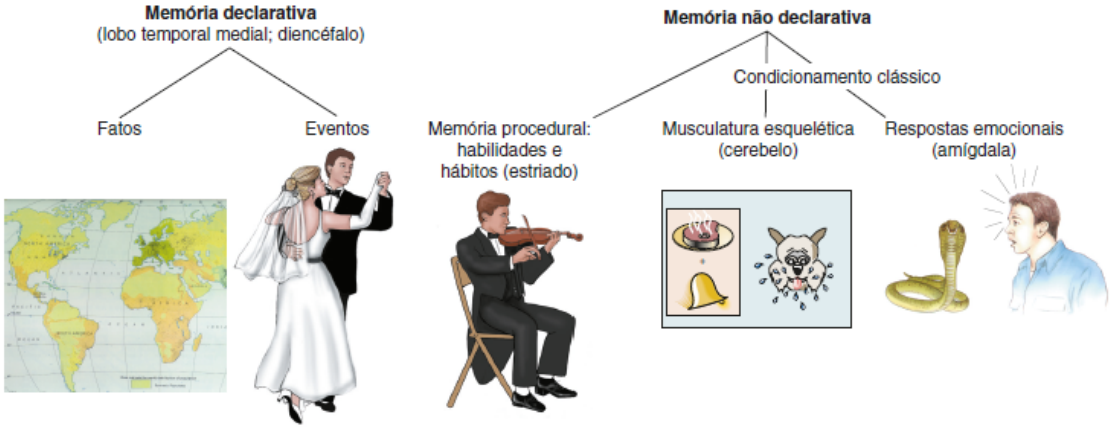

Figura 7: Tipos de memória. Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2017, p. 825).

Ausubel (2000) destaca que, tanto para a aprendizagem por memorização quanto para a aprendizagem significativa, a reprodução do material retido sofre interferência da atitude do sujeito diante das situações de aprendizagem e das tendências culturais. Desse modo, a exposição a interferências anteriores, assim como a ancoragem de novas informações presentes em materiais potencialmente

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

significativos com elementos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz são essenciais para evitar o esquecimento.

As memórias de curto e de longo prazo são interdependentes e é por meio do reforço que ocorre a consolidação de memórias (Figura 8) e a alteração das sinapses. "O hipocampo é a principal estrutura responsável pela organização e passagem da informação da memória operacional para as memórias de longo-prazo" (PANTONI; ZORZI, 2009, p. 20), o que demanda maior tempo para que elas sejam armazenadas no córtex (GARRETT; HOUGH, 2018).

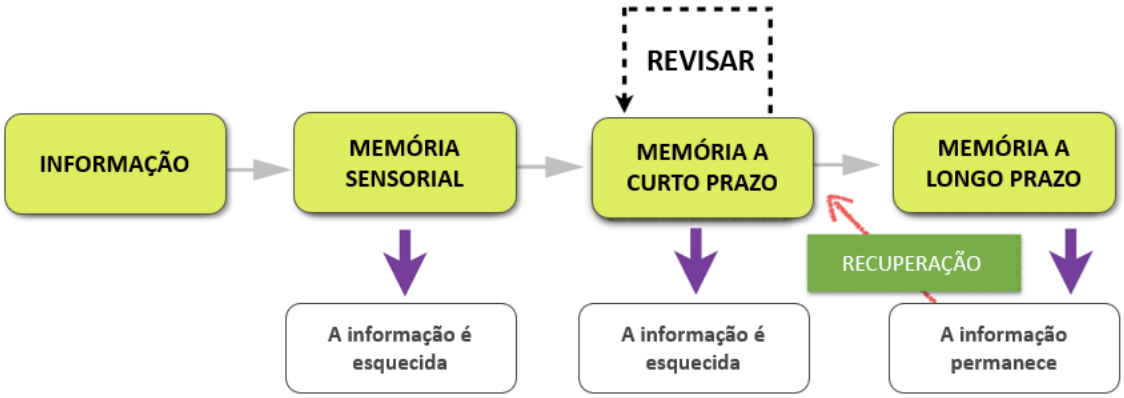

Figura 8: Consolidação de memórias. Fonte: Autoria própria, adaptado de Bear, Connors e Paradiso (2017).

Na tentativa de recuperação da memória, há a ativação do córtex pré-frontal e quando este processo é bem sucedido, ocorre a ativação do hipocampo, que retém as informações temporariamente (Ibid.).

O sono tem papel de destaque para a consolidação da nova informação com a memória a longo prazo. Estudos (FERNANDES, 2006; DANG-VU et al., 2010) com as técnicas de neuroimagem de eletroencefalografia (EEG) e Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET) durante o sono revelaram que, no decorrer de seus estágios, há aumento na síntese de proteínas, ocorrência de modificações sinápticas e a consolidação de memórias, além da verificação de que o hipocampo ativa as mesmas áreas corticais presentes na aprendizagem diurna (GARRETT; HOUGH, 2018).

