

A CIÊNCIA POR TRÁS DA APRENDIZAGEM: NEUROPLASTICIDADE E DESENVOLVIMENTO COGNITIVO

Augusto Guilherme Teixeira Frutuoso¹
Franciely Machado Moraes²
Luciano João da Silva³
Johann Early Torres de Alcântara⁴
Iara Maria Dias Mesquita⁵
Jarkleydson Alex Alves de Moura Silva⁶
Zulene dos Santos Carvalho⁷
Rafael dos Santos Nardotto⁸
Isaac Peron Cunha Carvalho⁹
Cristiane Lessa da Cunha de Oliveira¹⁰
Gilmara Aguiar da Silva Carneiro Campos¹¹
Lindamir Svidzinski¹²
Marlúcia Gonçalves Siqueira¹³

RESUMO: Este artigo analisa os mecanismos neurobiológicos que sustentam a aprendizagem humana, com ênfase na relação entre neuroplasticidade e desenvolvimento cognitivo. Trata-se de uma revisão bibliográfica de caráter narrativo e integrativo, fundamentada em estudos clássicos e contemporâneos sobre plasticidade cerebral, memória, desenvolvimento e aprendizagem. A análise contempla processos como potenciação de longa duração (LTP), neurogênese adulta, poda sináptica e reorganização funcional dos circuitos neurais, além de fatores moduladores como sono, atividade física, estresse e estados emocionais. Também são discutidas as relações entre neuroplasticidade, funções executivas e aprendizagem escolar, considerando atenção, memória de trabalho, controle inibitório e flexibilidade cognitiva. Os achados evidenciam que a plasticidade cerebral não se restringe à infância, mas permanece presente ao longo do ciclo vital, embora assuma características distintas em diferentes etapas do desenvolvimento. Conclui-se que a compreensão desses mecanismos amplia o diálogo entre neurociência cognitiva e educação, contribuindo para práticas pedagógicas mais fundamentadas em evidências e para uma compreensão não reducionista dos processos de aprendizagem.

Palavras-chave: Neuroplasticidade. Desenvolvimento cognitivo. Aprendizagem. Funções executivas.

¹Mestrando em Educação, Uniasselvi. Cidade Esteio/RS.

²Especialista em Linguística Aplicada ao Ensino de Língua Portuguesa, Faculdade Frassinetti do Recife (FAFIRE) Recife, PE.

³Mestre em Ensino das Ciências Ambientais (PROFCIAMB/UFPE).

⁴Especialização IFPB, João Pessoa-PB.

⁵Licenciatura em Ciências Humanas - História Universidade Federal do Maranhão - UFMA Codó Maranhão.

⁶Pós-Graduando em Ensino de Matemática, Centro de Ensino Superior de Arcoverde Ibimirim-PE.

⁷Mestranda em educação, Universidade Federal do Maranhão UFMA/ Codó.

⁸Mestrado em Ensino PPGEN, UENP - Universidade Estadual do Norte do Paraná.

⁹Licenciatura plena em história - Universidade Federal do Piauí Especialista em currículo e prática docente nos anos iniciais do ensino fundamental - UFPI.

¹⁰Mestranda, Universidade Federal de Viçosa- UFV- PPGE Viçosa- MG

¹¹Máster en Actividad Física y Salud, Universidad Europea del Atlántico Santander, Espanha.

¹²Mestranda do PPGEN - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática pela Unicentro de Guarapuava-PR 2026

¹³Pós-graduação em psicopedagogia e neuropsicopedagogia, Unicesumar Pedra Preta MT.

ABSTRACT: This article analyzes the neurobiological mechanisms underlying human learning, with emphasis on the relationship between neuroplasticity and cognitive development. It is based on a narrative and integrative literature review drawing on classical and contemporary studies on brain plasticity, memory, development, and learning. The analysis addresses processes such as long-term potentiation (LTP), adult neurogenesis, synaptic pruning, and the functional reorganization of neural circuits, as well as modulating factors such as sleep, physical activity, stress, and emotional states. The relationships between neuroplasticity, executive functions, and school learning are also discussed, considering attention, working memory, inhibitory control, and cognitive flexibility. The findings indicate that brain plasticity is not restricted to childhood but remains present throughout the lifespan, although it assumes different characteristics across developmental stages. It is concluded that understanding these mechanisms strengthens the dialogue between cognitive neuroscience and education, contributing to more evidence-informed pedagogical practices and to a non-reductionist understanding of learning processes.

Keywords: Neuroplasticity. Cognitive development. Learning. Executive functions.

I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento cerebral humano constitui um processo dinâmico, contínuo e multifatorial, resultante da interação entre fatores genéticos, biológicos, ambientais, sociais e culturais que atuam desde o período pré-natal até a vida adulta. Ao longo das últimas décadas, os avanços das neurociências têm demonstrado que a formação e a organização do sistema nervoso não dependem exclusivamente da herança genética, mas também das experiências

2

vivenciadas em diferentes momentos do desenvolvimento. Nessa perspectiva, o cérebro apresenta notável capacidade de adaptação às demandas internas e externas, modificando continuamente sua estrutura e seu funcionamento em resposta aos estímulos provenientes do ambiente (Lopes, 2020; Dow-Edwards et al., 2019).

Essa capacidade adaptativa é denominada neuroplasticidade e constitui um dos princípios primordiais do desenvolvimento cerebral. Por meio de mecanismos como neurogênese, sinaptogênese, poda sináptica, mielinização, remodelação dendrítica e reorganização funcional dos circuitos neurais, o cérebro é capaz de fortalecer, enfraquecer ou estabelecer novas conexões ao longo da vida, favorecendo processos relacionados à aprendizagem, memória, cognição, regulação emocional e adaptação comportamental (Selemon, 2013; Tau et al., 2010). Conforme destacam Nelson et al. (2019), as experiências ambientais exercem papel decisivo nesse processo, influenciando diretamente a formação e a reorganização das redes neurais responsáveis pelo desenvolvimento cognitivo, emocional e social.

A compreensão dos processos envolvidos na aquisição, consolidação e recuperação de informações constitui um dos pilares mais complexos das ciências humanas e biológicas. Durante séculos, a aprendizagem foi investigada precipuamente sob a ótica comportamental e construtivista. Contudo, os avanços nas técnicas de neuroimagem e na biologia molecular, consolidados nas últimas décadas, permitiram descortinar as bases neurobiológicas que sustentam a cognição.

