NEUROCIÊNCIA E EDUCAÇÃO

OLHANDO PARA O FUTURO DA APRENDIZAGEM



ANA LUIZA NEIVA AMARAL
LEONOR BEZERRA GUERRA

SESI
Serviço Social da Indústria
PELO FUTURO DO TRABALHO



NEUROCIÊNCIA E EDUCAÇÃO

OLHANDO PARA O FUTURO DA APRENDIZAGEM

Acesse a publicação pelo QR Code abaixo

Acesse os infográficos pelo QR CODE abaixo

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI
Robson Braga de Andrade
Presidente

Gabinete da Presidência
Teodomiro Braga da Silva
Chefe do Gabinete - Diretor

Diretoria de Educação e Tecnologia – DIRET
Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti
Diretor de Educação e Tecnologia

Serviço Social da Indústria – SESI
Eduardo Eugenio Gouvêa Vieira
Presidente do Conselho Nacional

SESI – Departamento Nacional
Robson Braga de Andrade
Diretor

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti
Diretor-Superintendente

Paulo Mól Júnior
Diretor de Operações

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI
Robson Braga de Andrade
Presidente do Conselho Nacional

SENAI – Departamento Nacional
Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti
Diretor-Geral

Julio Sergio de Maya Pedrosa Moreira
Diretor-Adjunto

Gustavo Leal Sales Filho
Diretor de Operações

Instituto Euvaldo Lodi – IEL
Robson Braga de Andrade
Presidente do Conselho Superior

IEL – Núcleo Central
Paulo Afonso Ferreira
Diretor-Geral

Eduardo Vaz da Costa Junior
Superintendente

NEUROCIÊNCIA E EDUCAÇÃO

OLHANDO PARA O FUTURO DA APRENDIZAGEM



ANA LUIZA NEIVA AMARAL
LEONOR BEZERRA GUERRA

SESI
Serviço Social da Indústria
PELO FUTURO DO TRABALHO

© 2022. SESI – Departamento Nacional.
Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

SESI/DN
Diretoria de Educação Profissional e Tecnologia, Gestão e Mercado

FICHA CATALOGRÁFICA

S491n

Serviço Social da Indústria. Departamento Nacional.
Neurociência e educação : olhando para o futuro da aprendizagem / Serviço Social da Indústria, Ana Luiza Neiva Amaral, Leonor Bezerra Guerra. Brasília : SESI/DN, 2022.

290 p. : il.

ISBN: 978-65-89559-39-9

1. Neurociência 2. Educação 3. Futuro I. Título

CDU: 37.015.3

Elaborado por Alberto Nemoto Yamaguti CRB 2396/2009

SESI
Serviço Social da Indústria
Departamento Nacional

Sede
Setor Bancário Norte
Quadra 1 – Bloco C
Edifício Roberto Simonsen
70040–903 – Brasília – DF
http://www.portaldaindustria.com.br/sesi/

Serviço de Atendimento ao Cliente – SAC
Tels.: +55 (61) 3317-9000/ 3317-9994
sac@cni.com.br

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quando a Neurociência encontra a Educação 38
Figura 2 – Como o cérebro aprende? Os caminhos da aprendizagem 68
Figura 3 – Principais funções mentais envolvidas na aprendizagem 70
Figura 4 – 12 Princípios da Neurociência para uma aprendizagem mais efetiva 91
Figura 5 – Constituição de sentido na aprendizagem 124
Figura 6 – Transformando os 12 princípios da Neurociência em ação 177
Figura 7 – Nova Ciência da Aprendizagem 185
Figura 8 – 22 Tendências da Educação no mundo 201



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO **9**

PREFÁCIO **11**

AUTORAS **13**

INTRODUÇÃO **15**

1 METODOLOGIA **19**

2 O QUE É NEUROCIÊNCIA? **23**

2.1 Breve histórico da Neurociência 24

2.2 Investimentos e avanço da Neurociência 30

2.3 Neurociência e suas contribuições para outros campos do saber 32

3 POR QUE NEUROCIÊNCIA E EDUCAÇÃO? **35**

3.1 Aprendizagem: a ponte entre Neurociência e Educação 35

3.2 Do laboratório para a sala de aula 40

3.3 Neurociência dialogando com Piaget, Ausubel, Vygotsky, Dewey e Wallon 43

3.4 Neurociência e Educação: o diálogo continua 46

4 APRENDIZAGEM NOS TORNA HUMANOS **51**

4.1 O cérebro não nasce pronto 53

4.2 Cérebro em constante desenvolvimento 55

4.3 Cérebro singular: jeito único de ser e aprender 57

4.4 Viver é interagir. Interagir para aprender. Aprender para viver 59

5 COMO APRENDEMOS? **67**

5.1 Emoção e motivação 71

5.2 Atenção 74

5.3 Memória 77

5.4 Funções executivas 82

6 PRINCÍPIOS DA NEUROCIÊNCIA QUE PODEM POTENCIALIZAR A APRENDIZAGEM **89**

6.1 Aprendizagem modifica o cérebro 94

6.2 A forma como cada um aprende é única 99

6.3 A interação social favorece a aprendizagem 105

6.4 O uso da tecnologia influencia o processamento e o armazenamento das informações 115

6.5 A emoção orienta a aprendizagem 123

6.6 A motivação coloca o cérebro em ação para a aprendizagem 132

6.7 A atenção é a porta de entrada para a aprendizagem 139

6.8 O cérebro não é multitarefa 143

6.9 Aprendizagem ativa requer elaboração e tempo para consolidação na memória 147

6.10 A autorregulação e a metacognição potencializam a aprendizagem 157

6.11 Quando o corpo participa, a aprendizagem é mais efetiva 163

6.12 A criatividade reorganiza múltiplas conexões cerebrais e exercita o cérebro aprendiz 168

7 OLHANDO PARA O FUTURO DA APRENDIZAGEM **181**

REFERÊNCIAS **205**

GLOSSÁRIO **285**



APRESENTAÇÃO

A capacidade de aprender ao longo de toda a vida é cada vez mais importante, a ponto de ser considerada um recurso fundamental no século XXI. Diante das mudanças, em ritmo acelerado, causadas pela digitalização da economia, a sociedade contemporânea requer novas abordagens de ensino e aprendizagem, pautadas em evidências científicas e em inovações. A pesquisa no campo da Neurociência tem avançado amplamente na compreensão de como o cérebro aprende, mas é preciso sistematizar e comunicar esse conhecimento para que seja possível construir a necessária ponte entre ciência e educação.

Trazer as descobertas da Neurociência para o contexto educativo é um passo essencial para que os professores possam inovar nas estratégias pedagógicas, e os estudantes consigam escolher práticas de estudo mais efetivas. Além disso, possibilita que os pais criem condições mais favoráveis para a aprendizagem, e os gestores usem evidências científicas para embasar políticas públicas que causem impacto verdadeiro no desempenho escolar.

É nesse contexto que o Serviço Social da Indústria (SESI) apresenta este estudo, fruto do diálogo entre uma neurocientista e uma educadora. O documento trata de 12 princípios da Neurociência relacionados à aprendizagem e de 22 tendências que estão delineando a educação do futuro. Com linguagem de fácil acesso, são mostradas importantes visões para um percurso educacional mais alinhado com a formação de pessoas preparadas para enfrentar os grandes desafios da atualidade e do futuro.

Boa leitura.

Robson Braga de Andrade
Presidente da CNI
Diretor do Departamento Nacional do SESI



PREFÁCIO

O diálogo entre a pesquisa científica e a sala de aula é fundamental em um país como o Brasil que tem desafios históricos a enfrentar no campo educacional. Eis aqui um livro que traz importantes reflexões para que o país possa avançar na melhoria da qualidade da educação com base em evidências científicas. Por meio de linguagem acessível e utilização de infográficos são indicados importantes caminhos para uma prática pedagógica mais efetiva.

Com base na revisão de 840 estudos e pesquisas desenvolvidos no Brasil e em outros 50 países, as autoras apresentam as principais descobertas da Neurociência relacionadas à aprendizagem e esclarecem como o professor pode colocar essas evidências científicas em ação na sala de aula. O leitor também é convocado a repensar os propósitos da educação nesse novo mundo moldado pela inteligência artificial e repleto de desafios. No último capítulo, são apresentadas 22 tendências que estão redesenhando a educação ao redor do mundo e promovendo inovações em todas as dimensões do processo de ensino e aprendizagem.

De fato, é preciso inovar na educação. Apesar das conquistas observadas nas últimas décadas, o atual quadro educacional brasileiro apresenta fragilidades que revelam o quanto o país está distante de promover padrões desejáveis de aprendizagem para a população.

Em 2019, apenas 69% dos estudantes que iniciaram o ensino fundamental concluíram o ensino médio: um terço ficou pelo caminho sem completar sua escolarização. Para além da questão da permanência na escola, o Brasil tem tido pouca efetividade nos resultados de aprendizagem. Os dados do Sistema de Avaliação da Educação Básica (Saeb) indicam que, nos últimos 20 anos, o país vem mantendo um patamar de aprendizagem muito baixo, no qual apenas 1 em cada 10 estudantes conclui o ensino médio com aprendizado adequado em matemática.

O fato é que os desacertos do Brasil no campo educacional têm resultado em desperdício de talentos e recursos, como também em um grande problema social para o país, que hoje contabiliza cerca de 12 milhões de jovens, com idade entre 15 e 29 anos, que não estudam e nem trabalham.

Além dos desafios apontados anteriormente, as autoras destacam uma característica da educação brasileira a ser superada: muitos sistemas de ensino ainda utilizam metodologias que reforçam um modelo passivo-reprodutivo no qual o estudante apenas repete informações. Tal modelo vai na contramão dos princípios da Neurociência Educacional que foram explicitados ao longo do livro.

Para que o Brasil possa buscar novos caminhos para a educação pautados em evidências científicas é preciso promover um diálogo mais fecundo entre pesquisadores, educadores e gestores públicos. Para além dessa necessária interlocução, é fundamental equipar os professores com os conhecimentos necessários que lhes permitam redesenhar a prática pedagógica do século XXI. Este livro foi escrito com esse propósito.

Com a pandemia da covid-19, o Brasil está vivenciando uma crise sem precedentes na área da educação. Tal cenário requer ação imediata para mitigar e reverter o atraso na alfabetização e as perdas de aprendizagem. O país precisa investir em estratégias de ensino efetivas, que estejam alinhadas à pesquisa científica de ponta, para potencializar os resultados na Educação.

O desenvolvimento social e econômico de um país passa, fundamentalmente, pela consolidação de um sistema educacional que ofereça oportunidades a todos e esteja sintonizado com os avanços da sociedade, da ciência e da tecnologia. Não há tempo a perder. É preciso acelerar o passo na direção das mudanças necessárias.

Rafael Lucchesi
Diretor de Educação e Tecnologia da CNI
Diretor-Superintendente do SESI

AUTORAS

ANA LUIZA NEIVA AMARAL

Pedagoga, psicopedagoga, mestre e doutora em Educação pela Universidade de Brasília (UnB) com experiência de mais de 30 anos no campo da educação. Atualmente, é especialista do Serviço Social da Indústria (SESI) onde coordena estudos e pesquisas no campo da Educação. Autora do livro *Mapa da evolução da aprendizagem no Brasil* e coautora do livro *A complexidade da aprendizagem: destaque ao Ensino Superior*.

LEONOR BEZERRA GUERRA

Médica, neuropsicóloga, mestre em Fisiologia e doutora em Biologia Celular pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professora de Neuroanatomia no Departamento de Morfologia e no Programa de Pós-Graduação em Neurociências do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG. Coordenadora do Programa de Extensão NeuroEduca, pioneiro na formação de professores no campo da Neurociência. Autora do livro *Neurociência e Educação: como o cérebro aprende*.



INTRODUÇÃO

O cérebro não nasce pronto. Precisamos de interação social para aprender e prosperar. Temos 86 bilhões[1] de neurônios à nossa disposição, mas é a qualidade das nossas experiências e aprendizagens que impacta tanto a arquitetura quanto o funcionamento cerebral ao longo do desenvolvimento. O problema é que não nascemos com um manual de como usar o cérebro, um guia de como se aprende e de como podemos alavancar os nossos processos de aprendizagem. Estudantes, pais, professores e gestores não contam com uma bússola que indique os melhores caminhos na busca de uma aprendizagem plena e significativa. Nessa perspectiva, um dos principais desafios da Neurociência Educacional é traduzir as descobertas desse campo em princípios e orientações práticas que possam nortear o trabalho diário dos professores e embasar políticas públicas.

As pesquisas no campo da Neurociência moderna começaram no final do século XIX, mas foram as três últimas décadas que testemunharam o surgimento de novas e poderosas técnicas de neuroimagem para análise do cérebro e uma notável aceleração da pesquisa para elucidação das redes neurais da aprendizagem. Mais recentemente, novas tecnologias de neuroimagem tornaram possível medir a atividade cerebral de uma pessoa em movimento. Esse avanço possibilitou aos cientistas examinarem o cérebro humano em tempo real e obterem informações sobre o funcionamento cerebral dos estudantes à medida que o comportamento acontece. No campo da Educação, isso significa que as pesquisas agora não mais se limitam aos laboratórios e podem ser realizadas em salas de aula, com estudantes reais interagindo e vivenciando situações autênticas de aprendizagem.

Atualmente, a Neurociência já dispõe de um conjunto sólido de evidências científicas que podem contribuir para o campo da Educação. De fato, essas descobertas colocam em relevo como o suporte educacional adequado pode levar a mudanças positivas no cérebro e, portanto, na mente. No entanto, o diálogo entre a Neurociência e a Educação nem sempre tem sido proveitoso porque, em muitos casos, as evidências científicas são de difícil interpretação e não se conectam diretamente com o dia a dia da sala de aula.

---

1 O número de neurônios nas diversas estruturas do sistema nervoso tem sido investigado ao longo dos anos. Os dados mais recentes indicam que o encéfalo, constituído pelo cérebro, cerebelo e tronco encefálico, tem cerca de 86 bilhões de neurônios.
Herculano-Houzel S. (2009). The human brain in numbers: a linearly scaled-up primate brain.
Azevedo, F. A. et al. (2009). Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain.
von Bartheld, C. S. et al. (2016). The search for true numbers of neurons and glial cells in the human brain: A review of 150 years of cell counting.

Por isso, avançar nas pesquisas sobre como o cérebro aprende é apenas uma parte dessa equação. A outra é equipar os professores com os conhecimentos necessários que lhes permitam redesenhar a prática pedagógica do século XXI.