Dados empíricos indicam a interferência entre o neocórtex e o hipocampo igualmente na formação da aprendizagem e da memória (KANDEL et al., 2014; DUTTA, 2021). "A área pré-frontal também está ativa durante o aprendizado e recuperação e direciona a estratégia de busca necessária para a recuperação" (GARRETT; HOUGH, 2018, posição 10.777). Ao falar de memória, é extremamente relevante associá-la às emoções.

Alguns estudos recentes da neurociência apontam para a relação entre memória, emoções e aprendizagem (LABAR; CABEZA, 2006; IMMORDINO-YANG; DAMASIO, 2007; IMMORDINO-YANG, 2011). O que a neurociência afetiva revela é que a mente sofre influência da interdependência entre o corpo e o cérebro, os quais estão relacionados com a aprendizagem (IMMORDINO-YANG; DAMASIO, 2007). O sistema límbico (Figura 9) está associado diretamente à emoção e à regulação do sistema nervoso autônomo (LENT, 2010; KANDEL et al., 2014).

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

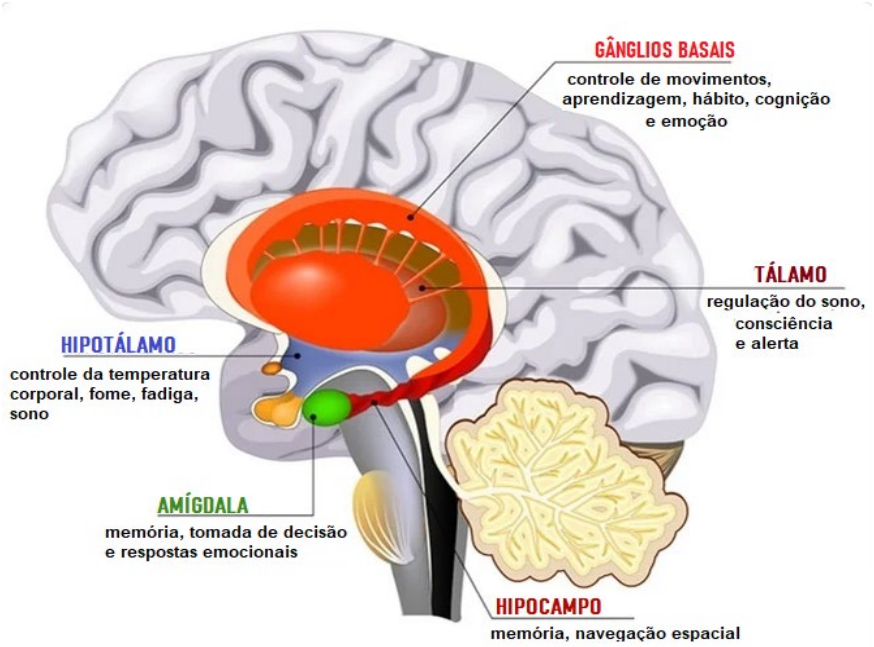

Figura 9: Sistema límbico por meio de seção transversal do cérebro humano. Fonte: Adaptado de <https://www.news-medical.net/health/Hippocampus-Functions.aspx>. 2019.

Embora não haja um consenso entre os estudiosos quanto às estruturas nervosas que formam esse sistema, o modelo mais usual compreende a amígdala como uma de suas estruturas cerebrais responsável pela consolidação e recuperação de memórias emocionais e o armazenamento delas no cerebelo, no neocórtex sensorial e no lobo temporal central (DUTTA, 2021).

Os seres humanos são seres sociais. As emoções, pensamentos e ações sociais são construídos biologicamente, "mas culturalmente moldados; eles refletem nossa propensão neuropsicológica para internalizar as ações dos outros, entretanto, são interpretadas à luz de nossas próprias emoções sociais, experiências profissionais e cognitivas" (IMMORDINO-YANG, 2011, p. 100, tradução da autora).

Na resolução de problemas, o aluno está sujeito a um julgamento de valor tanto social quanto emocional, seja de caráter explícito ou implícito. A emoção desempenha um papel primordial nos estágios que envolvem a resolução de problemas, permitindo a análise emocional das etapas cognitivas, "ajudando o aluno a avaliar, de forma consciente ou inconsciente, quais conhecimentos e habilidades são provavelmente relevantes e quais levarão a uma solução correta, com base em seu aprendizado anterior" (Ibid.).

Desse modo, as emoções funcionam como recrutadoras das redes cerebrais necessárias para darem suporte ao desenvolvimento de habilidades fundamentais para a resolução de problemas, associando-os a experiências preexistentes (KANDEL et al., 2014).