No centro dessa interface encontra-se a neuroplasticidade, a capacidade intrínseca do cérebro de reorganizar sua estrutura, função e conexões neurais em resposta a experiências, estímulos ambientais, lesões e processos intrínsecos de desenvolvimento (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2017). A premissa de um cérebro estático e inalterável após as fases iniciais da vida foi definitivamente superada, dando lugar ao paradigma de um órgão dinâmico, dotado de adaptabilidade contínua.

Além das experiências ambientais, a literatura científica evidencia que diversos mecanismos biológicos participam da modulação da neuroplasticidade ao longo do ciclo vital. Fatores neurotróficos, neurotransmissores, hormônios, mecanismos epigenéticos e processos neuroimunes atuam de forma integrada na formação, manutenção e reorganização das conexões neurais (DINCHEVA et al., 2016; MURTY et al., 2016; CREWS et al., 2019; SICHER et al., 2022). Paralelamente, condições como nutrição adequada, atividade física regular, qualidade do sono e experiências positivas de cuidado contribuem para a manutenção da plasticidade cerebral e para a promoção do desenvolvimento saudável (MASKI et al., 2013; JING et al., 2024; LEISMAN et al., 2025).

Apesar dos avanços científicos na neurociência cognitiva, persiste uma lacuna entre a compreensão teórica dos mecanismos biomoleculares da plasticidade cerebral e sua tradução sintética e aplicável no campo do desenvolvimento cognitivo humano. Diante disso, delineia-se a seguinte questão: De que forma a neuroplasticidade atua como o substrato biológico fundamental para o desenvolvimento cognitivo e a aprendizagem ao longo da vida?

Sendo assim o Objetivo Geral da pesquisa é analisar os fundamentos neurobiológicos da plasticidade cerebral e sua correlação direta com o desenvolvimento cognitivo e os processos de aprendizagem. E os Objetivos Específicos são: Mapear os mecanismos celulares e moleculares da neuroplasticidade, destacando o papel da potenciação a longo prazo (LTP) e das modificações sinápticas. Discutir a evolução histórica do conceito de plasticidade neural, contrapondo o determinismo biológico clássico à visão contemporânea da neurobiologia. Identificar fatores

moduladores exógenos e endógenos (como sono, ambiente enriquecido e estresse) na promoção ou inibição da plasticidade. Refletir sobre as implicações da neurociência cognitiva para a prática pedagógica e o aprendizado contínuo (lifelong learning).

Para responder à questão proposta e alcançar os objetivos estabelecidos, o artigo está organizado em cinco seções principais. Após esta introdução, o referencial teórico aborda a evolução histórica dos estudos sobre plasticidade cerebral, os mecanismos moleculares e celulares relacionados à potenciação de longa duração e à neurogênese, os períodos críticos e sensíveis do desenvolvimento, os fatores moduladores da plasticidade e as relações entre neuroplasticidade, funções executivas e aprendizagem escolar. Em seguida, são apresentados os procedimentos metodológicos adotados para a seleção, organização e análise da literatura. A seção de discussão articula os principais achados científicos, com atenção às implicações educacionais, aos fatores que favorecem ou limitam a plasticidade e à necessidade de superação de neuromitos ainda presentes no campo da educação. Por fim, as considerações finais retomam os objetivos do estudo e sintetizam as contribuições da neurociência cognitiva para a compreensão dos processos de aprendizagem e do desenvolvimento humano ao longo da vida.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

4

2.1 O Estudo da Plasticidade Cerebral:

A concepção moderna de neuroplasticidade remonta ao final do século XIX. Santiago Ramón y Cajal (1894/1911), pioneiro da doutrina neuronal, antecipou a ideia de que a aprendizagem exigia a modificação das conexões neurais existentes ou a formação de novas ramificações sinápticas. Pouco mais tarde, William James (1890) introduziu o termo "plasticidade" no contexto da psicologia para descrever a suscetibilidade do sistema nervoso à alteração contínua sob influência do hábito.

No entanto, o marco teórico decisivo ocorreu com a formulação de Donald Hebb (1949). O postulado de Hebb introduziu a premissa fundamental da plasticidade dependente de atividade, em termos neurobiológicos contemporâneos, a Plasticidade Hebbiana opera da seguinte forma:

1. Coincidência Temporal: A plasticidade sináptica depende da atividade simultânea ou estritamente correlacionada entre o neurônio pré-sináptico e o pós-sináptico.
2. Reforço de Conexões Úteis: Se o estímulo do neurônio pré-sináptico ajuda ativamente a despolarizar e disparar o neurônio pós-sináptico, a sinapse entre eles se fortalece.

3. Depressão / Enfraquecimento: Inversamente, conexões que dispararam de forma assíncrona ou ineficaz tendem a ser enfraquecidas ou eliminadas.

Sendo assim ocorreu um impacto na ciência da aprendizagem: Base da Potenciação a Longo Prazo (LTP): O postulado de Hebb foi confirmado empiricamente décadas depois com a descoberta do mecanismo dos receptores NMDA, que funcionam como detectores biológicos de coincidência temporal (exigindo a presença simultânea de glutamato e despolarização pós-sináptica). Consolidação de Redes Neurais: É essa plasticidade dependente de atividade que permite ao cérebro formar redes associativas — a base biológica da consolidação de memórias, do aprendizado por repetição e do desenvolvimento cognitivo.

De acordo com Lent (2010), Hebb estabeleceu que a ativação simultânea e repetida de duas células gliais ou neurônios fortalece a eficácia sináptica entre eles, estabelecendo a base fisiológica para os circuitos de memória. Nas últimas décadas, neurocientistas como Eric Kandel provaram experimentalmente as bases moleculares formuladas teoricamente por Hebb. Ao estudar o sistema nervoso da *Aplysia californica*, Kandel (2001) demonstrou que a aprendizagem de curta duração decorre de alterações funcionais nas sinapses existentes (liberação de neurotransmissores), enquanto a memória de longa duração exige a alteração da expressão gênica e a síntese de novas proteínas, resultando em mudanças na arquitetura estrutural sináptica.