A forma como o modelo educacional corrente está desenhado não potencializa a aprendizagem e, muitas vezes, vai na direção oposta das descobertas da Neurociência, tornando o caminho da aprendizagem mais difícil para os estudantes. A maioria dos sistemas de ensino ainda não conseguiu superar o ensino enciclopédico, focado na reprodução de informações, despersonalizado e desconectado das emoções. Como consequência, há um descompasso entre o que a escola oferece e a expectativa da sociedade e dos estudantes, que revelam crescente indisposição e falta de encantamento com a atividade escolar.

O custo econômico e social de um sistema educacional que não impulsiona o aprendizado e não garante a base cognitivo-emocional para a aprendizagem ao longo da vida é muito alto. É preciso repensar os propósitos da Educação nesse novo mundo moldado pela inteligência artificial e repleto de desafios e dilemas éticos. Essa transformação requer uma reflexão com base em novos parâmetros que permitam a formação de crianças e jovens preparados para lidar com as situações complexas e em constante transformação que caracterizam a sociedade atual. Pessoas que sejam protagonistas e engendrem as mudanças que precisamos para viver melhor.

Nessa perspectiva, o presente estudo, fruto do diálogo entre uma neurocientista e uma educadora, apresenta 12 princípios da Neurociência que podem contribuir para fundamentar um ensino inovador que potencialize a aprendizagem. A apresentação de cada um dos princípios está estruturada em duas partes. Na primeira, são explicitados os resultados de um conjunto de pesquisas recentes que fundamentam o princípio neurocientífico. Na segunda parte, intitulada *Transformando o princípio em ação*, são apresentados exemplos e sugestões de como cada um dos princípios pode ser traduzido para a prática pedagógica. O último capítulo faz um resgate histórico da Educação, analisa o contexto educacional atual e revela 22 tendências emergentes no campo educacional que se entrelaçam com as descobertas da Neurociência.

Para contemplar tal objetivo, foi feita ampla revisão da literatura nacional e internacional que resultou na análise de 840 estudos e pesquisas realizados em 51 países. A amplitude internacional revela que o movimento iniciado nos Estados Unidos da América (EUA), que marcou os anos 90 como a *Década do Cérebro*, avançou para inúmeros países, propiciando a revolução científica em curso que assume, geograficamente, contornos mundiais em um esforço cada vez mais multidisciplinar.

A organização dos capítulos está estruturada para oferecer ao leitor uma compreensão crescente de um conjunto de conceitos que entrelaçam Neurociência e Educação. Após a apresentação da metodologia, o segundo capítulo aborda a definição e o contexto histórico da Neurociência. O terceiro capítulo esclarece a ponte entre Neurociência e Educação. O quarto capítulo traz a definição de aprendizagem e a especificidade do desenvolvimento do cérebro humano. O quinto capítulo explicita como o cérebro processa a aprendizagem e quais são as principais funções mentais envolvidas nesse processo. O sexto capítulo apresenta 12 princípios da Neurociência que contribuem para uma aprendizagem mais efetiva e coloca em relevo seus desdobramentos no processo educativo. O sétimo e último capítulo destaca as tendências emergentes que estão delineando a educação do futuro. Ao final, as referências estão organizadas por capítulo e o glossário traz a definição dos principais conceitos da Neurociência que estão destacados em negrito na primeira vez em que aparecem em cada capítulo e subcapítulo.

A Neurociência está ganhando cada vez mais relevância e conquistando o interesse do campo educacional. Esse fato é corroborado pelo crescente número de publicações que relacionam Neurociência, Aprendizagem e Educação. Não é intenção do presente estudo esgotar os princípios e suas respectivas sugestões de estratégias para o processo educativo. O objetivo é apresentar as principais descobertas da Neurociência relacionadas ao processo de aprendizagem, motivar professores para uma formação continuada nesse tema e incentivá-los a repensar e renovar suas práticas em sala de aula. Nessa perspectiva, o estudo aqui apresentado é uma centelha para que professores e gestores continuem buscando as evidências que a Neurociência continuará produzindo sobre como promover uma aprendizagem significativa que mobilize o potencial ilimitado de cada aprendiz.



1 METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido a partir de ampla revisão da literatura nacional e internacional realizada por meio de pesquisa bibliográfica nas seguintes bases de dados: Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), Google Acadêmico, SciELO (*Scientific Electronic Library Online*) e PubMed (*U.S. National Library of Medicine*), priorizando as publicações mais recentes disponibilizadas no período 2010-2020. Foram selecionados artigos de revisão, artigos originais, livros, capítulos de livros e teses. Foram consultadas também obras de autores reconhecidos nos campos da Neurociência, da Educação e da Neurociência Educacional e estudos realizados por organizações nacionais e internacionais.

Apesar do estudo ter sido desenvolvido no período de janeiro a agosto do ano de 2020, a publicação do livro só foi possível em 2022 devido a fatores relacionados à pandemia. Por essa razão, o livro não apresenta referências publicadas a partir de agosto de 2020.

A revisão da literatura foi realizada em seis etapas com o objetivo de selecionar estudos e pesquisas que contemplassem os temas apresentados a seguir. Para cada uma das etapas, foram utilizados descritores específicos, em diversas combinações.

1) **Neurociência:** introdução à Neurociência por meio de breve histórico.
   Descritores: *neuroscience, history of neuroscience, decade of the brain, brain, organization, structure, function, neuroanatomy.*
2) **Neurociência e Educação:** panorama sobre a relação entre os dois campos do saber.
   Descritores: *neuroscience, education, brain, learning, educational neuroscience, science of learning, brain-based learning.*
3) **Bases neurobiológicas e neuropsicológicas da aprendizagem**: desenvolvimento e funcionamento do cérebro e funções mentais envolvidas na aprendizagem.
   Descritores: *learning, brain, learning brain, brain development, cognitive function, cognitive neuroscience, cognitive development, attention, memory, emotion, motivation, executive function.*
4) **Definição dos princípios neurocientíficos:** identificação de temas e princípios da Neurociência considerados relevantes para o processo de aprendizagem.
   Descritores: *neuroscience, learning, brain, cognitive function, cognitive neuroscience, science of learning, brain-based learning, educational neuroscience, principles, classroom, education, academic achievement, academic performance, implications, strategies.*

5) **Explicitação do princípio:** funcionamento cerebral, sua relação com a aprendizagem e aplicação do princípio na prática pedagógica.
Descritores: variaram conforme o princípio. Por exemplo, no levantamento realizado para o princípio "o cérebro não é multitarefa", foram utilizados os seguintes descritores: *human, brain, neuroscience, learning, attention, multitasking, neuroimage, neural correlates, brain basis, teaching, academic performance, academic achievement, classroom, school*.

6) **Futuro da educação:** tendências emergentes que estão delineando a Educação no século XXI.
Descritores: *future of education, learning in 21st century, innovative pedagogy, creative learning, educational technology, personalized teaching, digital literacy, deep reading, assessment, curriculum, soft skills, school of the future*.

A revisão da literatura resultou na identificação e análise de 840 estudos e pesquisas realizados em 51 países: África do Sul, Alemanha, Argentina, Austrália, Áustria, Bélgica, Brasil, Canadá, Chile, China, Chipre, Colômbia, Coreia do Sul, Cuba, Dinamarca, Emirados Árabes, Equador, Escócia, Eslovênia, Espanha, EUA, Filipinas, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hong Kong, Índia, Inglaterra, Irã, Irlanda, Israel, Itália, Japão, Kuwait, Luxemburgo, Malásia, México, Noruega, Nova Zelândia, Omã, Peru, Polônia, Portugal, Rússia, Singapura, Suécia, Suíça, Turquia, Uruguai, Vietnã.





2 O QUE É NEUROCIÊNCIA?

Este capítulo esclarece o que é Neurociência e porque esta área do conhecimento ganhou tanta importância a partir da última década do século XX.

Neurociência ou Neurociências é um nome "guarda-chuva", cunhado, ao que tudo indica, pelo neurofisiologista americano da Universidade de Chicago, Ralph Waldo Gerard, na década de 1950. Mas foi Francis Otto Schmitt, biofísico, chefe do Departamento de Biologia no Massachusetts Institute of Technology (MIT) que divulgou o termo na década de 1960[2]. Ele utilizou o termo "Neurociência" para se referir a um campo interdisciplinar do conhecimento que tem o **sistema nervoso** como objeto de estudo.

Em 1962, Schmitt coordenou a criação de um Programa de Pesquisa em Neurociências (*Neurosciences Research Program* – NRP) que reuniu cientistas americanos e de outros países, com diferentes formações e especializações, interessados em compreender como o **cérebro** controla o comportamento em geral e a mente humana em particular. Esses cientistas consideravam que a compreensão sobre como o cérebro e a mente funcionam estava além do alcance de um único indivíduo ou grupo de cientistas. Seria necessário o esforço conjunto de profissionais de várias áreas do conhecimento para que fosse possível explicar os mecanismos de aprendizagem, memória, controle do movimento, regulação das emoções, entre outros aspectos do comportamento humano.

A ideia era que, por meio da interdisciplinaridade, especialistas de várias áreas, como neuroanatomistas, citologistas, físicos, neuroquímicos, fisiologistas, zoólogos, farmacologistas, neurologistas, psicólogos, entre outros, poderiam contribuir com seus conhecimentos específicos para construir teorias que considerassem os diversos níveis em que o cérebro funciona, desde o molecular ao comportamental. Considerava-se que, sem essa abordagem interdisciplinar[3] para o estudo da estrutura mais complexa do universo, nenhum avanço significativo no conhecimento da mente e do comportamento poderia ser feito.

2 Adelman, G. (2010). The Neurosciences Research Program at MIT and the beginning of the modern field of Neuroscience.

3 Sabbatini, R. M. E., & Cardoso, S. H. (2002). Interdisciplinarity in the neurosciences.

Em 1963, o termo Neurociência foi utilizado no periódico *Neurosciences Research Program Bulletin,* publicação oficial do referido programa de pesquisa. Na época, pesquisadores dos mais diversos aspectos do sistema nervoso passaram a ser reconhecidos como neurocientistas. Eles organizaram e realizaram encontros científicos para discussão de temas fundamentais sobre o sistema nervoso e publicaram, além do periódico, vários livros ao longo dos 20 anos que se seguiram. A iniciativa contribuiu para o estabelecimento do novo campo do conhecimento, estimulando o aparecimento de outros grupos de pesquisa, inicialmente na Alemanha, na Rússia, na Inglaterra[4] e posteriormente noutros países, disseminando, assim, a pesquisa em Neurociência e, principalmente, desencadeando o interesse do público em geral pelo cérebro, pela mente e pelo comportamento. A imprescindível interdisciplinaridade para o avanço da pesquisa sobre o cérebro e a mente tem sido denominada Neurociência em rede[5].

A Neurociência, também denominada Neurociências, é um campo interdisciplinar do conhecimento, voltado para o estudo do cérebro, da mente e do comportamento humano. Ela integra várias disciplinas ou áreas do conhecimento que têm o sistema nervoso como objeto de estudo.

2.1 BREVE HISTÓRICO DA NEUROCIÊNCIA

Embora a Neurociência, como campo de conhecimento interdisciplinar, tenha se constituído na década de 1960, o interesse pelo cérebro e a percepção de que o comportamento e as **funções mentais** estão relacionados a ele começaram muito tempo atrás[6].

A observação de que traumatismos cranianos produziam alterações do comportamento e da percepção e também perdas da consciência e da memória, provavelmente contribuiu para que, ao longo da história, essa associação entre atividade cerebral e mente fosse estabelecida e há indícios de que isso ocorreu há milênios. Achados paleontológicos de crânios pré-históricos, com perfurações feitas em vida – trepanações – datados de até 10.000 anos atrás, indicam que o homem das cavernas intervia no cérebro, talvez julgando que os maus espíritos que atormentavam a pessoa pudessem ser, assim, liberados[7].

4 Rose, S. (2015). The art of medicine: 50 years of neuroscience.
5 Bassett, D., & Sporns, O. (2017). Network neuroscience.
6 Finger, S. (1994). *Origins of Neuroscience: A history of explorations into brain function.*
7 Cosenza, R. M. (2002). Espíritos, cérebros e mentes. A evolução histórica dos conceitos sobre a mente.

Em civilizações antigas no Egito, na Índia, na China e na Grécia, vigorava a ideia de que o coração era o controlador dos processos mentais[8]. Essa concepção ainda faz parte do senso comum quando, por exemplo, dizemos que sabemos "de cor" ou que "decoramos" um assunto, no sentido de "guardar na memória". A palavra "cor" vem do latim e significa coração. Essa associação foi feita no passado, provavelmente porque, ao expressarmos algumas emoções, o coração bate mais forte e mais rápido. Isso ocorre porque uma parte do sistema nervoso, denominada **sistema nervoso autônomo simpático**, é ativada durante a expressão das emoções e age sobre o coração, levando ao aumento da força de contração e da frequência cardíacas. Outro exemplo é o próprio verbo "recordar" que vem do latim "*re-cordis*", que significa voltar a passar pelo coração. Apesar de, atualmente, os neurocientistas já terem comprovado que é o cérebro e não o coração que processa as emoções, essas expressões revelam a relação intrínseca entre os processos da memória e das emoções, que serão aprofundados no capítulo 5.

Ao longo do tempo, algumas evidências em favor do cérebro, como estrutura fundamental às funções mentais, começaram a surgir. O papiro de Edwin Smith, escrito por volta de 1.700 antes de Cristo (a.C.) e atribuído ao médico egípcio Imhotep, contém relatos clínicos de traumatismos cranioencefálicos e da **medula espinhal**, nos quais as lesões eram associadas a alterações motoras, de incontinência urinária, de linguagem, entre outras[9]. Até onde se conhece, esse é o primeiro registro contendo descrições de algumas estruturas do sistema nervoso e de sua associação a funções de outras partes do corpo.

Na cultura ocidental, Alcmaeon de Crotona, Grécia (500 a.C.) foi quem primeiro relacionou o cérebro às funções mentais quando, ao dissecar alguns **nervos**, entre eles os nervos ópticos, descobriu que algumas vias sensoriais terminavam no cérebro. Para ele, os diferentes nervos levavam a informação ao cérebro, onde cada modalidade sensorial teria o próprio território de localização.