Neste aspecto, a teoria da aprendizagem de Piaget se aproxima da neurociência social, pois a cognição e afeto são componentes indissociáveis e influenciam na formação do pensamento, assim como nas ações humanas, as quais estão relacionadas à tomada de decisões e ao conhecimento construído pelo aluno com relevância para o seu meio social.

Para Piaget (1977), as funções cognitivas possuem a afetividade como energética das condutas humanas, em que o afeto é um aliado para a ocorrência de aprendizagem, visto que

> vida afetiva e vida cognitiva são inseparáveis, embora distintas. E são inseparáveis porque todo intercâmbio com o meio pressupõe ao mesmo tempo estruturação e valorização. Assim é que não se poderia raciocinar, inclusive em matemática, sem vivenciar certos sentimentos, e que, por outro lado existem afeições sem um mínimo de compreensão (PIAGET, 1977, p. 16).

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

Desse modo, as evidências neurocientíficas suscitam a necessidade de uma nova teoria educacional que viabilize a associação entre a mente e o corpo, com ênfase na relação da neurociência afetiva e social com a aprendizagem e que possa dar suporte às filosofias educacionais pré-concebidas, tornando tangível o sucesso da neuroeducação.

DESDOBRAMENTOS DA NEUROCIÊNCIA COGNITIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA

O Conselho Nacional de Educação (CNE) elaborou e aprovou no ano de 2019 a Resolução CNE/CP nº 2/2019, a qual aponta as novas Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial em nível superior de Professores para a Educação Básica em conjunto com a Base Nacional Comum para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica (BNC-Formação).

A Resolução CNE/CP nº 2/2019 está atrelada à BNCC, de modo que o docente é incentivado a aplicar as habilidades previstas na base curricular, priorizando um percurso único de formação, ao invés da flexibilidade necessária para a criação e execução de projetos pedagógicos diferenciados (FELIPE, 2020).

A respeito das competências específicas da dimensão do conhecimento profissional, destacam-se os itens dois e três da resolução: "demonstrar conhecimento sobre os estudantes e como eles aprendem" e "reconhecer os contextos de vida dos estudantes" (BRASIL, 2019, p. 2). Estas competências relacionam-se com a cognição, assunto de interesse da neurociência e da educação, o que corrobora para a afirmativa de inserção do conhecimento neurocientífico nos cursos de formação inicial de professores de ciências.

As diretrizes orientam o professor a "compreender como se processa o pleno desenvolvimento da pessoa e a aprendizagem em cada etapa e faixa etária, valendo-se de evidências científicas" (BRASIL, 2019, p. 15), o que vai ao encontro com a teoria cognitiva da aprendizagem de Piaget no que diz respeito ao desenvolvimento cognitivo humano por estágios e ao incentivo de adoção de uma abordagem construtivista, centrada no aluno, também ratificados pela neurociência cognitiva.

Há, ainda, o estímulo ao desenvolvimento de habilidades de níveis cognitivos superiores por meio da adoção de estratégias de ensino diferenciadas associadas à tecnologia para promover aprendizagens significativas e propiciar um ensino democrático, favorecendo a aprendizagem de acordo com as individualidades de cada aluno e com as suas necessidades socioeducativas (Ibid.).

O documento (BRASIL, 2019) apresenta os fundamentos pedagógicos que regem os cursos de formação, embasados na BNCC, destacando-se:

> II - o compromisso com as metodologias inovadoras e com outras dinâmicas formativas que propiciem ao futuro professor aprendizagens significativas e contextualizadas em uma abordagem didático-metodológica alinhada com a BNCC, visando ao desenvolvimento da autonomia, da capacidade de resolução de problemas, dos processos investigativos e criativos, do exercício do trabalho coletivo e interdisciplinar, da análise dos desafios da vida cotidiana e em sociedade e das possibilidades de suas soluções práticas;
> III - a conexão entre o ensino e a pesquisa com centralidade no processo de ensino e aprendizagem, uma vez que ensinar requer, tanto dispor de conhecimentos e mobilizá-los para a ação, como compreender o processo de construção do conhecimento;
> IV - emprego pedagógico das inovações e linguagens digitais como recurso para o desenvolvimento, pelos professores em formação, de competências sintonizadas com as previstas na BNCC e com o mundo contemporâneo (BRASIL, 2019, p. 5).

Estes fundamentos podem ser amparados pelo conhecimento das bases neurobiológicas empreendidas na aquisição de conhecimento. Por essa razão, é de grande relevância sua implementação no currículo dos cursos de formação de professores, contribuindo para o combate a informações pseudocientíficas a respeito da ciência do cérebro.

A BNC-Formação (BRASIL, 2019) trata de algumas competências gerais aos docentes que envolvem a pesquisa, investigação e análise crítica associadas ao uso de tecnologia em suas práticas

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

pedagógicas de maneira a potencializar a aprendizagem, utilizando linguagem diversificada, tais como a visual, corporal e digital para a sua expressão.