2.2 Mecanismos Moleculares e Celulares: LTP e Neurogênese

Historicamente, o sistema nervoso adulto foi concebido como uma estrutura estática, incapaz de se reorganizar após o período crítico do desenvolvimento, visão que predominou durante grande parte do século XX e que foi progressivamente desconstruída a partir de evidências experimentais acumuladas nas últimas décadas (Fuchs; Flügge, 2014). Atualmente, a neuroplasticidade é reconhecida não apenas como um mecanismo fundamental de aprendizagem e memória, mas também como um processo contínuo de adaptação que subjaz à resiliência e à vulnerabilidade neurobiológica diante de condições adversas, posicionando-se como eixo central para a compreensão de transtornos neuropsiquiátricos e para o desenvolvimento de estratégias terapêuticas baseadas na modulação da plasticidade neural (Aimone *et al.*, 2014).

No âmbito da eletrofisiologia, o mecanismo chave da plasticidade sináptica é a Potenciação a Longo Prazo (LTP), descrita originalmente por Lomo e Bliss em 1973. A LTP

traduz-se no aumento persistente na força das conexões sinápticas resultante do padrão de atividade de alta frequência. Complementando a LTP, destaca-se o processo de poda sináptica (*synaptic pruning*), no qual conexões subutilizadas ou ineficientes são eliminadas. Segundo Kandel et al. (2014), a poda é fundamental durante os períodos críticos do desenvolvimento infantil e adolescente, otimizando a eficiência do processamento neural ao eliminar o ruído nos circuitos cerebrais.

Purves et al. (2019) explicam que o glutamato atua como o principal neurotransmissor excitatório nesse processo, interagindo com os receptores AMPA e NMDA na membrana pós-sináptica. A remoção do bloqueio de íons de magnésio nos receptores NMDA permite o fluxo de cálcio, o qual desencadeia cascatas de sinalização intracelular mediadas pela proteína CaMKII e pelo fator de transcrição CREB. Esse conjunto de eventos resulta na inserção de novos receptores AMPA na membrana e no brotamento de novas espinhas dendríticas.

Dentre as estruturas encefálicas, o hipocampo destaca-se como um dos modelos mais estudados e mais informativos para a compreensão da neuroplasticidade, por reunir simultaneamente múltiplas formas desse fenômeno em um único sistema. Sua organização citoarquitetônica relativamente simples, somada à sua participação central em processos de aprendizagem, memória e regulação emocional, faz dele o substrato preferencial para a caracterização de mecanismos como a potenciação de longa duração e, mais notavelmente, a neurogênese adulta, fenômeno que, ao contrário da plasticidade sináptica clássica, envolve a incorporação de neurônios inteiramente novos a circuitos pré-existentes (Kempermann et al., 2018).

Do ponto de vista anátomo topográfico, o hipocampo é parte constituinte do sistema límbico e engendra conexão entre fibras nervosas de regiões cerebrais relacionadas à emoção, como o córtex pré-frontal e a amígdala (figura 1). Ademais, essa estrutura também contém altos níveis de receptores de glicocorticoides e glutamato e regula o eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, fato que o torna mais suscetível ao estresse e à depressão (Liu et al., 2017).

Ademais, a neurogênese adulta representa uma quebra radical do paradigma que afirmava a impossibilidade de proliferação neuronal na idade adulta. Pesquisas de Gage (2002) e Eriksson et al. (1998) comprovaram a formação de novos neurônios a partir de células-tronco neurais no giro dentado do hipocampo, uma região crítica para a consolidação da memória declarativa e para a navegação espacial.

O processo de neurogênese hipocampal adulta compreende uma sequência ordenada de etapas, iniciada pela proliferação de células-tronco neurais quiescentes residentes na zona subgranular do giro dentado (Denoth-Lippuner; Jessberger, 2021). Uma vez ativadas, essas células dão origem a progenitores intermediários que se dividem rapidamente e, em seguida, iniciam um processo de diferenciação em direção ao fenótipo neuronal. Os neuroblastos resultantes migram então por uma distância relativamente curta até a camada granular, onde passam por sucessivas fases de maturação morfológica e funcional, desenvolvendo dendritos, axônios e, progressivamente, conexões sinápticas com os circuitos pré-existentes. Esse percurso, desde a divisão da célula-tronco até a integração funcional do neurônio maduro, estende-se por várias semanas e é marcado por elevada taxa de eliminação celular: estima-se que apenas uma fração das células geradas inicialmente sobrevive e se integra de forma estável, sendo as demais eliminadas por apoptose em diferentes pontos do processo (Christian; Song; Ming, 2014; Lledo; Alonso; Grubb, 2006).

A neurogênese hipocampal adulta é um processo dinâmico e sequencial, que envolve a ativação de células-tronco neurais quiescentes, sua proliferação, a especificação do destino neuronal, e a maturação e integração funcional dos neurônios recém-formados na circuitaria pré-existente (Kempermann *et al.*, 2018). Essa progressão ordenada depende de uma rede integrada de vias de sinalização molecular, ativadas tanto por fatores intrínsecos das células progenitoras quanto por sinais extrínsecos provenientes do nicho neurogênico da zona subgranular (ZSG) (Arredondo *et al.*, 2020).

7

2.3 Períodos Críticos, Sensíveis e Plasticidade ao Longo da Vida:

Historicamente, teorias do desenvolvimento infantil associaram a plasticidade quase exclusivamente aos primeiros anos de vida. Piaget (1970) e Vygotsky (1978) demonstraram a importância da interação do indivíduo com o meio, postulado que hoje encontra respaldo neurobiológico nas definições de períodos críticos e períodos sensíveis.

Período Crítico: Janela temporal rigorosamente delimitada na qual determinado aporte sensorial é estritamente necessário para o desenvolvimento normal de uma função (HUBEL; WIESEL, 1970).

Período Sensível: Janela de máxima suscetibilidade na qual o cérebro apresenta especial eficiência na aquisição de habilidades complexas, como o aprendizado de uma segunda língua ou o domínio musical, mas que não se fecha por completo na vida adulta (SQUIRE; KANDEL, 2009).