Ainda na Grécia Antiga, Hipócrates (460-379 a.C.) já acreditava que o cérebro era a sede da mente. Platão (428-348 a.C.) também considerava que o cérebro era a sede dos processos mentais e responsável pelo comando das atividades corporais. Aristóteles (384-322 a.C.) escreveu sobre o sono, mas discordava de seus contemporâneos, pois julgava que o coração era o órgão das emoções. Herófilo (335-280 a.C.) dissecou os **ventrículos cerebrais**, sugerindo que a inteligência humana estivesse localizada nessas

8 Castro, F. S., & Landeira-Fernandez, J. (2010). Alma, mente e cérebro na pré-história e nas primeiras civilizações humanas.

9 van Middendorp, J. J. *et al.* (2010). The Edwin Smith papyrus: A clinical reappraisal of the oldest known document on spinal injuries. Stiefel, M. *et al.* (2006). The Edwin Smith papyrus: The birth of analytical thinking in medicine and otolaryngology.

cavidades[10]. Na Antiguidade, o estudo do cérebro e das demais estruturas contidas no crânio, cujo conjunto é denominado **encéfalo**, era mais difícil, pois não existiam técnicas de fixação dos tecidos. Sem fixação, essas estruturas apresentam uma consistência gelatinosa e facilmente se deformam ao serem manuseadas, o que justifica o interesse de alguns filósofos e médicos pelos ventrículos cerebrais como sede da mente, como proposto por Galeno (130-200 – depois de Cristo – d.C.).

A partir do Renascimento e ao longo dos séculos, as ideias sobre como o cérebro funciona e se relaciona com a mente e o comportamento foram se transformando a partir das contribuições de muitos estudiosos, sendo, em alguns momentos, bem diferentes daquilo que sabemos hoje[11]. Essas contribuições, marcos na história da Neurociência, podem ser conhecidas pelo acesso a uma interessante linha do tempo (Milestones in Neuroscience Research)[12] organizada pela Universidade de Washington em Seattle/EUA. Ainda assim, elas representam apenas uma parte de toda a dedicação de inúmeros estudiosos do sistema nervoso ao longo do tempo[13].

O desenvolvimento das técnicas histológicas de fixação e coloração do tecido nervoso, no final do século XIX, foi um marco para o desenvolvimento da Neurociência moderna, por permitir a visualização e, assim, o estudo dos **neurônios** e o estabelecimento da **teoria neuronal**[14]. A partir de então, descobertas significativas, relacionadas a aspectos estruturais e funcionais do sistema nervoso, foram abrindo caminho para que a Neurociência se constituísse como a conhecemos na atualidade.

Constatou-se que o sistema nervoso é constituído de bilhões de neurônios e de **células da glia** que se organizam, constituindo diversas estruturas visíveis a olho nu, tais como: nervos, medula espinhal, **tronco encefálico**, **cerebelo**, cérebro[15]. Em cada uma delas, observáveis apenas com o auxílio de técnicas de microscopia e eletrofisiologia, existem diferentes **circuitos neurais** – conjuntos de neurônios, conectados entre si por meio de estruturas denominadas **sinapses** – e células da glia, que são fundamentais para a sobrevivência e o funcionamento dos neurônios.

Observou-se que os neurônios são células que apresentam prolongamentos, os **axônios** e os **dendritos**, que conectam neurônios entre si através das sinapses. Constatou-se, ainda, que eles também se conectam com **receptores sensoriais**, músculos esqueléticos, glândulas e demais órgãos do corpo humano, por meio dos nervos.

10 Cosenza, R. M. (2002). Espíritos, cérebros e mentes. A evolução histórica dos conceitos sobre a mente.
11 Brown, R. E. (2019). Why study the history of Neuroscience?
12 Milestones in Neuroscience Research: https://faculty.washington.edu/chudler/hist.html.
13 Finger, S. (1994). *Origins of Neuroscience: A history of explorations into brain function.*
14 Yuste, R. (2015). From the neuron doctrine to neural networks.
15 Lent, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência.*

Descobriu-se que os neurônios são células que processam e transmitem informações por meio de sinalização eletroquímica. Isso significa que neurônios são células excitáveis, que alteram o seu estado químico e elétrico quando entram em contato com alguns tipos de energia do ambiente, denominados estímulos, tais como ondas eletromagnéticas (luz) ou mecânicas (som), estímulos químicos (substâncias odoríferas ou sápidas), estímulos térmicos (calor ou frio) e estímulos mecânicos (pressão, vibração, toque). Tais estímulos, ao atuarem sobre as células nervosas, causam alterações de moléculas da sua membrana e isso leva a uma mudança do estado químico e elétrico do neurônio – a isso chamamos **impulso nervoso**. Os estudos mostraram que o impulso nervoso gerado em um neurônio pode ser repassado a outro por meio de substâncias químicas – os **neurotransmissores** – nos locais de conexão entre os neurônios – as sinapses.

Compreendeu-se, assim, que o sistema nervoso é capaz de realizar um registro – por meio da ativação de seus neurônios – de toda interação que um indivíduo estabelece com o ambiente. Essa atividade neuronal gera as funções mentais e também os comportamentos que expressamos. Quando ativados, os neurônios podem, através dos nervos, atuar sobre os vários músculos e órgãos do corpo, produzindo movimentos, acelerando o coração, aumentando o peristaltismo, secretando hormônios, produzindo a fala, entre outras funções relacionadas a cada uma das estruturas que o sistema nervoso regula.

Sabemos que, cotidianamente, o sistema nervoso recebe e processa os estímulos que chegam a ele por meio dos órgãos dos sentidos – sons, imagens, odores, sabores, sensações táteis, térmicas, viscerais, de posição do corpo no espaço (proprioceptivas e vestibulares) – e elabora respostas que se expressam por meio de comportamentos que tendem a ser adaptativos. Esses comportamentos melhoram as chances de sobrevivência do indivíduo e de preservação da espécie. No entanto, para além da adaptação, o sistema nervoso também nos permite criar e transformar o ambiente à nossa volta. É exatamente essa capacidade criativa do ser humano que explica a fantástica evolução da humanidade ao longo dos tempos[16]. Essa interação adaptativa e criativa com o mundo, com a natureza, os objetos, as pessoas e a cultura é essencial para os processos de desenvolvimento e aprendizagem[17].



Para além da adaptação, o sistema nervoso nos permite criar e transformar o ambiente à nossa volta. É essa capacidade criativa do ser humano que explica a fantástica evolução da humanidade.

16 Fogarty, L. *et al.* (2015). Cultural evolutionary perspectives on creativity and human innovation.

17 Chiao, J. Y. (2018). Developmental aspects in cultural neuroscience.

Assim, todos os comportamentos e atividade mental do ser humano emergem da atividade do sistema nervoso, dos fenômenos químicos e elétricos que ocorrem nos diversos conjuntos de neurônios que integram as **redes neurais**. Funções relacionadas à cognição e às emoções, presentes no cotidiano e nas relações sociais, como ensinar e aprender; sentir e perceber; chorar e rir; dormir e sonhar; desejar e se frustrar; respirar e comer; falar e se movimentar; compreender, raciocinar e calcular; ter atenção, lembrar e esquecer; planejar, julgar e decidir; pensar e imaginar; emocionar-se, amar e cuidar, são comportamentos que dependem do funcionamento integrado das diferentes estruturas do sistema nervoso, especialmente do cérebro.



A mente é o cérebro em funcionamento. Quem somos, o que pensamos e fazemos é resultado da atividade do sistema nervoso em constante interação com o ambiente no qual vivemos. Essa interação com o mundo, com a natureza, com os objetos, com as pessoas e com a cultura é essencial para a adaptação e a criação humanas.

Os neurocientistas investigam o sistema nervoso, buscando compreender como os 86 bilhões de neurônios do encéfalo produzem movimento, sono, sonhos, sensações, memória, atenção, emoções, pensamentos, decisões e consciência, entre outros tantos aspectos da mente e do comportamento humanos. Eles também investigam o que acontece no sistema nervoso quando surgem alterações – paralisias, dificuldades sensoriais ou cognitivas, mudanças do estado de consciência, do humor, das emoções – relacionadas a doenças neurológicas, neurodegenerativas, transtornos psiquiátricos e do neurodesenvolvimento[18]. A compreensão de como o sistema nervoso funciona em condições fisiológicas e patológicas possibilita intervenções que podem potencializar as funções mentais e, no caso de doenças, permite o desenvolvimento de ações preventivas, a diminuição de sintomas e até a cura em alguns casos[19].

No decorrer do século XX, o desenvolvimento de métodos de pesquisa e de técnicas para digitalização de dados, registro de atividade elétrica cerebral, visualização de áreas cerebrais (neuroimagem), estudos de biologia molecular e estabelecimento de interfaces com o sistema nervoso (neurotecnologia), entre outros, levaram a descobertas significativas e a grandes avanços no conhecimento sobre o desenvolvimento, a estrutura e a função

18 Thompson, P. M. *et al.* (2020). ENIGMA and global neuroscience: A decade of large-scale studies of the brain in health and disease across more than 40 countries.

19 Stein, D.J. *et al.* (2015). Global mental health and neuroscience: Potential synergies.
Erickson, K. I. *et al.* (2014). Health neuroscience: Defining a new field.

do sistema nervoso em condições fisiológicas e patológicas. Pesquisas relacionadas aos mais diversos aspectos do funcionamento do sistema nervoso – potenciais de ação dos neurônios, função sináptica, crescimento de axônios, vigília e sono, emoção, linguagem, raciocínio lógico-matemático, atenção, memória, aprendizagem, estresse, entre tantos outros temas – possibilitaram um entendimento maior sobre como o cérebro funciona e, assim, sobre como nós funcionamos[20].

A teoria localizacionista do funcionamento cerebral – cada conjunto de neurônios, em determinada área cerebral, tem uma função – foi reformulada e hoje sabemos que o funcionamento cerebral é baseado em um modelo conexionista[21]. Em tal modelo, as diversas funções mentais estão relacionadas, não apenas à atividade de determinado circuito neural de uma área cerebral, mas à atividade integrada de circuitos neurais localizados em diferentes áreas cerebrais. Essas áreas conectam-se umas às outras, por meio de longos feixes de axônios, compondo redes neurais funcionais[22]. Distintas redes neurais são recrutadas simultaneamente durante a expressão de um dado comportamento. Quando o estudante está elaborando um texto, por exemplo, ele recruta suas memórias, transforma seus pensamentos em palavras, realiza os movimentos necessários à escrita, verifica se está escrevendo corretamente, avalia se gosta ou não da ideia posta no papel e, eventualmente, a modifica. Entram em ação redes neurais relacionadas às memórias, à criatividade, ao movimento, à visão, à atenção, ao controle do seu desempenho, entre outras. Essa organização em rede faz com que a atividade de uma área cerebral modifique a atividade de outra. É por isso que um comentário do professor, seja um elogio ou uma informação sobre o tempo que falta, pode vir a influenciar o resultado do texto produzido pelo estudante. O comportamento, portanto, é gerado por essas redes neurais que envolvem milhões de circuitos neurais em atividade e que são fundamentais para o processamento das informações, tanto das que já estão armazenadas no cérebro quanto das que ele recebe a todo instante[23].

Até 1970, só se podia examinar o cérebro abrindo o crânio de pacientes com lesões severas ou já falecidos. Os modelos em animais, cujos cérebros podiam ser examinados, não eram e ainda não são suficientes para a investigação de peculiaridades do comportamento humano. O desenvolvimento de técnicas de neuroimagem[24] (tomografias computadorizadas, ressonâncias magnéticas funcionais, **tratografias** e a **espectroscopia**

20 Lent, R. (2008). *Neurociência da mente e do comportamento.*

21 Mill, R. D. *et al.* (2017). From connectome to cognition: The search for mechanism in human functional brain networks.

22 Herbet, G., & Duffau, H. (2020). Revisiting the functional anatomy of the human brain: Toward a meta-networking theory of cerebral functions.

23 Lent, R. (2019). *O cérebro aprendiz: Neuroplasticidade e educação.*

24 Vasung, L. *et al.* (2019). Exploring early human brain development with structural and physiological neuroimaging.
Annavarapu, R. N. *et al.* (2019). Non-invasive imaging modalities to study neurodegenerative diseases of aging brain.
Balardin, J. B. *et al.* (2017). Imaging brain function with functional near-infrared spectroscopy in unconstrained environments.

funcional de luz próxima ao infravermelho – fNIRS) possibilitaram o registro do cérebro em atividade antes, durante e após determinados estímulos, mostrando a ativação e as conexões das regiões envolvidas com as diferentes tarefas. Mais recentemente, a tecnologia de fNIRS tornou possível medir a atividade cerebral de uma pessoa em movimento. Esse avanço possibilitou aos cientistas examinar o cérebro humano em tempo real e obter informações sobre o funcionamento cerebral dos estudantes à medida que o comportamento acontece. No campo da Educação, isso significa que as pesquisas não mais se limitam aos laboratórios e podem ser realizadas em salas de aula, com estudantes reais interagindo e vivenciando situações autênticas de aprendizagem.

O avanço da neurotecnologia[25] permitiu uma conexão direta de componentes técnicos (eletrodos, computadores ou próteses inteligentes) com o sistema nervoso, com o objetivo de gravar sinais do cérebro e traduzi-los em comandos de controle técnico ou com o intuito de manipular a atividade cerebral aplicando estímulos elétricos ou ópticos. O estabelecimento dessa interface homem-máquina trouxe perspectivas de intervenção em casos de doenças nas quais, por exemplo, há perda de movimentos, como na esclerose lateral amiotrófica. A neurotecnologia também trouxe a possibilidade de investigação sobre processos cognitivos e emocionais permitindo intervenções na busca de saúde mental e melhor qualidade de vida.

2.2 INVESTIMENTOS E AVANÇO DA NEUROCIÊNCIA

A partir da década de 1990, significativos investimentos e incentivos foram direcionados ao estudo do sistema nervoso. A iniciativa do presidente americano George Bush de declarar a Década do Cérebro[26] levou os Estados Unidos a investirem intensivamente em laboratórios que investigavam o sistema nervoso, o que levou ao grande avanço da Neurociência nos últimos anos do século XX[27] e nessas duas primeiras décadas do século XXI[28]. O movimento iniciado nos Estados Unidos avançou para inúmeros países e hoje contam-se aos milhares os neurocientistas e em bilhões os investimentos[29] que lhes são destinados, propiciando a revolução em curso, que assume, geograficamente, contornos mundiais, em um esforço cada vez mais multidisciplinar e ambicioso[30].

25 Müller, O., & Rotter, S. (2017). Neurotechnology: Current developments and ethical issues.

26 Goldstein, M. (1994). Decade of the brain: An agenda for the nineties

27 Tandon, P. N. (2000). The decade of the brain: A brief review.
Volkow, N. D. *et al.* (2010). A decade after the Decade of the Brain.