Além disso, há o incentivo ao desenvolvimento de habilidades socioemocionais nos alunos, com destaque para a autocrítica, o autocuidado e o autoconhecimento e, ainda, o estímulo pessoal e coletivo à autonomia, tomada de decisão e defesa do respeito à diversidade de cosmovisões e concepções pedagógicas (BRASIL, 2019).

O relatório da Comissão Internacional sobre Educação para o séc. XXI para a UNESCO (1998) apresenta os quatro pilares da educação: aprender a conhecer, aprender a fazer, aprender a viver juntos e aprender a ser (UNESCO, 1998).

O primeiro pilar valoriza fundamentos que perpassam a aprendizagem a partir do exercício da atenção, da memória e do pensamento. O segundo pilar corresponde à aquisição de competências necessárias para a atuação na sociedade de forma coletiva. Aprender a viver juntos é o terceiro pilar, incentivando, na área educacional, a cooperação entre alunos em um contexto igualitário com o intuito de reduzir preconceitos, tensões e conflitos entre membros de grupos diferentes, de modo a promover o conhecimento da diversidade humana. O último pilar refere-se ao desenvolvimento pessoal pleno, ou seja, todo "ser humano deve ser preparado [...] para elaborar pensamentos autônomos e críticos e para formular os seus próprios juízos de valor, de modo a poder decidir, por si mesmo, como agir nas diferentes circunstâncias da vida" (UNESCO, 1998, p. 99).

O mesmo relatório enfatiza a importância da formação inicial e continuada de professores direcionada para a pesquisa, com destaque para a iniciação nas novas tecnologias da informação e comunicação e questiona o que ensinar e como ensinar, indo ao encontro com a competência da BNC-Formação: aprender como os alunos aprendem.

A concretização da aproximação entre neurocientistas e educadores para a compreensão do funcionamento do cérebro na ocorrência da aprendizagem é iminente. Países como Alemanha, China e Inglaterra já fazem uso dessa abordagem, assim também como há o estímulo da Organização Econômica Europeia (OCDE) em promover a sua relevância e aplicabilidade, além de encorajar "os países desenvolvidos à inclinação do equilíbrio da pesquisa neurocientífica cognitiva, a favor do atendimento às demandas da educação para o desenvolvimento do ensino e da aprendizagem no mundo atual" (PUEBLA; TALMA, 2011, p. 383, tradução da autora).

Sob este aspecto, Susac e colaboradores (2017) realizaram uma pesquisa sobre o uso de representação gráfica na interpretação de dados experimentais com o objetivo de uma melhor compreensão de medições e incertezas com alunos das pós-graduações do Departamento de Física da Universidade de Zagreb, na Croácia.

No estudo comparativo, foi constatado que o grupo submetido a representações gráficas obteve maior desempenho que o grupo de controle. Em outra etapa desse estudo, houve a medição dos movimentos oculares dos dois grupos, resultando em um menor tempo gasto pelo grupo das representações gráficas na observação dos dados numéricos, o que indica que o uso de gráficos reduz a carga cognitiva e contribui para a compreensão acerca do tema medições (SUSAC et al., 2017).

No Brasil, o investimento na área ainda é escasso. Contudo, há destaque para os grupos de pesquisa: GEPEN (Grupo de Ensino e Pesquisa em Neurociência) da Universidade Federal de Juiz de Fora, GELC (Grupo de Estudos em Neurociência da Linguagem e Cognição) da Universidade Federal do ABC, GPNED (Grupo de Pesquisas em Neurociências e Educação) da Universidade Federal do Rio Grande e Neuroeduc (Grupo de pesquisa em Neurociências Aplicadas à Educação) do periódico Ciência e Cognição.

Como exemplo de pesquisas que englobam o ensino de física e a neurociência, há o estudo de Brockington (2021). O autor discute os limites e as possibilidades dessa imbricação a partir de pesquisas com vistas à aprendizagem em física. A princípio, o estudo expõe ideias divergentes de alguns estudiosos, como Bruer (2002), Dougherty & Roubey (2018) e Thomas (2019), quanto a aplicação da neurociência para o ensino, para posterior discussão acerca de publicações que relacionam o processamento cerebral da matemática ao desenvolvimento do pensamento físico.

Os resultados revelam a persistência das concepções alternativas dos alunos sem a compreensão de quais mecanismos neurais que justificam a sua ocorrência. Outrossim, Brockington

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

(2021) reforça que a reunião dos conhecimentos produzidos em psicologia, neurociência e educação pode contribuir na busca por estratégias pedagógicas voltadas para o ensino de física.