A primeira infância constitui um período decisivo para a organização inicial de circuitos neurais determinantes para o desenvolvimento humano. Segundo Britto (2017), o cérebro adapta-se em resposta a uma ampla variedade de experiências precoces, dando origem a períodos sensíveis que favorecem a rápida aquisição da linguagem, de habilidades cognitivas e de competências socioemocionais. Nessa fase, a elevada plasticidade cerebral possibilita intensa reorganização neural, estabelecendo bases importantes para aprendizagens posteriores mais complexas, bem como para a adaptação progressiva ao ambiente.

Muito se aprendeu a partir de estudos com roedores e primatas não humanos nos quais a perda sensorial é induzida (por exemplo, quando o animal é privado de luz ou som) ou em que os animais são criados seletivamente (por exemplo, privados de ver faces). De forma semelhante, importantes evidências sobre como a ausência de experiência altera o desenvolvimento cerebral foram obtidas por meio do estudo de bebês humanos que sofreram perdas sensoriais precoces, como aqueles nascidos com catarata ou surdez, e que posteriormente tiveram sua visão ou audição restauradas em diferentes momentos do desenvolvimento (Nelson et al., 2019, p. 1)

Dessa forma, a consolidação precoce das funções sensoriais e motoras não se limita ao desempenho imediato da criança, mas constitui o alicerce neurobiológico sobre o qual se estruturam competências cognitivas, emocionais e sociais mais complexas. Isso evidencia que a riqueza e a qualidade das experiências oferecidas nos primeiros anos de vida exercem influência decisiva sobre a trajetória global do desenvolvimento humano.

Como elucidado Doidge (2007), embora a plasticidade atinja seu pico na infância em razão do volume sináptico exuberante, o cérebro adulto retém a plasticidade dependente do uso. Mudanças estruturais significativas ocorrem em resposta a treinos intensivos em qualquer faixa etária, como demonstrado pelos clássicos estudos de Maguire et al. (2000) com taxistas em Londres, que evidenciaram o aumento do volume hipocampal posterior relacionado ao tempo de navegação espacial.

A adolescência representa um período singular para o aprimoramento das funções superiores do cérebro, em razão da intensa reorganização dos circuitos neurais que sustentam o pensamento abstrato, o controle cognitivo, a regulação emocional e a cognição social. Diferentemente da primeira infância, voltada à consolidação de funções básicas, essa etapa caracteriza-se pelo refinamento de habilidades mais complexas, essenciais para a autonomia e a adaptação às exigências da vida adulta. Nesse contexto, o fortalecimento das conexões entre o córtex pré-frontal, o hipocampo e as estruturas límbicas ampliam a capacidade de planejamento, tomada de decisão, flexibilidade cognitiva e autorregulação emocional.

Segundo Silvers (2022), a adolescência corresponde a uma fase crítica para a consolidação das habilidades de regulação emocional e cognição social. O fortalecimento das conexões entre regiões pré-frontais e estruturas límbicas possibilita respostas emocionais mais equilibradas e maior capacidade de compreensão das interações sociais. Essa reorganização cerebral favorece o desenvolvimento da identidade, das relações interpessoais e das competências socioemocionais.

Enquanto as crianças dependem fortemente de seus cuidadores para regular suas emoções, os adolescentes tornam-se progressivamente mais propensos a recorrer aos amigos ou a si próprios para realizar essa regulação. À medida que essa capacidade de autorregulação se desenvolve, também se modifica a forma como os adolescentes regulam suas emoções. Em consonância com a caracterização da adolescência como um período crítico para o desenvolvimento de processos cognitivos de ordem superior, os adolescentes passam a utilizar estratégias cognitivas de autorregulação com maior frequência e maior flexibilidade, favorecendo o aperfeiçoamento progressivo das competências emocionais e sociais (Silvers et al., 2022, p.259–260).

Sendo assim, a adolescência consolida-se como um período de intensa reorganização dos sistemas emocionais e sociais, no qual a ampliação da autonomia psicológica e o refinamento dos circuitos pré-frontolímbicos favorecem maior capacidade de autorregulação e adaptação interpessoal. Esse processo constitui um dos fundamentos para a construção da identidade, da resiliência emocional e da competência social na vida adulta.

2.4 Fatores Moduladores: Sono, Exercício, Estresse e Afeto

A plasticidade neural é altamente suscetível a fatores exógenos e do estilo de vida, que atuam facilitando ou inibindo os processos sinápticos:

Fator Modulador	Mecanismo Neurobiológico	Impacto na Cognição
Exercício Físico	Aumento na expressão de Fator Neurotrófico Derivado do Cérebro (BDNF) e angiogênese no hipocampo (GÓMEZ-PINILLA, 2008).	Melhora a memória operacional e aumento da taxa de neurogênese adulta.

Sono (NREM/REM)	Depuração metabólica e reativação de padrões de disparo ocorridos durante a vigília (STICKGOLD, 2005).	Reorganização sináptica e transferência de memórias de curto para longo prazo.
Estresse Crônico	Níveis elevados de cortisol que levam à atrofia de dendritos no hipocampo e córtex pré-frontal (MCEWEN, 2007).	Prejuízo na memória declarativa e hiperativação da amígdala.
Afeto e Emoção	Liberação de dopamina e noradrenalina que sinalizam ao cérebro a relevância do estímulo (DAMASIO, 1994).	Aumento da atenção seletiva e facilitação da potenciação a longo prazo.

2.5 Neuroplasticidade, funções executivas e aprendizagem escolar

Compreender como o cérebro aprende implica ultrapassar a descrição dos mecanismos moleculares envolvidos na plasticidade sináptica e observar, também, os processos cognitivos que permitem ao sujeito selecionar informações, estabelecer relações, controlar respostas, rever estratégias e organizar o próprio comportamento diante de uma tarefa. É nesse campo que se situam as chamadas funções executivas, conjunto de habilidades particularmente associado ao funcionamento do córtex pré-frontal e às redes neurais que o conectam a sistemas responsáveis pela memória, emoção e processamento de recompensas. Selemon (2013) relaciona o refinamento dessas capacidades às transformações sinápticas que continuam ocorrendo nos circuitos pré-frontais ao longo do desenvolvimento.