28 Albus, J. S. *et al.* (2007). A proposal for a decade of the mind initiative.
Abbott, A. (2013). Neuroscience: Solving the brain.

29 Rosso, C. (2018). The funding spree for neuroscience startups.

30 Grillner, S. *et al.* (2016). Worldwide initiatives to advance brain research.
Yeung, A. W. K. *et al.* (2017). The changing landscape of neuroscience research, 2006–2015: A bibliometric study.

Nos Estados Unidos, a Iniciativa *BRAIN*[31] – *Brain Research Through Advancing Innovative Neurotecnologies* (Pesquisa do Cérebro através do Avanço das Neurotecnologias Inovadoras) contou com apoio do presidente Barack Obama e envolve atualmente órgãos federais, fundações, institutos, universidades e a indústria na tarefa de desenvolver e aplicar tecnologias inovadoras que possam gerar uma compreensão dinâmica do funcionamento cerebral, revolucionando o conhecimento atual do cérebro humano. O projeto *BRAIN* visa a auxiliar os pesquisadores nas descobertas relacionadas a alterações cerebrais, como as que ocorrem nas doenças de Alzheimer e Parkinson, na depressão e em lesões cerebrais traumáticas (traumatismo cranioencefálico - TCE).

O projeto *Human Connectome*[32] (HCP) do National Institutes of Health (Institutos Nacionais de Saúde), também nos Estados Unidos, visa a construir um mapa das conexões neurais (*connectome*) que elucide a conectividade anatômica e funcional do cérebro humano saudável, e ainda produzir um conjunto de dados que facilitarão a pesquisa das alterações cerebrais em transtornos como dislexia, autismo, doença de Alzheimer e esquizofrenia.

A Comissão Europeia, através do programa de financiamento intitulado *Tecnologias Futuras e Emergentes*, deu início, em 2013, ao *Human Brain Project*[33] (HBP). O Projeto Cérebro Humano visa a implantar uma infraestrutura de pesquisa translacional colaborativa de ponta, baseada em tecnologias de informação e comunicação. Isso permitirá que pesquisadores e tecnólogos europeus avancem no conhecimento de Neurociência, Computação, Medicina e de tecnologias inspiradas nos mecanimos cerebrais, tais como a inteligência artificial. O objetivo é traduzir a pesquisa básica em aplicações médicas que contribuirão para novos diagnósticos e terapias relacionadas ao cérebro.

Com incentivos dessa natureza, diversos centros de pesquisa voltados ao desenvolvimento da Neurociência e redes de pesquisadores têm se estabelecido em diversos países, inclusive no Brasil que, atualmente, conta com 280 grupos de pesquisa em Neurociência[34] registrados no CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), abrangendo, além das áreas da Saúde e Biológicas, outras áreas como Educação, Letras, Direito, Filosofia, Antropologia, Sociologia, Artes, Comunicação, Administração, Arquitetura e Urbanismo, Ciências da Computação, Física e Matemática.

31 BRAIN Initiative: https://www.braininitiative.org

32 Human Connectome Project: http://www.humanconnectomeproject.org/about/

33 Human Brain Project: https://www.humanbrainproject.eu/en/.

34 CNPq: http://dgp.cnpq.br/dgp/faces/consulta/consulta_parametrizada.jsf.

2.3 NEUROCIÊNCIA E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA OUTROS CAMPOS DO SABER

A partir dos resultados dos investimentos realizados na Década do Cérebro (1990-1999), iniciou-se intensa divulgação científica relacionada às descobertas da Neurociência, o que tornou esse campo mais popular, sendo seu conhecimento acessível à população em geral[35]. A Neurociência saiu de nichos acadêmicos e passou a ser do interesse de todas as áreas que, de alguma forma, lidam com o comportamento humano. Não surpreende o fato de as pessoas interessarem-se tanto sobre o tema. Neurociência diz respeito ao que pensamos, a quem somos, como somos, como aprendemos, como mudamos, como funcionamos, ou seja, como vivemos. Ela nos auxilia a compreender um pouco melhor a vida, a entender por que sonhamos, por que gostamos mais de um ambiente do que de outro, por que nos irritamos, como tomamos decisões, como nos frustramos, enfim, proporciona às pessoas a oportunidade de conhecer o cérebro para que cuidem de sua saúde mental[36].

Vale destacar também que a Neurociência, ao estudar as bases do comportamento humano, pode contribuir para o entendimento de vários aspectos de outras áreas do conhecimento que lidam com o comportamento humano, cujas bases epistemológicas são outras e não são tradicionalmente fundamentadas pelo conhecimento do sistema nervoso. Essas áreas não contavam com as contribuições da Neurociência porque, na época em que esses campos do saber se constituíram, não havia conhecimento suficiente sobre o sistema nervoso.

No entanto, à medida que o comportamento humano é mais bem explicado, vários campos do conhecimento – que não têm como objeto de estudo específico o sistema nervoso, mas nos quais o comportamento humano tem importante papel – passaram a considerar as descobertas da Neurociência como fonte de evidências científicas para sua teoria e prática[37]. São exemplos dessas áreas, para as quais a Neurociência tem contribuído: Educação, Linguística, Filosofia, Música, Artes, *Marketing*, Economia, Sociologia, Antropologia, Direito, Ética, entre outras.

35 Illes, J. *et al.* (2010). Neurotalk: Improving the communication of neuroscience research.

36 Erickson, K. I. *et al.* (2014). Health neuroscience: Defining a new field.

37 Kedia, G. *et al.* (2017). From the brain to the field: The applications of social neuroscience to economics, health and law. Churchland, P. S., & Phil, B. (2008). The significance of neuroscience for philosophy.

Na medida em que uma nova perspectiva científica, como a Neurociência, passa a integrar a base teórica de outro campo do saber, contribuindo também para aplicações práticas, aumenta a possibilidade de esse campo do saber se aprimorar. Resgatando o pensamento exprimido por Edward O. Wilson (1998) no livro *Consiliência*[38], o conhecimento a ser desenvolvido sobre a mente humana inevitavelmente virá da cooperação entre as ciências humanas e as ciências naturais.

Algumas áreas como a psiquiatria e a psicologia[39] já se beneficiaram do melhor entendimento que se tem sobre o cérebro, o comportamento e as funções mentais. Mas ainda há outras áreas que, embora flertando com a Neurociência, podem vir a fazer melhor uso das evidências que a Neurociência já nos fornece. A Educação é uma delas. O foco do próximo capítulo será exatamente o diálogo entre a Neurociência e a Educação.

38 Wilson, E. O. (1998). *Consilience: The unity of knowledge.*

39 Ross, D. A. *et al.* (2017). An integrated neuroscience perspective on formulation and treatment planning for posttraumatic stress disorder: An educational review.
Hyman, S. (2007). Can neuroscience be integrated into the DSM-V?



3 POR QUE NEUROCIÊNCIA E EDUCAÇÃO?

Este capítulo esclarece por que a Neurociência se tornou importante para os educadores e como ela pode contribuir para uma Educação de melhor qualidade.

3.1 APRENDIZAGEM: A PONTE ENTRE NEUROCIÊNCIA E EDUCAÇÃO

Com seus bilhões de **neurônios**[40], o **cérebro** equivale a apenas 2% do peso do nosso corpo, mas consome, sozinho, cerca de 20% do oxigênio que respiramos e 25% da energia disponível, cerca de 500 kcal/dia[41]. Ao formar infinitas combinações envolvendo mais de 100 trilhões de conexões, o cérebro é capaz de processar uma enorme quantidade de informações que chegam a ele a todo momento, enviadas pelos órgãos sensoriais.

O cérebro possui mais conexões do que o número de estrelas em nossa galáxia e pode arquivar o equivalente a 1.000 *terabytes* de informações[42]. Ele é uma fábrica de aprendizagem de conceitos, de novas ideias e interpretações que funciona 24 horas por dia. Quando estamos acordados, o cérebro funciona a todo vapor, mas, mesmo em repouso, ele produz energia suficiente para acender uma pequena lâmpada de 25 watts[43]. Essa fantástica atividade dos neurônios, nas distintas estruturas do **sistema nervoso**, desencadeada e regulada pelas experiências que vivenciamos é o que resulta no que chamamos de **mente**. É exatamente essa atividade do cérebro que possibilita a aprendizagem. Mas o que é aprendizagem na perspectiva cerebral? O que acontece no cérebro quando aprendemos?

40 Herculano-Houzel, S. (2012). The remarkable, yet not extraordinary, human brain as a scaled-up primate brain and its associated cost.

41 Watts, M. E. *et al.* (2018). Brain energy and oxygen metabolism: Emerging role in normal function and disease.

42 Bartol Jr, T. M. *et al.* (2015). Nanoconnectomic upper bound on the variability of synaptic plasticity.
Interlandi, J. (2016). New estimate boosts the human brain's memory capacity 10-fold.

43 Korade, Z., & Mirnics, K. (2014). Programmed to be human?

Aprendizagem ocorre a partir da reorganização de **sinapses**, de circuitos e de redes de neurônios[44], interconectados e distribuídos por todo o cérebro, o que envolve e também promove o desenvolvimento de **funções mentais**, tais como atenção, emoção, motivação, memória, linguagem e raciocínio lógico-matemático.

As estratégias pedagógicas utilizadas por educadores nos processos de ensino e aprendizagem são estímulos que impulsionam o aprimoramento dessas funções mentais e levam à reorganização do sistema nervoso, possibilitando a aprendizagem de novos conhecimentos, habilidades e atitudes. Por isso, o cérebro é o órgão da aprendizagem[45].

Cotidianamente, educadores, entre eles pais e professores, atuam como agentes nas mudanças cerebrais que levam à aprendizagem, fornecendo o ambiente físico, os estímulos, as interações sociais, os modelos e valores que serão processados pelo cérebro do aprendiz. No entanto, em geral, eles conhecem muito pouco sobre como o cérebro funciona[46]. Daí o necessário diálogo entre Neurociência e Educação, cujo tema central é a aprendizagem.

Saber como aprendemos, conhecer as funções mentais envolvidas na aprendizagem, os períodos receptivos, as relações entre cognição, emoção, motivação e desempenho, as potencialidades e as limitações do sistema nervoso, as dificuldades para aprendizagem e as intervenções a elas relacionadas pode contribuir, de forma significativa, para a compreensão de um conjunto de questões relativas ao cotidiano escolar[47].

O cérebro é o órgão da aprendizagem. A Neurociência Educacional traz as evidências científicas de como o cérebro aprende de forma mais efetiva, com o objetivo de aplicá-las na Educacão.

44 Lent, R. (2019). *O cérebro aprendiz: Neuroplasticidade e educação.*

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

46 Herculano-Houzel, S. (2002). Do you know your brain? A survey on public neuroscience literacy at the closing of the decade of the brain.
Howard-Jones, P. A. (2014). Neuroscience and education: Myths and messages.

47 Blakemore, S.-J., & Frith, U. (2005). The learning brain: Lessons for education: A précis.

Nessa perspectiva, o conhecimento das descobertas da Neurociência pode trazer contribuições para todos os atores envolvidos nos processos de ensino e aprendizagem. O professor pode ganhar mais confiança, autonomia e criatividade na seleção de estratégias pedagógicas, pode compreender melhor o próprio papel como mediador da aprendizagem e valorizar mais o vínculo com os estudantes[48]. O estudante, por sua vez, ao compreender como o seu cérebro aprende, sente-se mais responsável por sua aprendizagem[49]. Consciente de seu protagonismo, ele pode escolher as práticas de estudo mais efetivas, que respeitem as regras do funcionamento cerebral, exercitando a autorregulação desse processo e desenvolvendo a metacognição que o auxilia a aprender a aprender[50]. Os pais, ao reconhecerem a relevância de sua participação no desenvolvimento do aprendiz, podem favorecer um ambiente propício à aprendizagem, proporcionando oportunidades, atividades, valores e o apoio necessário[51]. Já o gestor público tem, à sua disposição, evidências científicas que podem fundamentar o desenho e a implantação de políticas públicas que, se efetivadas, podem levar a melhores resultados dos indicadores educacionais[52]. A figura 1 apresenta uma síntese da relação entre Neurociência e Educação.

48 Ansari, D. *et al.* (2017). Developmental cognitive neuroscience: Implications for teachers' pedagogical knowledge.
Coch, D. (2018). Reflections on neuroscience in teacher education.
Darling-Hammond, L. *et al.* (2020). Implications for educational practice of the science of learning and development.
Schwartz, M. S. *et al.* (2019). Neuroscience knowledge enriches pedagogical choices.

49 Cherrier, S. *et al.* (2020). Impact of a neuroscience intervention (NeuroStratE) on the school performance of high school students: Academic achievement, self-knowledge and autonomy through a metacognitive approach.

50 Castro, C. M. (2015). *Você sabe estudar? Quem sabe, estuda menos e aprende mais.*

51 Jamaludin, A. *et al.* (2019). Educational neuroscience: Bridging theory and practice.

52 Shonkoff, J. P., & Levitt, P. (2010). Neuroscience and the future of early childhood policy: Moving from why to what and how.
Shonkoff, J. P. (2011). Protecting brains, not simply stimulating minds.
Ribeiro, S. *et al.* (2016). Rumo ao cultivo ecológico da mente.

FIGURA 1 – Quando a Neurociência encontra a Educação

O CONTEXTO

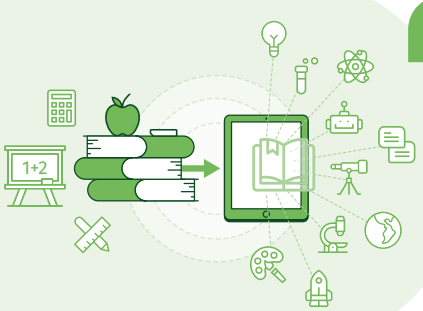
1



APRENDIZAGEM AO LONGO DA VIDA

A aprendizagem ao longo da vida está se tornando cada vez mais importante e é considerada como o recurso mais relevante para o século 21.

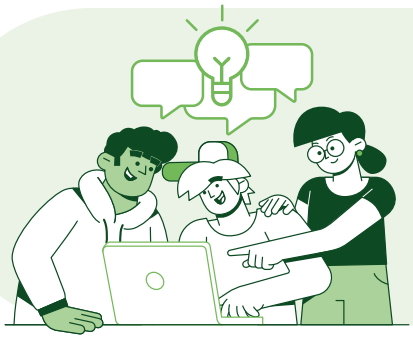
2



SISTEMA EDUCACIONAL

Conforme a aprendizagem ganha importância, é fundamental que o sistema educacional possa se reinventar para acompanhar as mudanças.