Quanto a trabalhos que englobam a educação inclusiva, a pesquisa de Silva (2020) consistiu na aplicação de um produto didático sobre o conceito de frequência relacionado a ondas, considerando aspectos da neurociência, fruto de seu trabalho de mestrado em ensino de física. Seu público alvo foram 4 discentes surdos, dentre eles alunos e ex-alunos, da Rede Federal de Educação Tecnológica do município de Itapetinga-BA.

Com o uso de experimentação por meio de manipulação de softwares, os sujeitos da pesquisa obtiveram melhor compreensão do conceito físico de frequência e do procedimento científico envolvido nas atividades, demonstrando a importância do uso de outros tipos de linguagem que ultrapassem a escrita em português (SILVA, 2020).

Seguindo a temática de pesquisas em ensino de física com alunos com necessidades educativas especiais, Viveiros e Camargo (2014) relacionaram a teoria dos campos conceituais e a neurociência cognitiva a fim de desenvolver uma interface cérebro-computador para deficientes visuais e físicos.

Devido ao fato de os autores medirem os ritmos cerebrais dos sujeitos durante as aulas de física por intermédio do eletroencefalograma, após a análise dos padrões obtidos, foi possível concluir que houve grande atividade cerebral na fase de aquisição háptica (tátil) nos ritmos Alpha, Beta e Theta (VIVEIROS; CAMARGO, 2014).

Embora em outros estudos com atividades motoras o ritmo Alpha normalmente seja suprimido, a sua não ocorrência é justificada quando há forte estimulação emocional positiva, o que contribui na predisposição para aprender, juntamente com altos índices de ocorrência da atividade Beta, a qual está relacionada ao mecanismo de atenção (Ibid.).

Trazendo uma pesquisa inovadora e extremamente necessária para a aproximação entre a neurociência e o ensino de física, Helayel-Neto e colaboradores (2015) relacionam as áreas a partir de questões da relatividade e do espaço-tempo.

Como exemplo, cita-se o tempo de processamento neural de informações sensoriais a partir de estímulos do ambiente. A propagação de impulsos elétricos não é simultânea, ainda que partam de um mesmo objeto, pois possui velocidade finita, o cérebro é que compensa a relatividade, visto que "é capaz de realizar estímulos sincronizados que em sua via neural tornam-se não simultâneos" (HELAYEL-NETO et al., 2015, tradução da autora).

Destarte, a neurociência cognitiva associada à psicologia da educação, articulada às teorias cognitivas da aprendizagem, pode contribuir significativamente para a formação de professores de ciências naturais e para o sucesso da neuroeducação e vai ao encontro do que é proposto pelas Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial em nível superior de Professores para a Educação Básica na competência aprender como os alunos aprendem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As recentes descobertas neurocientíficas, de modo geral, validam a teoria de Piaget no que diz respeito ao desenvolvimento cognitivo humano, o que traz reflexões sobre a sua aplicação no ensino, em especial, em física.

Sob este aspecto, tanto as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial em nível superior de Professores para a Educação Básica quanto a BNC- Formação incentivam os professores a buscarem meios de compreender o processo de aquisição de conhecimento dos discentes.

As funções cognitivas superiores como: emoção, atenção e memória possuem a sua relevância para o ensino, de maneira que o conhecimento relacionado aos seus processos seja fundamental aos professores para que utilizem estratégias de ensino que colaborem para o desenvolvimento de habilidades e competências essenciais aos alunos, em conformidade às orientações estabelecidas pela BNCC.

Outrossim, a incorporação do conhecimento neurocientífico para o ensino de física ajudará aos docentes não somente a identificarem as concepções alternativas dos alunos, mas também a compreenderem os mecanismos neurais relacionados à sua ocorrência. Esta compreensão tem a sua

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

relevância visto que poderá apontar caminhos para o ensino de física quanto à resistência dessas concepções.

Neste trabalho, buscou-se estabelecer as relações existentes entre a teoria da aprendizagem de Jean Piaget e a neurociência cognitiva. Esta interseção entre as áreas é favorável para a aplicação do conhecimento neurocientífico nas escolas.

A transposição entre as áreas deverá ser realizada com cautela para que não ocorra disseminação de informações pseudocientíficas ou mal interpretadas pelos educadores. Por isso, é recomendável o estudo da neurociência cognitiva nos cursos de formação de professores e a conexão do conhecimento já existente da psicologia educacional à neurociência e ao ensino de ciências.

É importante frisar que a integração entre os saberes provenientes da psicologia da educação e da neurociência cognitiva poderá estimular os professores à adoção de práticas de ensino inovadoras, as quais há o destaque para o uso das tecnologias digitais da informação e da comunicação.

Entretanto, mesmo que a neurociência cognitiva seja um assunto de maior interesse nas últimas três décadas, existe uma carência de pesquisas científicas sobre a temática vinculada à área educacional, principalmente no Brasil, o que favorece a manutenção do ensino tradicional e da falta de atitude protagonista dos alunos frente ao ensino.