Memória de trabalho, controle inibitório e flexibilidade cognitiva encontram-se entre os processos mais frequentemente relacionados ao funcionamento executivo. Embora possam ser descritos separadamente, no cotidiano escolar eles atuam de maneira integrada. Um estudante que interpreta um problema, por exemplo, precisa manter determinadas informações temporariamente disponíveis, desconsiderar elementos irrelevantes, recuperar conhecimentos anteriores e, caso a primeira tentativa não funcione, modificar sua estratégia. Murty, Calabro e Luna (2016) mostram que o desenvolvimento cognitivo resulta da integração progressiva entre redes executivas, sistemas de memória e circuitos relacionados à motivação, e não do amadurecimento isolado de uma única região cerebral.

A memória de trabalho é mobilizada continuamente nas atividades de aprendizagem. Ler um período complexo, acompanhar uma sequência de instruções, resolver um cálculo composto ou organizar argumentos antes de registrá-los exige conservar informações ativas enquanto novas operações são realizadas. Sua importância, portanto, não está no simples armazenamento, mas na possibilidade de manipular conteúdos durante a execução de uma tarefa. A aprendizagem depende dessa interação entre aquilo que está sendo processado no momento e os conhecimentos já consolidados na memória de longa duração.

Há situações, entretanto, em que aprender exige interromper uma resposta imediata. Isso ocorre quando o estudante precisa conter uma reação impulsiva, ignorar estímulos concorrentes, revisar uma conclusão precipitada ou abandonar um procedimento automatizado que não responde adequadamente ao problema. Nesses casos, destaca-se o controle inibitório, habilidade relacionada ao refinamento dos circuitos pré-frontais e ao amadurecimento do controle cognitivo ao longo da infância e da adolescência (Selemon, 2013). Na escola, ele se manifesta tanto na organização comportamental quanto em operações intelectuais como conferir hipóteses, sustentar a atenção e avaliar alternativas antes de responder.

A flexibilidade cognitiva complementa esse processo ao possibilitar a reorganização do percurso mental. Se o controle inibitório contribui para interromper uma resposta inadequada, a flexibilidade permite experimentar outra possibilidade, considerar diferentes perspectivas ou transferir um conhecimento para uma situação nova. Aprender, nesse sentido, não significa reproduzir indefinidamente os mesmos esquemas. A própria noção de neuroplasticidade pressupõe transformação, uma vez que circuitos podem ser fortalecidos, enfraquecidos ou reorganizados em função das experiências e dos padrões de atividade estabelecidos ao longo do tempo (Bear; Connors; Paradiso, 2017).

Nesse conjunto de processos, a atenção ocupa posição decisiva. Nem todos os estímulos presentes no ambiente recebem o mesmo nível de processamento, e nem todas as informações serão posteriormente consolidadas. Direcionar recursos cognitivos para aquilo que é relevante constitui condição importante para a codificação e recuperação de conhecimentos. Por essa razão, atenção, memória e funções executivas não devem ser compreendidas como sistemas independentes dentro da experiência escolar. Quando o estudante acompanha uma explicação, relaciona conceitos ou recupera deliberadamente uma informação, diferentes mecanismos cognitivos são mobilizados de maneira coordenada.

É durante a adolescência que essa discussão adquire especial relevância para a educação. Trata-se de uma etapa marcada por intensa reorganização funcional, na qual diferentes sistemas cerebrais apresentam ritmos próprios de desenvolvimento. Murty, Calabro e Luna (2016) destacam que sistemas executivos, mnemônicos e mesolímbicos passam por processos de integração que modificam a forma como experiências, recompensas e informações são processadas. Ao mesmo tempo, Silvers (2022) identifica a adolescência como período particularmente significativo para o desenvolvimento da regulação emocional, mostrando que estratégias cognitivas passam a ser utilizadas com maior frequência e flexibilidade.

Essa aproximação entre cognição e emoção possui consequências importantes para a experiência escolar. À medida que as conexões entre regiões pré-frontais e estruturas relacionadas ao processamento emocional são refinadas, ampliam-se progressivamente capacidades como planejamento, tomada de decisão, autorregulação e controle do comportamento. Silvers (2022) ressalta que os adolescentes se tornam menos dependentes da regulação exercida pelos adultos e passam a utilizar estratégias próprias para manejar seus estados emocionais. Na escola, esse processo aparece nas demandas crescentes por organização dos estudos, administração de prazos, resolução de conflitos e tomada de decisões sobre o próprio percurso acadêmico.

12

As condições em que a aprendizagem ocorre também interferem nesses processos. Estresse persistente, privação de sono e sobrecarga emocional podem repercutir na atenção, memória e autorregulação. McEwen (2007), ao analisar os efeitos neurobiológicos do estresse, demonstra que a exposição crônica aos mediadores desse processo pode produzir alterações em estruturas como hipocampo, amígdala e córtex pré-frontal. Na mesma direção, Maski e Kothare (2013) associam a privação de sono a prejuízos no funcionamento neurocomportamental de crianças. Tais evidências reforçam que o desempenho escolar não pode ser explicado apenas por esforço individual ou por uma suposta capacidade intelectual fixa.

Reconhecer a influência desses fatores, contudo, não significa estabelecer relações lineares entre um mecanismo cerebral e determinado resultado educacional. O cérebro funciona como um sistema integrado, e a aprendizagem emerge da interação entre características individuais, experiências anteriores, ambiente, mediação e exigências específicas de cada tarefa. Bear, Connors e Paradiso (2017) evidenciam a complexidade da organização funcional do sistema nervoso e dos processos de plasticidade. Reduzir essa complexidade a fórmulas

pedagógicas simples significaria transformar conhecimentos neurocientíficos em prescrições que a própria literatura não sustenta.

Ainda assim, determinados achados ajudam a compreender por que a aprendizagem exige tempo, retomada e reorganização. Kandel (2001) demonstrou que formas mais duradouras de memória envolvem alterações moleculares distintas daquelas relacionadas às mudanças sinápticas de curta duração, incluindo expressão gênica e síntese proteica. Essa constatação permite compreender por que a simples exposição a um conteúdo não equivale necessariamente à consolidação da aprendizagem. Retomar conhecimentos, estabelecer novas associações e mobilizar informações previamente estudadas em diferentes situações oferece novas oportunidades de ativação e reorganização das redes relacionadas ao que se aprende.