3



NOVAS ABORDAGENS

É necessário criar novas abordagens de ensino e aprendizagem voltadas para a formação de pessoas inovadoras capazes de transformar a realidade.

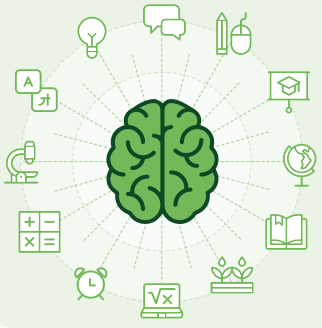
4



NEUROCIÊNCIA

O avanço da Neurociência vem produzindo novas evidências científicas sobre como o cérebro aprende, mas ainda há dificuldade para aplicar os resultados das pesquisas no campo da Educação.

5



NEUROCIÊNCIA EDUCACIONAL

A Neurociência Educacional tem trazido o laboratório para a sala de aula, conectando as descobertas neurocientíficas com o ensino e a aprendizagem.

6

CONTRIBUIÇÕES DA NEUROCIÊNCIA EDUCACIONAL

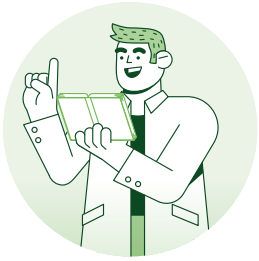
EDUCAÇÃO BASEADA EM EVIDÊNCIAS CIENTÍFICAS PARA QUE

ESTUDANTES



Utilizem **práticas de estudo** que **potencializem a sua aprendizagem**.

PROFESSORES



Adotem **estratégias pedagógicas inovadoras e efetivas**.

GESTORES



Desenvolvam **gestão educacional e políticas públicas** para melhoria dos resultados.

PAIS



Criem **condições e interações favoráveis** ao **desenvolvimento** pleno das **crianças e jovens**.

7

DIÁLOGO E COLABORAÇÃO

COMUNICAÇÃO

Comunicação das evidências científicas em linguagem acessível e por meio de diferentes canais de divulgação.



FORMAÇÃO

Inserção de temas da Neurociência Educacional na formação inicial e continuada de professores.



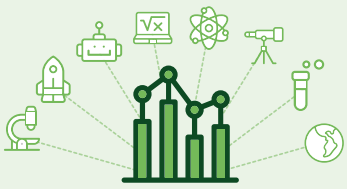
PESQUISA

Familiaridade dos pesquisadores da Neurociência Educacional com conceitos e práticas educacionais.



INVESTIMENTO

8



Investimento contínuo em pesquisa de ponta para geração de novas evidências científicas.

3.2 DO LABORATÓRIO PARA A SALA DE AULA

Durante a Década do Cérebro, o impulso dado às descobertas da Neurociência, principalmente por meio das técnicas de neuroimagem e eletrofisiologia, levou a grande avanço da Neurociência Cognitiva, que investiga as bases neurais dos construtos da Psicologia Cognitiva[53]. As teorias psicológicas sobre o funcionamento da mente relacionadas, por exemplo, à atenção, à memória, às emoções e à linguagem foram estruturadas com base na análise do comportamento humano. A Neurociência Cognitiva, por sua vez, explora as bases neurais dessas funções mentais medindo a atividade eletroquímica no cérebro e verificando a atividade cerebral por meio de neuroimagens. Essas pesquisas já possibilitaram o esclarecimento de muitos aspectos do funcionamento cerebral relacionado ao comportamento humano[54]. Embora os processos cognitivos ainda não sejam integralmente conhecidos, devido às limitações técnicas e éticas que o estudo do comportamento humano impõe, grande progresso já foi alcançado, incluindo descobertas que permitiram uma abordagem mais neurocientífica dos processos de ensino e aprendizagem[55].

Essas descobertas ultrapassaram os nichos acadêmicos mais especializados em Neurociência e estenderam-se a outros campos, entre eles a Educação. Além disso, por meio da divulgação científica, mediada por veículos de comunicação poderosos, mas nem sempre fidedignos aos achados científicos, como sites e outras mídias digitais, televisão, jornal, revistas e livros não especializados, as descobertas da Neurociência alcançaram o público em geral.

Esse público tem ao seu alcance tanto informações confiáveis e esclarecedoras quanto inferências e conclusões equivocadas, por alguns denominadas "neuromitos", que geram aplicações e práticas sem comprovação científica[56]. Por exemplo: "só usamos 10% do nosso cérebro" ou "o hemisfério cerebral esquerdo é lógico e analítico e o direito é emocional e criativo", ou ainda "ouvir Mozart nos faz mais inteligentes", são exemplos de neuromitos[57]. Este último surgiu em 1993, após importante revista científica publicar resultados de um estudo no qual os autores demonstraram que, após ouvir uma sonata de Mozart por 10 minutos, estudantes universitários apresentaram melhor desempenho, embora transitório, em tarefas de raciocínio espacial abstrato[58]. A mídia generalizou esse

53 Frank, M. J., & Badre, D. (2015). How cognitive theory guides neuroscience.
54 Lent, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência.*
55 Horvath, J. C. *et al.* (2017). *From the laboratory to the classroom: Translating science of learning for teachers.*
56 Gleichgerrcht, E. *et al.* (2015). Educational neuromyths among teachers in Latin America.
57 Düvel, N. *et al.* (2017). Neuromyths in music education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers and students.
58 Rauscher, F. *et al.* (1993). Music and spatial task performance.

resultado e noticiou que "a música de Mozart tornava as pessoas mais inteligentes". A novidade repercutiu no público em geral e até em políticas educacionais nos Estados Unidos à época, fazendo com que gravações de Mozart fossem indicadas para o melhor desenvolvimento da inteligência das crianças. Posteriormente, o estudo foi replicado por diferentes grupos de pesquisadores e os resultados não foram comprovados[59]. Tal fato coloca em relevo a importância crucial de que a comunicação científica seja realizada de forma criteriosa, sem intenção de sensacionalismo, de forma a coibir o uso indevido do conhecimento produzido pela ciência[60].

Com a divulgação das descobertas da Neurociência, professores, coordenadores, diretores de escolas e pais identificaram-se como agentes das mudanças neurobiológicas que levam à aprendizagem e reconheceram o cérebro como o órgão da aprendizagem[61]. As reflexões que emergiram dessa aproximação impulsionaram importante questionamento: qual é a real contribuição da Neurociência, mais especificamente da Neurociência Cognitiva, para a Educação? O conhecimento do educador sobre o funcionamento do cérebro pode contribuir para a efetividade dos processos de ensino e aprendizagem?

Estabeleceu-se, assim, a interface entre a Neurociência e a Educação, tão proclamada a partir do final da década de 2000, e denominada *Mind, Brain, and Education* (MBE) ou Mente, Cérebro e Educação[62]. Desde então, a chamada Neurociência Educacional[63] desenvolve pesquisas e aborda temas e questões que têm relação com aprendizagem e possíveis contribuições para a Educação[64].

Entre 1999 e 2005, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) desenvolveu o projeto *Learning Sciences and Brain Research* (Ciências da Aprendizagem e Pesquisa sobre o Cérebro)[65] e promoveu dois fóruns mundiais, cujo objetivo foi a análise da interface entre Neurociência e Educação e o debate sobre questões a serem investigadas relativas à aprendizagem humana. Estas incluíam, entre outras, a verificação do peso da influência da natureza (genética) e da criação (lar saudável e uma boa escola) no sucesso da aprendizagem; a real importância dos primeiros anos para um aprendizado bem-sucedido pelo resto da vida; a influência da idade na aprendizagem de conhecimentos, habilidades e atitudes específicas; as diferenças na aprendizagem de

59 Pietschnig, J. *et al.* (2010). Mozart effect–Shmozart effect: A meta-analysis.

60 Figdor, C. (2017). (When) is science reporting ethical? The case for recognizing shared epistemic responsibility in science journalism.

61 Ansari, D. (2012). Culture and education: New frontiers in brain plasticity.

62 Fischer, K.W. *et al.* (2007). Why mind, brain, and education? Why now?

63 Szucs, D., & Goswami, U. (2007). Educational neuroscience: Defining a new discipline for the study of mental representations.

64 Owens, M. T., & Tanner, K. D. (2017). Teaching as brain changing: Exploring connections between neuroscience and innovative teaching.

65 OCDE. (1999). Learning sciences and brain research.

jovens e adultos; o significado de inteligência; o funcionamento da motivação e as bases neuropsicológicas para aprendizagem da escrita, da leitura e da matemática.

A iniciativa da OCDE estimulou investigações científicas que buscavam responder a essas questões e gerou as publicações *Understanding the Brain: towards a new learning science* (Compreendendo o cérebro: rumo a uma nova ciência da aprendizagem)[66] e *Understanding the brain: the birth of a learning science* (Compreendendo o cérebro: o nascimento de uma ciência da aprendizagem) [67]. Essa iniciativa gerou também a criação de centros de pesquisa que hoje integram pesquisadores de várias partes do mundo numa abordagem transdisciplinar da ciência da aprendizagem. Esses centros têm o objetivo de estudar a aprendizagem nas perspectivas da Neurociência, da Psicologia e da Educação, estabelecendo o diálogo entre cientistas e educadores para a tradução dos resultados de pesquisa em práticas que melhorem o processo educativo e o bem-estar ao longo do ciclo vital[68]. Entre eles, estão o *Center for Neuroscience in Education*[69], localizado em Cambridge, na Inglaterra; a *International Mind, Brain and Education Society*[70] (Imbes), que fica em Stanford, nos Estados Unidos; o *Center for Educational Neuroscience*[71], situado em Londres, na Inglaterra; e o *Science of Learning Research Centre*[72], vinculado à Universidade de Queensland, em Brisbane, Austrália. No Brasil, a Rede Nacional de Ciência para Educação[73] (Rede CpE), criada em 2014, reúne cientistas de universidades brasileiras, de diferentes áreas do conhecimento, interessados em realizar pesquisas que possam promover melhores práticas e políticas educacionais baseadas em evidências científicas[74]. A missão dessas instituições é fomentar, realizar e/ou divulgar a **pesquisa translacional**[75] em Educação, levando os conhecimentos adquiridos no laboratório para a realidade da escola.

Para além dos temas propostos pela OCDE há 20 anos, a Neurociência tem realizado outros estudos relacionados a uma diversidade de aspectos do processo de aprendizagem, tais como: relações entre emoção e cognição[76]; importância das **funções executivas** e

66 OCDE. (2002). *Understanding the brain: Towards a new learning science.*

67 OCDE. (2007). *Understanding the brain: The birth of a learning science.*

68 Fischer, K.W. *et al.* (2010). The future of educational neuroscience.

69 https://www.cne.psychol.cam.ac.uk/

70 https://imbes.org/

71 http://www.educationalneuroscience.org.uk/

72 https://www.slrc.org.au/

73 http://cienciaparaeducacao.org/

74 Lent, R et al. (2017). Ciência para educação: Uma ponte entre dois mundos.

75 Donoghue, G. M., & Horvath, J. C. (2016). Translating neuroscience, psychology and education: An abstracted conceptual framework for the learning sciences.
Stafford-Brizard, K. B. et al. (2017) Building the bridge between science and practice: Essential characteristics of a translational framework.
Dresler, T. et al. (2018). A translational framework of educational neuroscience in learning disorders.

76 Dolcos, F. *et al.* (2020). Neural correlates of emotion-attention interactions: From perception, learning, and memory to social cognition, individual differences, and training interventions.

da metacognição[77] para a aprendizagem; compreensão das **redes neurais** envolvidas no pensamento criativo[78]; características das conexões cerebrais e sua relação com os diferentes tipos de memória[79]. Esse conjunto de estudos da Neurociência Cognitiva vem definindo princípios relacionados ao processo de aprendizagem que têm implicações para o ensino e serão apresentados no capítulo 6.

3.3 NEUROCIÊNCIA DIALOGANDO COM PIAGET, AUSUBEL, VYGOTSKY, DEWEY E WALLON

As descobertas da Neurociência têm trazido contribuições para um conjunto de conceitos das diferentes teorias da Educação e da Psicologia do Desenvolvimento Humano. Antes do avanço da pesquisa neurocientífica, a única ferramenta para a compreensão dos processos de desenvolvimento e aprendizagem era a observação do comportamento da criança e da sua relação com o ambiente. Foi assim que, a partir de observações sistemáticas, Piaget, Ausubel, Vygotsky, Dewey e Wallon propuseram suas teorias, antecipando ideias sobre o comportamento humano que a Neurociência, com o conhecimento agora disponível, vem resgatando a partir de evidências sobre o funcionamento cerebral.

Para Piaget[80], as estruturas cognitivas do sujeito não nascem prontas. Elas são construídas ao longo do desenvolvimento e passam por quatro estágios diferenciados. Também segundo Piaget, crianças e jovens na idade escolar não se encontram no mesmo ponto de desenvolvimento cognitivo e não aprendem da mesma maneira e no mesmo ritmo. De fato, alguns estudos da Neurociência demonstram[81], por meio de técnicas como eletroencefalografia (EEG), avaliação de funções mentais em diferentes idades e medida de velocidade de condução em feixes de **axônios**, que o cérebro não nasce pronto, modificando-se em contato com o meio durante toda a vida. Eles confirmam que há variações na maturação cerebral em crianças de mesma idade[82] e que existem períodos cíclicos nos quais há uma estabilidade da estrutura e das funções cerebrais, seguidos de períodos de mudanças cerebrais (reestruturação cerebral) que resultam em melhor desempenho funcional [83]. Outra ideia defendida por Piaget é que o conflito cognitivo é fundamental para a construção de um novo conhecimento. Há evidências neurocientí-

77 Roebers, C. M. (2017). Executive function and metacognition: Towards a unifying framework of cognitive self-regulation.
78 Beaty, R. E. *et al.* (2018). Robust prediction of individual creative ability from brain functional connectivity.
79 Brem, A. K. *et al.* (2013). Learning and memory.
80 Piaget, J. (1978). *A formação do símbolo na criança.*
81 Crossland, J. (2015). Is Piaget wrong?
82 Demetriou, A. *et al.* (2013). Cycles in speed-working memory-G relations: Towards a developmental–differential theory of the mind.
83 Fischer, K. W. (2008). *Dynamic cycles of cognitive and brain development: Measuring growth in mind, brain, and education.*

ficas de que o conflito cognitivo leva o cérebro a adaptar seu modelo mental interno[84]. Assim, o conflito cognitivo, impondo novos padrões de organização cerebral, modifica a estrutura física do cérebro e impulsiona a aprendizagem. Diversos outros estudos[85] da Neurociência dialogam com os princípios básicos das ideias de Piaget, ressaltando sua relevância para a reflexão sobre os processos de ensino e aprendizagem.