Há, portanto, urgência[9] em maiores investimentos na formação de professores com vistas à neurociência cognitiva para promover um ensino flexível e que respeite as individualidades dos alunos em relação à cognição, ao modo de ensiná-los e avaliá-los e, também, ampliando as potencialidades de aprendizagem mediante a compreensão de como é a sua ocorrência em nível neurobiológico.

Nesta perspectiva, o conhecimento neurocientífico associado à teoria da aprendizagem de Piaget têm o potencial de contribuir para a aprendizagem, desde que haja revisão dos currículos dos cursos de formação de professores para a sua implementação em suas práticas pedagógicas. Desse modo, os docentes poderão dispor de estratégias de ensino que sejam eficientes para despertar a atenção dos alunos, para o desenvolvimento de sua autonomia, tomada de decisões e construção do conhecimento de forma autônoma, em busca de uma aprendizagem mais significativa.

Contudo, vale destacar que para ocorrer o sucesso da neuroeducação, não basta transpor os conhecimentos de uma área para a outra. É necessária à sua interação com a psicologia cognitiva e o forte combate a informações mal interpretadas da neurociência, as quais são amplamente divulgadas e reproduzidas pelas mídias de maneira errônea.

Por essa razão, conhecer a estrutura biológica em que ocorre os processos cognitivos é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de ensino mais adequadas que potencializem a aquisição de conhecimento e a compreensão das funções executivas associadas a este processo. Portanto, o conhecimento a respeito de como as informações são processadas e armazenadas no cérebro permite ao professor refletir acerca de sua prática pedagógica de modo a favorecer a concepção de ambientes de aprendizagem profícuos e a produção de contextos de aprendizagem mais eficientes.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Lisboa: Plátano edições técnicas, 2000.

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. Porto Alegre: Artmed, 2017.

BRANDÃO, M. L. *As bases biológicas do comportamento: introdução à neurociência*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 2004.

[9] Em um dos capítulos da tese da autora, há a análise das ementas dos cursos de licenciatura em física da UENF e do IFF, instituições de ensino da cidade de Campos dos Goytacazes-RJ que ofertam a formação inicial para professor de física e foi constatado que, apesar dos cursos conterem disciplinas que estudam as teorias da aprendizagem, não há, ainda, a sua correlação com os estudos recentes da neurociência cognitiva.

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

BRASIL. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf>. Acesso em 04 abr. 2022.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. *Resolução CNE/CP nº 2/2019*. Brasília: MEC, 2019. Disponível em: < https://cutt.ly/UTkTf3p>. Acesso em 04 abr. 2022.

BROCKINGTON, G. Neurociência e Ensino de Física: limites e possibilidades em um campo inexplorado. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 43, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0430>. Acesso em 29 abr. 2022.

BRUER, J. T. Avoiding the pediatrician's error: How neuroscientists can help educators (and themselves). *Nature Neuroscience*, v. 5, p. 1031–1033, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nn93>4. Acesso em 01 maio 2022.

BRUNETTI, K. BRAIN: a iniciativa de Barack Obama e pesquisadores americanos para o avanço de neurotecnologias inovadoras. *Medium*, fev. 2016. Disponível em: <https://cutt.ly/oHiVuqV>. Acesso em 05 abr. 2022.

CARVALHO, D. de; VILLAS BOAS, C. A. Neurociências e formação de professores: reflexos na educação e economia. *Ensaio: avaliação e políticas públicas em educação*, Rio de Janeiro, v. 26, n. 98, p. 231-247, jan./mar. 2018. Disponível em: <https://cutt.ly/fiVuzlN>. Acesso em 04 abr. 2022.

COSENZA, R. M. GUERRA, L. E. *Neurociência e Educação: como o cérebro aprende*. Porto Alegre: Artmed, 2011.

CRONE, E. A. Executive functions in adolescence: Inferences from brain and behavior. *Developmental Science*, v. 12, n. 6, p. 825-830. 2009. DOI:10.1111/j.1467-7687.2009.00918.x

DAMASCENO JÚNIOR, J. A.; ROMEU, M. C. Contribuições da neurociência e da aprendizagem significativa para o ensino de física e de conceitos básicos de astronomia: algumas aproximações preliminares. *Revista Prática Docente*, v. 6, n. 2, 2021. DOI: 10.23926/RPD.2021.v6.n2.e033.id994. Disponível em: <http://periodicos.cfs.ifmt.edu.br/periodicos/index.php/rpd/article/view/994>. Acesso em: 20 abr. 2022.

DANG-VU, T. T. et al. Functional Neuroimaging Insights into the Physiology of Human Sleep, *Sleep*, v. 33, n. 12, 2010. DOI: https://doi.org/10.1093/sleep/33.12.1589

DOUGHERTY, M. R.; ROBEY, A. Neuroscience and education: A bridge astray? *Current Directions in Psychological Science*, v. 27, n. 6, p. 401–406, 2018. https://doi.org/10.1177/0963721418794495.