A aproximação entre neuroplasticidade, funções executivas e aprendizagem escolar permite, portanto, estabelecer uma ponte mais consistente entre o nível neurobiológico e a experiência educacional. Memória de trabalho, controle inibitório, flexibilidade cognitiva, atenção, emoção e motivação participam continuamente das ações de ler, escrever, interpretar, comparar, resolver problemas e tomar decisões. Se, em nível celular, aprender envolve alterações na eficácia e na organização das conexões neurais, no plano cognitivo essas mudanças se expressam na possibilidade de lembrar, selecionar, inibir, reorganizar e aplicar conhecimentos. A contribuição da neurociência para a educação reside justamente nessa ampliação da compreensão sobre o aprender, sem reduzir o fenômeno educativo a explicações exclusivamente cerebrais.

3. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de caráter narrativo e integrativo, desenvolvida com o propósito de sistematizar e discutir evidências científicas relacionadas aos mecanismos neurobiológicos da neuroplasticidade e às suas interfaces com o desenvolvimento cognitivo e a aprendizagem. A seleção do material foi realizada por meio de buscas nas bases *PubMed*, *SciELO*, *Scopus* e *Web of Science*, contemplando produções clássicas e contemporâneas publicadas entre 1890 e 2024. A amplitude temporal adotada justifica-se pela necessidade de articular estudos seminais, responsáveis pela construção histórica do conceito de plasticidade neural, a pesquisas mais recentes sobre seus mecanismos celulares, moleculares e cognitivos.

Como critérios de inclusão, foram considerados livros de referência na área e artigos científicos revisados por pares, bem como estudos experimentais, ensaios clínicos e revisões sistemáticas que abordassem diretamente a neuroplasticidade, o desenvolvimento cerebral, a memória, as funções cognitivas ou os substratos neurais relacionados à aprendizagem. Também foram incorporadas obras de reconhecido valor histórico e científico, como as contribuições de Ramón y Cajal, Hebb e Hubel e Wiesel, indispensáveis à compreensão da evolução conceitual do campo.

Foram excluídas publicações provenientes de fontes não acadêmicas ou sem avaliação científica, assim como estudos centrados exclusivamente em patologias neurodegenerativas avançadas que não apresentassem relação direta com os processos de aprendizagem, cognição ou plasticidade cerebral.

Após a seleção, as produções foram organizadas e analisadas tematicamente, buscando-se estabelecer aproximações entre diferentes níveis de compreensão da neuroplasticidade. Os achados foram agrupados em eixos relacionados aos fundamentos conceituais e históricos, mecanismos celulares e moleculares, desenvolvimento cognitivo ao longo da vida, fatores moduladores da plasticidade e possíveis implicações para a aprendizagem e a educação. Essa organização permitiu integrar evidências neurobiológicas e cognitivas, favorecendo uma análise articulada do fenômeno investigado.

14

4. DISCUSSÃO

A análise dos estudos reunidos evidencia que a aprendizagem não corresponde apenas à aquisição ou ao armazenamento de informações, mas envolve modificações funcionais e estruturais nos circuitos neurais mobilizados pela experiência. Sob essa perspectiva, aprender implica reorganizar padrões de atividade cerebral, fortalecer determinadas conexões e estabelecer novas relações entre conhecimentos previamente consolidados e informações recém-adquiridas. Os mecanismos de plasticidade discutidos ao longo deste estudo, especialmente a potenciação de longa duração, a remodelação sináptica e a reorganização funcional das redes neurais, sustentam a compreensão do cérebro como um sistema dinâmico e continuamente responsivo às experiências.

Entre os mecanismos envolvidos nesse processo, destaca-se o fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF), relacionado à manutenção e à modulação da plasticidade neural. Gómez-Pinilla (2008) demonstra que fatores associados ao estilo de vida e às condições ambientais

podem interferir na expressão de moléculas envolvidas na função cerebral, entre elas o BDNF. Ambientes estimulantes e experiências reiteradas de aprendizagem podem, assim, favorecer processos associados à formação e ao fortalecimento das conexões neurais, reforçando a relação entre experiência, atividade cerebral e reorganização dos circuitos.

Essa capacidade adaptativa não se restringe às etapas iniciais do desenvolvimento. Embora a plasticidade apresente características distintas ao longo do ciclo vital, o cérebro adulto conserva possibilidades de reorganização estrutural e funcional em resposta à experiência. Os achados discutidos neste estudo afastam, portanto, uma interpretação determinista do envelhecimento cognitivo. Evidências como as apresentadas por Maguire et al. (2000), ao identificarem diferenças estruturais no hipocampo associadas à experiência prolongada de navegação espacial, ilustram como determinadas experiências podem estar relacionadas a modificações cerebrais mesmo na vida adulta.

Aplicações pedagógicas e neuromitos

A aproximação entre neurociência e educação também exige cautela diante de interpretações simplificadas sobre o funcionamento cerebral. Um dos exemplos mais difundidos é a concepção de “estilos de aprendizagem”, segundo a qual estudantes aprenderiam melhor quando o ensino fosse adaptado exclusivamente a modalidades visual, auditiva ou cinestésica. Essa interpretação não encontra sustentação neurobiológica suficiente para justificar a classificação rígida dos estudantes nessas categorias. Conforme a perspectiva apresentada por Zull (2002), a aprendizagem envolve a integração de diferentes sistemas de processamento, o que favorece abordagens que articulem múltiplas formas de representação e interação com o conhecimento.

Outro neuromito recorrente sustenta que os seres humanos utilizariam apenas 10% do cérebro. O conhecimento acumulado sobre a organização funcional do sistema nervoso contradiz essa afirmação. Diferentes regiões e redes apresentam níveis variados de ativação conforme a atividade realizada, sem que isso signifique a existência de extensas áreas cerebrais permanentemente inativas (Bear; Connors; Paradiso, 2017). A disseminação desses mitos evidencia a necessidade de uma aproximação mais criteriosa entre descobertas neurocientíficas e práticas educacionais, evitando transformar resultados complexos em explicações simplificadas sobre como os estudantes aprendem.