Para Ausubel[86], a aprendizagem é significativa quando a nova informação é associada a um conhecimento prévio. Na perspectiva da Neurociência, os estudos[87] indicam que novas conexões cerebrais se organizam e são mais consistentes se forem construídas sobre conexões já existentes. Por isso, para a aprendizagem de determinados conceitos, são necessárias a compreensão e a consolidação de dada informação para que seja possível, posteriormente, o registro de uma nova informação mais complexa. Além disso, quanto maior o número de representações mentais e de associações entre os diversos circuitos neurais, mais consolidado estará o conhecimento na memória de mais longa duração, garantindo uma aprendizagem mais plena e significativa.

Para Vygotsky[88], toda aprendizagem é necessariamente mediada pela cultura e pelas relações sociais. Suas ideias, baseadas na concepção da zona de desenvolvimento proximal (ZDP) e na compreensão de que a comunicação com outra pessoa é crucial para a constituição social da mente de uma criança, têm sido retomadas a partir dos estudos das conexões entre o cérebro e o **cerebelo**. O cerebelo, além de sua função motora, participa de funções mentais que possibilitam à criança aprimorar sua capacidade de lidar com problemas novos e mais complexos que surgem a partir das interações com as pessoas e com a cultura[89]. Essa constatação confirma o importante papel do brincar, do vínculo do professor com o estudante e da interação dos estudantes na sala de aula para o processo de aprendizagem.

Para Dewey[90], a aprendizagem é mais efetiva quando há integração entre teoria e prática. O estudante deve ser continuamente estimulado por meio de atividades práticas que favoreçam a experiência e a resolução de problemas. A pesquisa no campo da Neurociência tem salientado a relevância da participação ativa do estudante no

84 Danek, A. H., & Flanagin, V. L. (2019). Cognitive conflict and restructuring: The neural basis of two core components of insight.

85 Arsalidou, M., & Pascual-Leone, J. (2016). Constructivist developmental theory is needed in developmental neuroscience. Bolton, S., & Hattie, J. (2017). Cognitive and brain development: Executive function, Piaget, and the prefrontal cortex.

86 Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view.*

87 van Kesteren, M. T. R. *et al.* (2020). Congruency and reactivation aid memory integration through reinstatement of prior knowledge. Liu, Z.-X. *et al.* (2017). The effect of prior knowledge on post-encoding brain connectivity and its relation to subsequent memory.

88 Vygotsky, L. S. (1989). *A formação social da mente.*

89 Vandervert, L. (2017). Vygotsky meets neuroscience: The cerebellum and the rise of culture through play.

90 Dewey, J. (1976). *Experiência e Educação.*

processo de aprendizagem[91]. Os estudos demonstram que a aprendizagem é baseada em experiências que levam à reorganização das conexões entre neurônios e que ela se beneficia de experiências multissensoriais. A estimulação dos distintos órgãos dos sentidos – produzida por uma situação prática na qual o indivíduo se relaciona fisicamente com o objeto de aprendizagem – ativa diferentes circuitos neurais, produzindo uma representação mental mais consistente da experiência de aprendizagem. Além disso, situações-problema que despertam o interesse do estudante são motivadoras da aprendizagem[92], impulsionando o recrutamento de circuitos neurais já organizados e o estabelecimento de novas interações entre eles. Ocorre, assim, um efeito cumulativo na reorganização dos circuitos neurais, o que leva à consolidação das memórias relacionadas a experiências e conhecimentos vivenciados.

Para Wallon[93], o desenvolvimento da criança depende de fatores internos e externos que se entrelaçam. O desenvolvimento da autoconsciência e o reconhecimento dos limites entre a criança e o outro ocorre na interação social. Nessa interação, a imitação, a consciência corporal e as emoções recíprocas desencadeadas (contágio emocional) são fundamentais para as modificações da estrutura mental da criança. Estudos da Neurociência apresentam evidências que nos remetem às proposições de Wallon. Foi identificado um sistema de **neurônios espelho**, constituído de circuitos neurais nas regiões frontal e parietal do cérebro, envolvido com o desenvolvimento da autoconsciência[94] e também com a imitação, a empatia e outros aspectos da cognição social[95]. Além disso, a percepção do corpo, promovida pelo movimento, também contribui para o autorreconhecimento[96]. Na teoria walloniana, o desenvolvimento emocional precede o desenvolvimento cognitivo[97], sendo tão importante quanto este. Wallon afirma também que esses processos são indissociáveis. A Neurociência, por meio de estudos de neuroimagem[98], tem esclarecido as bases neurais dessa associação entre emoção e cognição mostrando, por exemplo, as conexões recíprocas entre as áreas cerebrais que processam emoções e as que processam memória de trabalho e tomada de decisão.

91 Mavilidi, M. F. *et al.* (2018). A narrative review of school-based physical activity for enhancing cognition and learning: The importance of relevancy and integration.
Macedonia, M. (2019). Embodied learning: Why at school the mind needs the body.

92 Murayama, K. (2018). The science of motivation.

93 Wallon, H. (1968). *A psicologia da criança.*

94 Keromnes, G. *et al.* (2019). Exploring self-consciousness from self- and other-image recognition in the mirror: Concepts and evaluation.

95 Iacoboni, M. (2009). Imitation, empathy, and mirror neurons.
Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2016). The mirror mechanism: A basic principle of brain function.
Meltzoff, A. N., & Marshall, P. J. (2018). Human infant imitation as a social survival circuit.

96 Marmeleira, J., & Santos, G. D. (2019). Do not neglect the body and action: The emergence of embodiment approaches to understanding human development.

97 Van der Veer, R. (1996). Henri Wallon's theory of early child development: The role of emotions.

98 Dolcos, F. *et al.* (2011) Neural correlates of emotion–cognition interactions: A review of evidence from brain imaging investigations.

3.4 NEUROCIÊNCIA E EDUCAÇÃO: O DIÁLOGO CONTINUA

A falta de conhecimento dos neurocientistas sobre os fundamentos das teorias educacionais e a respeito de como ocorrem os processos de ensino e aprendizagem no contexto escolar dificulta a realização de pesquisas que contemplem as peculiaridades do contexto real de uma sala de aula, em determinada escola. Da mesma forma, por falta de conhecimento e experiência em relação à pesquisa em Neurociência, os educadores têm dificuldade em interpretar o significado e analisar criticamente os dados apresentados por um neurocientista[99].

É necessário o estabelecimento de uma linguagem mediadora entre as duas áreas, que esclareça com fidedignidade as descobertas científicas e sua real possibilidade de utilização na Educação. Isso demanda seriedade e compromisso ético dos meios que realizam divulgação científica, mas também análise crítica pelo público-alvo, para que esse conhecimento possa ser aplicado de forma adequada no cotidiano escolar.

Sem dúvida, a interlocução entre Neurociência e Educação requer a participação da Psicologia, considerando que o que o professor "vê" não são os neurônios em atividade, e sim o comportamento que surge a partir do cérebro aprendiz[100]. A Neurociência Educacional pode formar profissionais que sejam capazes de integrar Neurociência, Psicologia e Educação para mediar o diálogo entre essas áreas[101]. Educadores capacitados em Neurociência básica podem contribuir para a realização das pesquisas coordenadas pelos neurocientistas e também para a aplicação adequada dos achados da Neurociência na sala de aula, promovendo a colaboração entre as duas áreas.

No entanto, para a efetiva integração entre Neurociência e Educação, é imprescindível a inclusão dos fundamentos neurocientíficos do processo de aprendizagem na formação inicial do educador[102]. Estudantes de Pedagogia e das diversas licenciaturas precisam compreender a aprendizagem na perspectiva da Neurociência Cognitiva. A iniciativa contribuirá para um novo olhar sobre o processo educativo[103] e trará novos significados para os aspectos sociais, psicológicos, culturais e antropológicos tradicionalmente estudados pelos futuros professores.

99 Castorina, J. A. (2016). La relación problemática entre neurociencias y educación: Condiciones y análisis crítico.

100 Horvath, J. C., & Donoghue, G. M. (2016). A bridge too far-revisited: Reframing Bruer's neuroeducation argument for modern science of learning practitioners.

101 Zadina, J. N. (2015). The emerging role of educational neuroscience in education reform.

102 Walker, Z. *et al.* (2017). *Brain literacy empowers educators to meet diverse learner needs.*

103 Sokolowski, H. M., & Ansari, D. (2018). Understanding the effects of education through the lens of biology.

O educador em atividade tem procurado se capacitar em Neurociência por meio da participação em congressos, cursos diversos, incluindo pós-graduações e, também, pelo acesso às diversas mídias digitais, com a expectativa de que essa formação possa contribuir para a resolução dos problemas na escola. É importante esclarecer que a Neurociência não propõe uma nova pedagogia e nem promete solução para as dificuldades da aprendizagem, mas elucida aspectos sobre o funcionamento do cérebro aprendiz que acrescentam nova perspectiva para a prática pedagógica e contribuem para maior autonomia e criatividade do professor no desenho didático.

A Neurociência fundamenta um conjunto de princípios que potencializam a aprendizagem, dão sentido a algumas práticas pedagógicas que já são realizadas e inspiram ideias para outras intervenções. Algumas práticas de sala de aula, baseadas nesses princípios, já foram investigadas pela Neurociência[104] e possibilitam a realização de uma Educação com base em evidências, demonstrando que estratégias pedagógicas que respeitam a forma como o cérebro funciona[105] tendem a ser mais eficientes. A Neurociência possibilita uma abordagem mais científica dos processos de ensino e aprendizagem, mas não constitui uma "bala de prata" para a solução dos problemas da Educação.

A Neurociência é uma ciência natural que investiga, descreve e interpreta dados e descobre os princípios da estrutura e do funcionamento cerebral, proporcionando a compreensão dos processos mentais e comportamentos observados. A Educação tem outra natureza e finalidade e, por isso, não pode ser investigada e explicada da mesma forma que se pesquisa o funcionamento cerebral[106]. Ela não é regulada apenas por leis físicas, mas por um conjunto complexo de aspectos, como a formação do professor, a infraestrutura da escola, a dinâmica da sala de aula, as metodologias de ensino, o apoio da família, a participação da comunidade e a implementação de políticas públicas. Nesse sentido, nem todo conhecimento neurocientífico pode ser traduzido diretamente em práticas pedagógicas que garantam melhores resultados, pois o processo de aprendizagem depende de outros fatores influenciadores, para além do funcionamento cerebral[107]. Saber como o cérebro aprende é um aspecto central, mas não suficiente para garantir a "mágica do ensinar e do aprender".

104 Weinstein, Y. *et al.* (2018). Teaching the science of learning.
Howard-Jones, P. (2014). *Neuroscience and Education - A review of educational interventions and approaches informed by neuroscience.*

105 Royal Society. (2011). Brain waves module 2: Neuroscience: Implications for education and lifelong learning.

106 Ansari, D., & Coch, D. (2006). Bridges over troubled waters: Education and cognitive neuroscience.

107 Sigman, M. *et al.* (2014). Neuroscience and education: Prime time to build the bridge.

Existe uma grande diferença entre conhecer como o cérebro processa a aprendizagem e a aplicação desse conhecimento na prática pedagógica. Para que as descobertas da Neurociência Cognitiva sejam traduzidas em estratégias pedagógicas efetivas, ou seja, para a realização de uma Educação baseada em evidências[108], há necessidade de investigação rigorosa e, portanto, científica, dos achados da Neurociência aplicados à sala de aula, antes de que qualquer aplicação educacional possa ser estabelecida e propagada de forma ampla[109].



Para avançar na direção de uma Educação baseada em evidências é preciso aproximar pesquisadores, educadores e gestores para discutir a ciência da aprendizagem e suas aplicações políticas e práticas; estimular e conduzir pesquisas sobre aprendizado e ensino; e promover experimentos em escolas e ambientes escolares para testar hipóteses pedagógicas (Rede CpE)[108].

Apesar de alguma resistência[110] ao diálogo entre a Neurociência e a Educação, os últimos anos vêm mostrando que a Neurociência Educacional[111] tem se firmado como campo do saber, conquistando tanto pesquisadores quanto educadores. De qualquer forma, ainda há um longo caminho pela frente até que ela possa impactar, de fato, a formação do professor, as políticas públicas para a Educação, os currículos e o cotidiano da sala de aula[112].

Para entender melhor a relação entre Neurociência e Educação, é fundamental conhecer como o cérebro aprende. Saber como ele funciona possibilita compreender como as contribuições da Neurociência podem inspirar a prática pedagógica. O capítulo 4 explica a importância da aprendizagem para o desenvolvimento humano e o capítulo 5 esclarece como o cérebro processa a aprendizagem.

108 Rede Nacional de Ciência para Educação: http://cienciaparaeducacao.org/

109 De Smedt, B. (2018). Applications of cognitive neuroscience in educational research.
Goswami, U. (2015). Neurociencia y Educación: ¿Podemos ir de la investigación básica a su aplicación? Un posible marco de referência desde la investigación en dislexia.

110 Bowers, J. S. (2016). The practical and principled problems with educational neuroscience.
Bowers, J. S. (2016). Psychology, not educational neuroscience, is the way forward for improving educational outcomes for all children: Reply to Gabrieli (2016) and Howard-Jones et al. (2016).
Bruer, J. T. (2016). Neuroeducación: Un panorama desde el puente.

111 Gabrieli, J. D. E. (2016). The promise of educational neuroscience: Comment on Bowers.
Hobbiss, M. H. *et al.* (2019). "UNIFIED": Bridging the researcher: Practitioner divide in mind, brain and education.
Feiler, J. B., & Stabio, M. E. (2018). Three pillars of educational neuroscience from three decades of literature.
Howard-Jones, P. A. *et al.* (2016). The principles and practices of educational neuroscience: Comment on Bowers (2016).
Thomas, M. S. C. *et al.* (2019). Annual Research Review: Educational neuroscience: progress and prospects.

112 Carew, T. J., & Magsamen, S. H. (2010). Neuroscience and education: An ideal partnership for producing evidence-based solutions to guide 21st century learning.





4 APRENDIZAGEM NOS TORNA HUMANOS

Este capítulo apresenta a definição de aprendizagem e esclarece como o cérebro se desenvolve tendo em vista sua singularidade nos seres humanos.