DUTTA, S. S. The Limbic System and Long-Term Memory. *News medical life Sciences*. 2021. Disponível em: <https://www.news-medical.net/health/The-Limbic-System-and-Long-Term-Memory.aspx>. Acesso em 17 abr. 2022.

FELIPE, E. da S. *Novas Diretrizes para a Formação de Professores: continuidades, atualizações e confrontos de projetos*. ANPEd. 2020. Disponível em: <https://cutt.ly/tTkEeHt>. Acesso em 09 abr. 2022.

FERNANDES, R. M. F. O SONO NORMAL. *Medicina (Ribeirão Preto)*, v, 39, n. 2, 2006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rmrp/article/view/372>. Acesso em 10 maio 2022.

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

FERREIRA, M. E.; GRATTAPAGLIA, D. *Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética*. 3.ed. Brasília: EMBRAPA-CENARGEN, 1998.

FISCARELLI, S. H. Tecnologia pode influenciar habilidades cognitivas. *Nova Escola*, 2019. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/15885/tecnologia-pode-influenciar-habilidades-cognitivas>. Acesso em 19 abr. 2022.

GARRET, B.; HOUGH, G. *Brain & Behavior: An Introduction to Behavioral Neuroscience*. Califórnia: Sage Publication, 2018. Edição Kindle.

GAZZANIGA, M. S.; IVRY, R. B.; MANGUN, G. R. *Neurociência Cognitiva: A Biologia da Mente*. Porto Alegre: Artmed, 2006.

GOLDSTEIN, K., & SCHEERER, M. Abstract and concrete behavior an experimental study with special tests. *Psychological Monographs*, v. 53, n. 2. 1941.

HELAYEL-NETO et al. Neuroscience, space and time. *Vértices*: Campos dos Goytacazes/RJ, v.17, n.2, p. 237-253, 2015. DOI: 10.19180/1809-2667.v17n215-12.

IMMORDINO-YANG, M. H. Implications of Affective and Social Neuroscience for Educational Theory. *Educational Philosophy and Theory*, v. 43, n. 1, 2011. DOI: 10.1111/j.1469-5812.2010.00713.x.

IMMORDINO-YANG, M. H.; DAMÁSIO, A. R. We feel, therefore we learn: The relevance of affect and social neuroscience to education. *Mind, Brain, and Education*, v. 1, p. 3-10, 2007. Disponível em: <https://cutt.ly/8iVyXIO>. Acesso em 04 abr. 2022.

KANDEL, E. R. et al. *Princípios de Neurociências*. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2014.

LABAR, K. S.; CABEZA, R. Cognitive neuroscience of emotional memory. *Nature Reviews Neuroscience*, v. 7, n. 1, p. 54-64. 2006. DOI: 10.1038/nrn1825.

LENT, R. *Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociências*. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2010.

LURIA, A. R. *The mind of a mnemonist: A little book about a vast memory*. Cambridge: Harvard University Press, 1968.

MASON, L. Bridging neuroscience and education: a two-way path is possible. *Cortex*, v. 45, n. 1, p. 548–549, 2009. Disponível em: <https://www.academia.edu/22652684/Bridging_neuroscience_and_education_A_two-way_path_is_possible>. Acesso em 04 abr. 2022.

MCGOWAN, P. et al. Epigenetic regulation of the glucocorticoid receptor in human brain associates with childhood abuse. *Nature Neuroscience*, v. 12, p. 342–348, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nn.2270>. Acesso em 18 abr. 2022.

MEANEY, M. J.; SZYF, M. Environmental programming of stress responses through DNA methylation: life at the interface between a dynamic environment and a fixed genome, *Dialogues in Clinical Neuroscience*, v. 7, n. 2, p. 103-123, DOI: 10.31887/DCNS.2005.7.2/mmeaney

MEANEY, M. J. Epigenetics and the Biological Definition of Gene X Environment Interactions. *Child Development*, v, 81, n.1, p. 41–79, 2010. doi:10.1111/j.1467-8624.2009.01381.x

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

MOFFIT, T. E. et. al. A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 108, n. 7. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1010076108>. Acesso em 17 abr. 2022.

MOREIRA, M. A. *Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: Comportamentalismo, construtivismo e humanismo*. Porto Alegre-RS, 2009.

MOREIRA, M. A. *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.

OBANA, J. E. G. *A epistemologia e a psicologia de Jean Piaget e as neurociências uma revisão sistemática*. 2015. 142 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Filosofia e Ciências, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/123932>. Acesso em 23 abr. 2022.

OCDE. *Entendendo o cérebro: rumo à nova ciência do aprendizado*. Paris: CERI-OCDE. 2002. Disponível em: <https://cutt.ly/nTlneS9>. Acesso em 14 abr. 2022.