No campo pedagógico, as evidências sobre plasticidade e consolidação da memória ajudam a compreender a relevância de experiências de aprendizagem distribuídas ao longo do tempo. A retomada de conteúdos, a recuperação ativa de informações e a possibilidade de estabelecer novas associações favorecem a reativação das redes neurais relacionadas aos conhecimentos aprendidos. Além disso, o sono desempenha papel importante nos processos de consolidação da memória, como destaca Stickgold (2005). Dessa forma, a contribuição da neurociência para a educação não consiste em oferecer receitas metodológicas, mas em ampliar a compreensão dos mecanismos que sustentam a aprendizagem e em favorecer práticas pedagógicas mais coerentes com o caráter dinâmico, integrado e plástico do cérebro humano.

5. CONCLUSÃO

A investigação desenvolvida permitiu compreender a neuroplasticidade como um dos fundamentos neurobiológicos centrais do desenvolvimento cognitivo e dos processos de aprendizagem ao longo da vida. Retomando o objetivo geral deste estudo, a análise da literatura evidenciou que aprender envolve modificações funcionais e estruturais nos circuitos neurais, produzidas pela interação contínua entre fatores biológicos, experiências, condições ambientais e processos cognitivos e emocionais. Dessa forma, o cérebro humano não pode ser compreendido como uma estrutura estática, mas como um sistema dinâmico cuja organização se modifica em resposta às experiências vivenciadas ao longo do desenvolvimento.

16

Em relação aos mecanismos celulares e moleculares da neuroplasticidade, os estudos analisados demonstraram a importância da modificação da eficácia sináptica, especialmente por meio da potenciação de longa duração (LTP), bem como de processos como sinaptogênese, poda sináptica, remodelação dendrítica e neurogênese. As contribuições de Hebb (1949) foram fundamentais para a compreensão da plasticidade dependente da atividade, posteriormente aprofundada pelas evidências experimentais de Kandel (2001) acerca das alterações moleculares e estruturais associadas à formação das memórias. Nessa perspectiva, a aprendizagem produz efeitos que ultrapassam a aquisição imediata de informações, envolvendo processos progressivos de estabilização e reorganização das redes neurais.

O percurso histórico analisado também permitiu observar uma importante transformação na maneira como a ciência compreende o desenvolvimento cerebral. A concepção de um sistema nervoso essencialmente fixo após determinadas etapas da vida foi gradualmente substituída pelo reconhecimento da permanência da capacidade adaptativa

cerebral. Embora existam períodos críticos e sensíveis e a plasticidade apresente características distintas conforme a etapa do desenvolvimento, as evidências discutidas neste estudo demonstram que a possibilidade de reorganização neural não desaparece na vida adulta. Assim, a aprendizagem ao longo da vida encontra sustentação na própria capacidade do sistema nervoso de responder à experiência e modificar seus padrões de funcionamento.

Outro objetivo alcançado foi a identificação de fatores capazes de favorecer ou limitar os processos de plasticidade. Os trabalhos de Gómez-Pinilla (2008), McEwen (2007) e Stickgold (2005), entre outros discutidos ao longo do estudo, evidenciam que atividade física, sono, estresse e condições ambientais participam da modulação de mecanismos associados à cognição e à memória. Nesse contexto, fatores como o BDNF e os mediadores relacionados à resposta ao estresse ajudam a demonstrar que a aprendizagem ocorre em um organismo integrado, no qual aspectos fisiológicos, cognitivos e emocionais não podem ser analisados de maneira completamente independente.

A discussão das funções executivas ampliou essa compreensão ao aproximar os mecanismos neurobiológicos das demandas concretas da aprendizagem escolar. Atenção, memória de trabalho, controle inibitório e flexibilidade cognitiva participam de atividades como selecionar informações, resolver problemas, organizar estratégias, tomar decisões e recuperar conhecimentos anteriormente adquiridos. As contribuições de Selemon (2013), Murty, Calabro e Luna (2016) e Silvers (2022) reforçam, especialmente no contexto da adolescência, que o desenvolvimento dessas capacidades está relacionado à reorganização progressiva de circuitos pré-frontais e à sua integração com sistemas de memória, motivação e regulação emocional. Aprender, portanto, envolve uma complexa articulação entre plasticidade cerebral, cognição, emoção e experiência.

No campo educacional, os resultados analisados reforçam a necessidade de uma aproximação criteriosa entre neurociência e pedagogia. O conhecimento sobre plasticidade cerebral pode contribuir para compreender a relevância da retomada de conhecimentos, da recuperação ativa, da distribuição das experiências de aprendizagem ao longo do tempo e das condições fisiológicas e emocionais envolvidas no aprender. Entretanto, tais evidências não devem ser convertidas em fórmulas universais ou explicações simplificadas sobre o funcionamento do estudante. A discussão dos neuromitos demonstra justamente os riscos de transpor resultados neurocientíficos para a educação sem considerar sua complexidade e seus limites.

Conclui-se, portanto, que a neuroplasticidade constitui o substrato biológico que possibilita ao cérebro modificar-se em resposta à experiência, sustentando processos de aprendizagem e desenvolvimento cognitivo em diferentes momentos da vida. A interlocução entre neurociência cognitiva, psicologia e educação mostra-se especialmente relevante quando preserva a especificidade de cada campo e evita interpretações reducionistas do fenômeno educativo. Mais do que oferecer prescrições metodológicas, compreender os mecanismos envolvidos na plasticidade cerebral permite ampliar o conhecimento sobre como memória, atenção, emoção, funções executivas e condições ambientais participam da aprendizagem, favorecendo práticas educacionais fundamentadas em evidências e, ao mesmo tempo, sensíveis à complexidade do desenvolvimento humano.

REFERÊNCIAS

AIMONE, J. B. et al. Regulation and function of adult neurogenesis: from genes to cognition. *Physiological Reviews*, v. 94, n. 4, p. 991–1026, 2014.

ARREDONDO, S. B. et al. Role of Wnt signaling in adult hippocampal neurogenesis in health and disease. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, v. 8, art. 860, 2020.

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. *Neurociências: desvendando o cérebro*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

18

BLISS, T. V. P.; LØMO, T. Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *The Journal of Physiology*, v. 232, n. 2, p. 331–356, 1973.