O ser humano, assim como todos os seres vivos, está em permanente interação com o meio em que vive, identificando as mais diversas situações e produzindo respostas adaptativas e criativas, essenciais para sua sobrevivência[113]. A aprendizagem é fundamental nesse processo, pois ela favorece o desenvolvimento de **funções mentais** e a aquisição de novas competências, ambos relacionados às modificações cerebrais desencadeadas pelas interações do aprendiz com o ambiente. A capacidade de aprender nos proporciona conhecimentos, habilidades e atitudes que nos permitem transformar nossa vivência e o mundo à nossa volta[114]. Quando o indivíduo aprende a atuar no mundo, ele tem mais chances de se realizar e viver melhor.

Embora os animais, de forma geral, tenham condições de realizar certas aprendizagens em algum nível, as características de seu **sistema nervoso**, principalmente a limitação da linguagem[115], não lhes permitem o desenvolvimento e a transmissão dessas aprendizagens. Além disso, nos animais, a maior parte das **redes neurais** responsáveis pelos diversos comportamentos, necessários à sua sobrevivência, são programadas pela natureza, isto é, pelo código genético da espécie, e já estão organizadas e funcionalmente prontas ao nascimento[116]. Por exemplo, os animais não precisam "aprender" a andar. Um bezerro consegue ficar em pé logo ao nascer, o que ocorrerá com o bebê humano vários meses após o nascimento. Embora os diversos **circuitos neurais** necessários para que o bebê caminhe já tenham sido formados ao longo da gestação, eles ainda não estão prontos para funcionar. Os estímulos ambientais e as relações sociais são imprescindíveis para que o desenvolvimento desses circuitos seja concluído e possibilitem o bebê andar[117].

113 Boyd, R. *et al.* (2011). The cultural niche: Why social learning is essential for human adaptation.

114 Van Schaik, C. P., & Burkart, J. M. (2011). Social learning and evolution: The cultural intelligence hypothesis.

115 Pinker, S., & Bloom, P. (1990). Natural language and natural selection.

116 Xu, X. (2013). Modular genetic control of innate behavior.
Blumberg, M. S. (2017). Development evolving: The origins and meanings of instinct.

117 Adolph, K. E., & Franchak, J. M. (2017). The development of motor behavior.

O **cérebro** humano é bastante imaturo ao nascimento e, por isso, os bebês precisam de muitos cuidados e estímulos por um tempo prolongado para desenvolverem uma estrutura neural mais complexa, capaz de produzir comportamentos que nenhum outro animal produz. As modificações que ocorrem no período pós-natal[118] – formação de **sinapses**, aumento de **processos axonais** e **dendríticos**, **mielinização** e proliferação de **células da glia**[119] – levam ao aumento do peso e tamanho do cérebro, que passa de cerca de 400 g ao nascimento para 800 g ao final do primeiro ano de vida[120], alcançando cerca de 1.500 g ao final da adolescência, quando atinge seu peso máximo[121].

Fizemos uma troca com a natureza: nossos cérebros nascem mais imaturos, porém com maior potencial de desenvolvimento do que o cérebro dos demais animais. Por isso, precisamos das interações com o mundo para desenvolver o nosso cérebro plenamente[122]. Diferentemente dos animais, os comportamentos do ser humano são, em sua maioria, aprendidos. Na primeira infância, precisamos "aprender" a andar, a comer, a falar, a controlar os esfíncteres, pois apenas a nossa bagagem genética não nos garante uma adaptação imediata. Conforme evoluímos, vamos desenvolvendo aprendizagens mais complexas como ler e escrever, fazer cálculos, tomar decisões, escolher um parceiro, fazer julgamentos[123].

Já nascemos com áreas específicas no cérebro responsáveis pela linguagem, que nos dão a possibilidade de falar[124]. No entanto, só desenvolvemos essas áreas se outro ser humano interagir conosco[125]. Se aprendemos a falar um dia, foi porque alguém falou conosco e nos estimulou a desenvolver um vocabulário por meio da interação[126]. Além disso, a língua que vamos "aprender" a falar não vem determinada na nossa estrutura genética[127]. Apesar de o cérebro humano nascer com a capacidade de aprender qualquer idioma do planeta, o que determina se vamos falar português, alemão ou mandarim é o local onde nascemos e as pessoas com quem nos relacionamos[128]. Ou seja, *onde*, *como* e *com quem* vamos aprender a falar são fatores determinantes nesse processo.

---

118 Lenroot, R. K., & Giedd, J. N. (2006). Brain development in children and adolescents: Insights from anatomical magnetic resonance imaging.

119 Kolb, B. & Gibb, R. (2011). Brain plasticity and behaviour in the developing brain.
Tierney, A. L., & Nelson III, C. A. (2009). Brain development and the role of experience in the early years.
Jernigan, T. L., & Stiles, J. (2017). Construction of the human forebrain.

120 Holland, D. *et al.* (2014). Structural growth trajectories and rates of change in the first 3 months of infant brain development.
Cao, M. *et al.* (2017). Developmental connectomics from infancy through early childhood.

121 Giedd, J. N., & Rapoport, J. L. (2010). Structural MRI of pediatric brain development: What have we learned and where are we going?

122 Thompson, B. *et al.* (2016). Culture shapes the evolution of cognition.

123 Belsky, J. (2010). *Desenvolvimento humano: Experienciando o ciclo da vida.*

124 Kuhl, P. K. (2010). Brain mechanisms in early language acquisition.

125 Kuhl, P. K. (2011). Early language learning and literacy: Neuroscience implications for education.

126 Friedmann, N., & Rusou, D. (2015). Critical period for first language: The crucial role of language input during the first year of life.

127 Goksan, S. *et al.* (2020). Early childhood bilingualism: Effects on brain structure and function.

128 Li, P., & Jeong, H. (2020). The social brain of language: Grounding second language learning in social interaction.

O ser humano não tem um instinto que lhe garanta saber de antemão, por exemplo, como fazer o seu ninho. Ele precisou aprender a construir a sua moradia e, por isso, conforme a sua história foi evoluindo, a sua forma de morar também foi se modificando. O fato de o ser humano precisar aprender para se adaptar lhe garantiu um destino histórico. Por quê? Porque, ao não poder contar exclusivamente com a genética, o ser humano tem a possibilidade de criar, mudar, transformar e construir uma história, seja da arquitetura, da filosofia, da educação, da ciência, da tecnologia, entre outras tantas[129]. Uma história que está refletida na sua cultura, nos seus hábitos e costumes[130].

A seleção natural nos tornou *Homo sapiens*, mas é a apropriação da cultura por meio da aprendizagem de hábitos, costumes, conhecimentos e valores que nos torna humanos. Quando um bebê nasce, ele traz como herança uma "bagagem genética humana"[131], mas, para se tornar um ser humano, ele precisa aprender e, assim, apropriar-se do conhecimento humano. Ser humano significa falar como ser humano, comer como ser humano, vestir como ser humano, habitar como ser humano e apropriar-se do conhecimento científico acumulado ao longo do tempo[132]. A possibilidade de aprender e de transmitir à próxima geração o que aprendemos é a habilidade que mais nos diferencia dos outros animais, daí considerarmos que a aprendizagem nos torna humanos[133].

Aprendizagem está, assim, intimamente relacionada à evolução da espécie humana[134]. Aprender é uma característica intrínseca do ser humano, essencial para sua sobrevivência[135]. O sistema nervoso e, mais especificamente o cérebro, evoluíram de tal forma que se tornaram estruturas especializadas em aprendizagem [136].

4.1 O CÉREBRO NÃO NASCE PRONTO

Conforme afirmamos anteriormente, apesar de o cérebro humano desenvolver-se significativamente ao longo do período pré-natal[137], ele não nasce pronto. Assim, quem somos – o que pensamos, como pensamos, como agimos – tem relação com a

129 Legare, C. H. (2017). Cumulative cultural learning: Development and diversity.
130 Heyes, C. (2012). Grist and mills: On the cultural origins of cultural learning.
131 Korade, Z., & Mirnics, K. (2014). Programmed to be human?
132 Hogenboom, M. (2015). The traits that make humans beings unique.
133 Caldwell, C. A. *et al.* (2018). Human teaching and cumulative cultural evolution.
134 Muthukrishna, M. *et al.* (2018). The cultural brain hypothesis: How culture drives brain expansion, sociality, and life history.
135 Csibra, G., & Gergely, G. (2011). Natural pedagogy as evolutionary adaptation.
Heyes, C. (2016). Born pupils? Natural pedagogy and cultural pedagogy.
136 Sousa, A. M. M. *et al.* (2017). Evolution of the human nervous system function, structure, and development.
137 Darnell, D., & Gilbert, S. F. (2017). Neuroembriology.

organização estrutural e funcional do sistema nervoso[138], orientada por fatores genéticos[139] e potencialmente modificável por **fatores epigenéticos**[140] e por fatores ambientais que estimulem a **neuroplasticidade**[141]. Não somos a nossa genética. Somos o resultado singular da interação de nossa genética com o meio no qual vivemos[142].

Neuroplasticidade ou plasticidade neural[143] é a capacidade de o sistema nervoso modificar-se que envolve, entre outros processos, fazer e desfazer ligações entre os **neurônios**, como consequência das interações constantes com o ambiente externo e interno do nosso corpo. É uma propriedade dos neurônios imprescindível para os mecanismos de formação da memória e, portanto, base biológica da aprendizagem[144]. Quando um **neurônio** é frequentemente ativado por determinados estímulos, ele passa a produzir, durante os períodos de sono, proteínas e outras substâncias que são utilizadas na reestruturação de sinapses ou na formação de novas sinapses, processo denominado **sinaptogênese**[145]. Se o neurônio deixa de ser ativado, essas sinapses são desfeitas, o que é chamado **poda sináptica** ou desbastamento sináptico[146]. A poda sináptica também ocorre, naturalmente, conforme previsto pela nossa genética, ao longo do desenvolvimento, principalmente na infância e na adolescência.

A neuroplasticidade envolve tanto a formação de novas sinapses como um aumento na eficiência das sinapses já existentes[147], o que facilita a passagem do **impulso nervoso**, isto é, o fluxo da informação dentro de um **circuito neural**. É o que acontece quando praticamos uma nova língua, estudamos piano diariamente ou aplicamos uma fórmula matemática em diversos problemas.

A neuroplasticidade[148] também leva à associação de circuitos neurais até então independentes, o que ocorre, por exemplo, quando um conceito novo é aprendido a partir de conhecimentos prévios. Ela possibilita, assim, a reorganização estrutural e funcional dos circuitos neurais a partir dos estímulos recebidos do ambiente, sendo o mecanismo biológico fundamental para a formação de memórias, para a aprendizagem e, portanto, para a aquisição de novas competências que levarão a novos comportamentos.

---

138 Stiles, J. (2017). Principles of brain development.

139 Silbereis, J. C. *et al.* (2016). The cellular and molecular landscapes of the developing human central nervous system.

140 Center on the Developing Child Harvard University e Núcleo Ciência pela Infância. (2010). *O que é epigenética?*

141 Kolb, B. *et al.* (2017). Principles of plasticity in the developing brain.

142 Bateson, P. (2017). Robustness and plasticity in development.
Institute of Medicine & National Research Council. (2015). The interaction of biology and environment.

143 Lent, R. (2019). *O cérebro aprendiz: Neuroplasticidade e educação.*

144 Abraham, W. C. *et al.* (2019). Is plasticity of synapses the mechanism of long-term memory storage?

145 Seibt, J., & Frank, M. G. (2019). Primed to sleep: The dynamics of synaptic plasticity across brain states.

146 Sakai, J. (2020). How synaptic pruning shapes neural wiring during development and, possibly, in disease.

147 Baroncelli, L. *et al.* (2010). Nurturing brain plasticity: Impact of environmental enrichment.

148 Voss, P. *et al.* (2017). Dynamic brains and the changing rules of neuroplasticity: Implications for learning and recovery.

O sistema nervoso é muito plástico nos primeiros anos de vida, o que significa que a capacidade de fazer e desfazer sinapses é muito grande[149]. Isso indica que estímulos adequados levarão mais facilmente à reorganização de circuitos neurais e ao desenvolvimento de determinadas aprendizagens, mas que a falta daqueles também tem importante impacto[150]. Crianças que crescem recebendo poucos ou nenhum estímulo do ambiente, incluindo interações sociais[151], podem ter dificuldades na conquista de algumas aprendizagens ou podem até chegar a não as desenvolver[152].

4.2 CÉREBRO EM CONSTANTE DESENVOLVIMENTO

Ao longo da maturação do sistema nervoso, observa-se que há um padrão cronológico típico da espécie humana para o aparecimento de várias funções mentais[153], indicando que conexões entre determinados neurônios, mielinização de fibras nervosas e organização de circuitos neurais podem depender de um tempo definido pela genética da espécie[154]. Daí o estabelecimento de alguns marcos do desenvolvimento[155], apesar das diferenças individuais que podem ocorrer. As crianças andam sem ajuda entre os 12 e 15 meses de vida, controlam voluntariamente seus esfíncteres entre 21 meses e 48 meses de idade e começam a falar por volta dos 18 meses.

Os períodos sensíveis e críticos[156] do desenvolvimento cerebral são aqueles nos quais a estrutura do sistema nervoso é mais sensível a determinados estímulos ambientais e, portanto, tem maior facilidade para reorganizar suas conexões. A neuroplasticidade e a mielinização são mais intensas e fazem com que determinadas aprendizagens ocorram de forma ideal.

Tais períodos sensíveis explicam a razão pela qual a aprendizagem é mais fácil e rápida em alguns momentos do que em outros. Por isso, por um lado, as crianças aprendem tão facilmente. Por outro lado, quando não desempenhamos determinadas atividades que envolvem circuitos neurais específicos de percepção, linguagem, memória, motricidade, raciocínio, entre outros, ou quando um indivíduo é privado de estímulos

149 Graaf-Peters, V. B., & Hadders-Algra, M. (2006). Ontogeny of the human central nervous system: What is happening when?
150 Power, J. D., & Schlaggar, B. L. (2017). Neural plasticity across the lifespan.
151 Lipina, S. J., & Posner, M. I. (2012). The impact of poverty on the development of brain networks.
152 Hair, N. L. *et al.* (2015). Association of child poverty, brain development, and academic achievement.
153 Institute of Medicine & National Research Council. (2015). Child development and early learning.
154 Huang, H. *et al.* (2015). Development of human brain structural networks through infancy and childhood.
155 Sheldrick, R. C. *et al.* (2019). Establishing new norms for developmental milestones.
156 Ismail, F. Y. *et al.* (2017). Cerebral plasticity: Windows of opportunity in the developing brain.

ambientais[157], as sinapses entre neurônios são desfeitas. Assim, neurônios que não são usados desfazem suas conexões e podem até ser eliminados, o que pode causar atrasos na aquisição de habilidades motoras, cognitivas e sociais[158]. No entanto, se houver uma eventual perda de oportunidade nesses períodos sensíveis, ela pode ser recuperada, parcial ou totalmente no futuro, embora somente ao custo de estímulos mais intensos e intervenções mais dirigidas[159].