OLIVEIRA, Marcos Barbosa de. Cognitivismo e Ciência cognitivista. *Trans/Form/Ação*, v. 13, p. 85-93, 1990. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/trans/v13/v13a06.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2022.

PANTONI, T.; ZORZI, J. L. *Neurociência aplicada à aprendizagem*. São José dos Campos: Pulso, 2009.

PIAGET, J. *Epistemologia Genética*. São Paulo: Abril Cultural, 1970.

PIAGET, J. Development and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 11, n.3, 1964.

PIAGET, J. Seis estudos de psicologia. Tradução: Maria Alice Magalhães D' Amorim e Paulo Sergio Lima Silva – 24. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1999.

PIAGET, J. *Topics in Cognitive Development*. Springer New York, NY. 1977. DOl: 10.1007/978-1-4613-4175-8.

POZO, J. I. *Teorias Cognitivas da Aprendizagem*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

PUEBLA, R.; TALMA, M. P. Educación y neurociencias: La conexión que hace falta. *Estudios pedagógicos* (Valdivia), v. 37, n. 2, pp. 379-388. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.4067/S0718-07052011000200023>. Acesso em 12 abr. 2022.

ROSAT, R. M. et al. EMERGÊNCIA DA NEUROEDUCAÇÃO: a hora e a vez da neurociência para agregar valor à pesquisa educacional. *Ciências & Cognição*, 15(1), pp. 199-210. 2010. Disponível em: <http://www.cienciasecognicao.org/revista/index.php/cec/article/view/276>. Acesso em 10 abr. 2022.

SALES, D. C. S. Reabilitação Neurológica e Neuroplasticidade. Em: KONKIEWITZ, E. C. *Tópicos em Neurociência Clínica*. Dourados: Editora da UFGD, 2009. Disponível em: <http://cienciasecognicao.org/neuroemdebate/arquivos/1053>. Acesso em 18 mar. 2022.

SALLES, J. F. de; HAASE, V. G.; MALLOY-DINIZ, L. F. *Neuropsicologia do desenvolvimento: infância e adolescência*. Porto Alegre: Artmed, 2016.

SILVA, R. dos S. da. *A neurociência como ferramenta para o ensino de ciências e biologia*. Monografia (Graduação em Biologia) – Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4378

Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/11199>. Acesso em 21 abr. 2022.

SILVA, I. M. de S. S. *As contribuições da neurociência cognitiva para o ensino de física em discentes com deficiência auditiva*. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós Graduação do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, Vitória da Conquista, 2020. Disponível em: <https://cutt.ly/yG4uGor>. Acesso em 08 maio 2022.

SUSAC, A. et al. Graphical representations of data improve student understanding of measurement and uncertainty: An eye-tracking study. *Physical Review Physics Education Research*. v. 13, 2017. DOI: https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020125.

THOMAS, M. S. C. Response to Dougherty and Robey (2018) on Neuroscience and Education: Enough Bridge Metaphors—Interdisciplinary Research Offers the Best Hope for Progress. *Current Directions in Psychological Science,* v. 28, n. 4, p. 337-340, 2019. DOI: https://doi.org/10.1177/0963721419838252.

UNESCO. Ministério da Educação. *Educação um tesouro a descobrir: Relatório para a UNESCO da Comissão Internacional sobre Educação para o século XXI*. São Paulo: Editora Cortez. 1998. Disponível em: <http://dhnet.org.br/dados/relatorios/a_pdf/r_unesco_educ_tesouro_descobrir.pdf>. Acesso em 17 abr. 2022.

VAN ESSEN, D. C.; GLASSER, M. F. The Human Connectome Project: Progress and Prospects. *Cerebrum*. Sep-Oct; 2016. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5198757/>. Acesso em 04 abr. 2022.

VIVEIROS, E. R. de; CAMARGO, E. P. de. Teoria dos Campos Conceituais e Neurociência Cognitiva: utilizando uma interface cérebro-computador no Ensino de Física para deficientes visuais e físicos. *Interciência & Sociedade*, v. 3, n. 2, p. 99-107, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/135545>. Acesso em 08 maio 2022.

WEAVER, I. C. G et al. Epigenetic programming by maternal behavior. *Nature Neuroscience*, v. 7, p. 847-854, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nn1276>. Acesso em 18 abr. 2022.

ZEMLIM, W. R. *Princípios de anatomia e Fisiologia em Fonoaudiologia*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

CONTRIBUIÇÃO DAS/DOS AUTORES/AS

Autora 1 – Idealização do estudo; análise de dados; escrita, revisão e edição do manuscrito.
Autor 2 – Orientador da pesquisa, revisão e edição do manuscrito.

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram que não há conflito de interesse com o presente artigo.

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença Creative Commons CC-BY.
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.