BRITTO, P. R. et al. Nurturing care: promoting early childhood development. *The Lancet*, v. 389, n. 10064, p. 91–102, 2017. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31390-3.

CHRISTIAN, K. M.; SONG, H.; MING, G. L. Functions and dysfunctions of adult hippocampal neurogenesis. *Annual Review of Neuroscience*, v. 37, p. 243–262, 2014.

DAMASIO, A. R. *O erro de Descartes: emoção, razão e o cérebro humano*. São Paulo: Companhia das Letras, 1994.

DENOTH-LIPPUNER, A.; JESSBERGER, S. Formation and integration of new neurons in the adult hippocampus. *Nature Reviews Neuroscience*, v. 22, n. 4, p. 223–236, 2021.

DINCHEVA, I.; PATTWELL, S. S.; LEE, F. S.; CASEY, B. J. The role of BDNF in the development of fear learning. *Depression and Anxiety*, v. 33, n. 10, p. 907–917, 2016. DOI: 10.1002/da.22572.

DOW-EDWARDS, D. et al. Experience during adolescence shapes brain development: from synapses and networks to normal and pathological behavior. *Neurotoxicology and Teratology*, v. 76, art. 106834, 2019. DOI: 10.1016/j.ntt.2019.106834.

ERIKSSON, P. S. et al. Neurogenesis in the adult human hippocampus. *Nature Medicine*, v. 4, n. 11, p. 1313–1317, 1998.

FUCHS, E.; FLÜGGE, G. Adult neuroplasticity: more than 40 years of research. *Neural Plasticity*, v. 2014, art. 541870, 2014.

GAGE, F. H. Neurogenesis in the adult brain. *Journal of Neuroscience*, v. 22, n. 3, p. 612–613, 2002.

GÓMEZ-PINILLA, F. Brain foods: the effects of nutrients on brain function. *Nature Reviews Neuroscience*, v. 9, n. 7, p. 568–578, 2008.

HEBB, D. O. *The organization of behavior: a neuropsychological theory*. New York: John Wiley & Sons, 1949.

HUBEL, D. H.; WIESEL, T. N. The period of susceptibility to the physiological effects of unilateral eye closure in kittens. *The Journal of Physiology*, v. 206, n. 2, p. 419–436, 1970.

JAMES, W. *The principles of psychology*. New York: Henry Holt and Company, 1890.

JING, J.-Q.; JIA, S.-J.; YANG, C.-J. Physical activity promotes brain development through serotonin during early childhood. *Neuroscience*, v. 554, p. 34–42, 2024. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2024.07.015.

KANDEL, E. R. The molecular biology of memory storage: a dialogue between genes and synapses. *Science*, v. 294, n. 5544, p. 1030–1038, 2001.

KANDEL, E. R. et al. *Princípios de neurociências*. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

KEMPERMANN, G. et al. Human adult neurogenesis: evidence and remaining questions. *Cell Stem Cell*, v. 23, n. 1, p. 25–30, 2018. DOI: 10.1016/j.stem.2018.04.004.

LEISMAN, G.; ALFASI, G.; D'ANGIULLI, A. Emotional brain development: neurobiological indicators from fetus through toddlerhood. *Brain Sciences*, v. 15, n. 1, art. 38, 2025. DOI: 10.3390/brainsci15010038.

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

LIU, W. et al. The role of neural plasticity in depression: from hippocampus to prefrontal cortex. *Neural Plasticity*, v. 2017, art. 6871089, 2017.

LLEDO, P.; ALONSO, M.; GRUBB, M. S. Adult neurogenesis and functional plasticity in neuronal circuits. *Nature Reviews Neuroscience*, v. 7, n. 3, p. 179–193, 2006.

LOPES, G. C. D. A neurociência a serviço da aprendizagem e da educação. *Revista Científica Cognitionis*, v. 1, n. 2, p. 1–11, 2020. DOI: 10.38087/2595.8801.22.

MAGUIRE, E. A. et al. Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 97, n. 8, p. 4398–4403, 2000.

MASKI, K.; KOTHARE, S. V. Sleep deprivation and neurobehavioral functioning in children. *International Journal of Psychophysiology*, v. 89, n. 2, p. 259–264, 2013. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2013.06.019.

MCEWEN, B. S. Physiology and neurobiology of stress and adaptation: central role of the brain. *Physiological Reviews*, v. 87, n. 3, p. 873–904, 2007.

MURTY, V. P.; CALABRO, F.; LUNA, B. The role of experience in adolescent cognitive development: integration of executive, memory, and mesolimbic systems. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, v. 70, p. 46–58, 2016. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2016.07.034.

NELSON III, C. A.; ZEANA, C. H.; FOX, N. A. How early experience shapes human development: the case of psychosocial deprivation. *Neural Plasticity*, v. 2019, art. 1676285, 2019. DOI: 10.1155/2019/1676285.

PIAGET, J. *Genetic epistemology*. New York: Columbia University Press, 1970.

PURVES, D. et al. *Neurosciência*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2019.

RAMÓN Y CAJAL, S. *Histologie du système nerveux de l'homme et des vertébrés*. Paris: Maloine, 1911.

SELEMON, L. D. A role for synaptic plasticity in the adolescent development of executive function. *Translational Psychiatry*, v. 3, n. 3, e238, 2013. DOI: 10.1038/tp.2013.7. 20

SILVERS, J. A. Adolescence as a pivotal period for emotion regulation development. *Current Opinion in Psychology*, v. 44, p. 258–263, 2022. DOI: 10.1016/j.copsyc.2021.09.023.

SQUIRE, L. R.; KANDEL, E. R. *Memória: da mente às moléculas*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

STICKGOLD, R. Sleep-dependent memory consolidation. *Nature*, v. 437, n. 7063, p. 1272–1278, 2005.

TAU, G. Z.; PETERSON, B. S. Normal development of brain circuits. *Developmental Cognitive Neuroscience*, v. 1, n. 1, p. 1–15, 2010. DOI: 10.1016/j.dcn.2010.01.012.

VYGOTSKY, L. S. *Mind in society: the development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press, 1978.

ZULL, J. E. *The art of changing the brain: enriching the practice of teaching by exploring the biology of learning*. Sterling: Stylus Publishing, 2002.