Há dois momentos particularmente importantes ao longo do desenvolvimento[160]. O primeiro corresponde ao período do nascimento, quando ocorre um ajuste quanto ao número de neurônios e, durante os primeiros anos de vida[161], quando sinapses redundantes, produzidas ao longo do período pré-natal, são eliminadas, preservando-se neurônios e sinapses que serão realmente utilizados nos circuitos necessários à execução das diversas funções mentais. As especializações das funções mentais estabelecem-se entre os primeiros 5 a 10 anos de vida[162]. Por isso, a maior parte das habilidades motoras, perceptuais, cognitivas e emocionais pode ser trabalhada com mais eficiência até os 10 anos de idade.

O segundo momento corresponde à época da adolescência[163], quando a espessura do **córtex cerebral** diminui, às custas de acelerado processo de eliminação de sinapses e de alterações dos prolongamentos axonais e dendríticos, em diferentes regiões do córtex, principalmente da área pré-frontal, importantes para o raciocínio, o planejamento e a comunicação social[164]. Além disso, há um considerável aumento da substância branca, relacionado à mielinização das fibras nervosas nos circuitos neurais, tornando-os mais eficientes[165]. O cérebro do adolescente aumenta a sua capacidade de usar e elaborar o que já foi aprendido e o prepara para os desafios da vida adulta, aprimorando suas habilidades para solucionar problemas, autorregular o comportamento, gerenciar respostas emocionais e tomar decisões[166].

157 Inguaggiato, E. *et al.* (2017). Brain plasticity and early development: Implications for early intervention in neurodevelopmental disorders.

158 Löwel, S. *et al.* (2018). Environmental conditions strongly affect brain plasticity.

159 Sale, A. *et al.* (2014). Environment and brain plasticity: Towards an endogenous pharmacotherapy.

160 Stiles, J., & Jernigan, T. L. (2010). The basics of brain development.

161 Gilmore, J. H. *et al.* (2018). Imaging structural and functional brain development in early childhood.
Haartsen, R. *et al.* (2016). Human brain development over the early years.

162 Girault, J. B. *et al.* (2020). Cortical structure and cognition in infants and toddlers.

163 Foulkes, L., & Blakemore, S-J. (2018). Studying individual differences in human adolescent brain development.

164 Blakemore, S-J., & Choudhury, S. (2006). Development of the adolescent brain: Implications for executive function and social cognition.
Dumontheil, I. (2016). Adolescent brain development.

165 Casey, B. J. *et al.* (2008). The adolescent brain.

166 Balvin, N., & Banati, P. (2017). *The adolescent brain: A second window of opportunity: A compendium.*
Griffin, A. (2017). Adolescent neurological development and implications for health and well-being.

Vale ressaltar que a característica plástica do sistema nervoso torna as crianças mais susceptíveis aos efeitos epigenéticos de situações estressantes, como violência e maus-tratos, privação de contato social, desnutrição, exposição materna pré-natal a drogas, infecções, entre outros fatores que podem influenciar o desenvolvimento do cérebro[167] e, portanto, de suas funções mentais[168]. Daí a relevância da atenção e dos cuidados em relação a essa etapa do ciclo vital[169].

Com o passar dos anos, os mecanismos responsáveis pela neuroplasticidade exigem mais tempo e frequência de estímulos, mas ela ainda ocorre[170]. A estrutura do cérebro permanece plástica e sensível à experiência, mesmo mais tarde na vida, o que significa que o cérebro está em permanente modificação ao longo de todo o ciclo vital[171].

4.3 CÉREBRO SINGULAR: JEITO ÚNICO DE SER E APRENDER

Cada indivíduo tem um sistema nervoso próprio e, portanto, um cérebro que é único[172]. Não existem dois cérebros humanos iguais. No entanto, todos nós temos circuitos neurais relacionados à motricidade, à sensibilidade, à linguagem, ao raciocínio lógico, entre outras funções mentais, que seguem padrões típicos da espécie humana[173]. As características desses circuitos estão previstas nas informações genéticas dos neurônios e constituirão o sistema nervoso que é formado, em suas linhas gerais, dentro do útero materno durante os períodos embrionário e fetal.

Quando a criança nasce, ela já tem pronto, em seu cérebro, esse conjunto de circuitos, ainda que eles não estejam funcionando em sua plenitude. Além da genética, o que torna cada cérebro singular é o fato de que os detalhes de como os neurônios se interligam podem ser definidos e modificados conforme a história pessoal[174]. A história de vida única de cada pessoa constrói, desfaz e reorganiza continuamente as conexões sinápticas entre os bilhões de neurônios que constituem o sistema nervoso.

167 Gao, W. *et al.* (2019). A review on neuroimaging studies of genetic and environmental influences on early brain development.

168 National Scientific Council on the Developing Child (2010). *Early experiences can alter gene expression and affect long-term development.*

169 Institute of Medicine & National Research Council. (2015). *Transforming the workforce for children birth through age 8: a unifying foundation.*

170 Arcos-Burgos, M. *et al.* (2019). Neural plasticity during aging.

171 Lindenberger, U., & Lövdén, M. (2019). Brain plasticity in human lifespan development: The exploration-selection-refinement model.

172 Wang, D., & Liu, H. (2014). Functional connectivity architecture of the human brain: Not all the same.

173 Johnson, M. H. (2011). Interactive specialization: A domain-general framework for human functional brain development?

174 Bick, J., & Nelson, C. A. (2017). Early experience and brain development.

A formação do sistema nervoso durante a gestação é influenciada por informações genéticas, recebidas dos pais e de outros ancestrais, mas também por condições específicas da gestação, relacionadas a fatores nutricionais, emocionais, infecciosos, tóxicos, entre outros. Esse processo resulta nos padrões típicos da espécie humana associados às peculiaridades genéticas individuais[175]. Tais peculiaridades são responsáveis pelas diferenças na formação, na localização e no estabelecimento de conexões entre neurônios, ou ainda pelas diferenças moleculares e bioquímicas que podem afetar a produção e função de substâncias químicas que atuam no sistema nervoso, como, por exemplo, os **neurotransmissores.**

Em decorrência de condições específicas da gestação, da neuroplasticidade e de fatores epigenéticos[176], o sistema nervoso pode apresentar modificações em circuitos neurais mais localizados[177], responsáveis por funções específicas como linguagem, ou em circuitos que participam de vários aspectos cognitivos, como é o caso do **córtex pré-frontal**, porção mais anterior do **lobo frontal**. Assim surgem as diferenças individuais relacionadas às diversas funções mentais[178], como atenção, memória, controle emocional, **funções executivas**[179], motivação, inibição de respostas, planejamento, linguagem, percepção espacial, raciocínio lógico, entre outras. Essas diferenças no funcionamento mental podem acarretar dificuldades ou facilidades para a aprendizagem escolar e também para o comportamento socioemocional, a comunicação do indivíduo, sua interação com as pessoas e para algumas atividades da vida diária.

O impacto das diferenças cerebrais e dos comportamentos relacionados a elas, portanto, não é restrito ao desempenho e contexto escolares, mas pode se estender ao cotidiano do indivíduo. Isso se aplica tanto a aprendizes sem grandes variações em relação à média da população, mas também aos aprendizes com transtornos neurológicos (epilepsia, paralisia cerebral), transtornos de aprendizagem (dislexia, discalculia) ou transtornos neuropsiquiátricos (transtorno do déficit de atenção e hiperatividade – TDAH, esquizofrenia, transtorno do espectro autista – TEA, síndrome de Down, síndrome de Williams) relacionados a alterações do neurodesenvolvimento[180].

175 Charney, E. (2017). Genes, behavior, and behavior genetics.

176 Moore, D. S. (2017). Behavioral epigenetics.
Herzberg, M. P., & Gunnar, M. R. (2020). Early life stress and brain function: Activity and connectivity associated with processing emotion and reward.

177 Brown, T. T. (2017). Individual differences in human brain development.
Mueller, S. *et al.* (2013). Individual variability in functional connectivity architecture of the human brain.

178 Kanai, R., & Rees, G. (2011). The structural basis of interindividual differences in human behaviour and cognition.

179 Blair, C. (2017). Educating executive function.

180 D'Sousa, H., & Karmiloff-Smith, A. (2017). Neurodevelopmental disorders.

Mesmo gêmeos univitelinos[181], que possuem material genético idêntico, à medida que experimentam interações com estímulos ambientais e sociais distintos, apresentam diferenças no seu fenótipo, que é a expressão de sua genética. Essas diferenças caracterizam cérebros que respondem a estímulos, percebem o mundo, pensam e comportam-se distintamente. Por isso, cérebros diferentes, ou seja, que apresentam neurodiversidade[182], aprendem de forma diferente.

Afirmar que os aprendizes são distintos significa dizer que eles aprendem por caminhos diferenciados. Nessa perspectiva, o processo educativo não pode oferecer uma rota única de aprendizagem para todos. A diversificação das práticas pedagógicas e dos recursos didáticos favorece a construção de um processo de aprendizagem personalizado, que possibilita a cada um colocar em jogo o jeito próprio de aprender. Assim, a estrutura cerebral de cada aprendiz pode ser melhor mobilizada e o desenvolvimento das competências será potencializado.

Para promover a aprendizagem, os mediadores desse processo, sejam eles os professores, a família ou a comunidade, precisam estabelecer um ambiente favorável[183], no qual cada aprendiz, com suas necessidades específicas, possa desenvolver seu potencial na escola e na vida, ou seja, possa aprender com plenitude e desenvolver seus interesses, talentos e habilidades.

4.4 VIVER É INTERAGIR. INTERAGIR PARA APRENDER. APRENDER PARA VIVER

Como vimos, a aprendizagem nos torna humanos. Ao nascer, somos bebês vulneráveis, sem habilidades e conhecimentos. Ao longo do desenvolvimento, vamos aprendendo e, a depender da história de vida de cada um, nos tornamos adultos com possibilidades de atuar como professores, advogados, bombeiros, astronautas ou em qualquer outra profissão que sonharmos.

Mas, para além da atuação profissional, uma pessoa aprende quando adquire competência para se adaptar a novas situações, para resolver problemas, para criar novas possibilidades, para estabelecer relações sociais e amorosas, para realizar tarefas diárias importantes para a sobrevivência, implementando estratégias em busca de saúde, de melhor qualidade de vida, de realização pessoal e em sociedade.

181 Gage, F. H., & Muotri, A. R. (2012). What makes each brain unique.

182 Armstrong, T. (2017). Neurodiversity: The future of special education?

183 Black, M. M. *et al.* (2017). Early childhood development coming of age: Science through the life course.



Aprendizagem é a aquisição de novas competências (conhecimentos, habilidades e atitudes), relacionadas às modificações cerebrais desencadeadas pelas interações do aprendiz com o ambiente. É um processo que se traduz pela formação e consolidação das ligações entre neurônios, e resulta de modificações químicas e estruturais no sistema nervoso, o que exige tempo e energia para se manifestar. Portanto, a aprendizagem corresponde à modificação do cérebro por meio da experiência.

Aprendizagem, portanto, é um processo que ocorre no sistema nervoso e depende, em sua maior parte, da atividade de circuitos neurais ativados pelos estímulos oriundos das interações que o aprendiz tem com o meio em que vive. Nessa perspectiva, a aprendizagem é um processo individual que obedece a circunstâncias históricas de cada um de nós, mas também um processo social na medida em que as interações com o mundo orientam o desenvolvimento desse cérebro singular.

Entre todas as características da organização básica do sistema nervoso[184], talvez uma das mais notáveis seja a propriedade que o **neurônio** tem de alterar seu estado químico e elétrico, quando ativado pelas diferentes modalidades de energia do ambiente que chegam ao cérebro, por meio dos órgãos dos sentidos, trazendo informações do mundo que nos rodeia e também do nosso próprio organismo. Sons, imagens, cheiros, sabores, vibrações, calor, frio, sensações táteis e dolorosas, produzidas pelos diversos elementos físicos e químicos do ambiente, pela natureza, pela cultura e pelas relações sociais, são estímulos que ativam neurônios no cérebro. Da mesma forma, informações do próprio corpo, vindas dos músculos, das articulações e das vísceras (coração, pulmões, trato gastrointestinal, vasos sanguíneos, etc.) também ativam neurônios, informando o que ocorre nas demais partes do organismo[185]. O cérebro "sabe" o tempo todo como o nosso corpo reage durante as experiências que vivenciamos.

Essas informações vindas dos ambientes externo e interno são traduzidas em **linguagem eletroquímica** por neurônios sensíveis aos estímulos[186]. Quando um **neurônio sensitivo** é ativado, ele libera neurotransmissores, que ativam um próximo neurônio, com o qual ele tem conexão (sinapse). Esse segundo neurônio ativará outro, e assim por diante, dando continuidade ao processamento daquela informação. O conjunto de neurônios que conduz um estímulo (informação), desde o órgão do sentido até o cérebro, recebe

184 Cosenza, R. M., & Guerra, L. B. (2011). *Neurociência e Educação: Como o cérebro aprende.*
185 Lent, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência.*
186 Cosenza, R. M., & Guerra, L. B. (2011). *Neurociência e educação: Como o cérebro aprende.*

o nome de **via sensorial** – visual, auditiva, olfativa, tátil, gustativa, **proprioceptiva** – que é específica e única para cada sentido. Quando a informação de determinada via sensorial chega ao cérebro, ela ativa, inicialmente, neurônios da chamada área cerebral primária, onde ocorre a sensação**.** Em seguida, esses neurônios ativam neurônios das áreas cerebrais denominadas secundárias, cuja atividade resulta na percepção, ou seja, na interpretação das diversas características daquele estímulo sensorial.

Para cada sentido, há áreas primária e secundárias específicas, localizadas nos **lobos parietal** (tato, gustação, propriocepção), **temporal** (audição e olfação) e **occipital** (visão). A informação processada em cada uma das áreas secundárias é integrada nas áreas terciárias (**córtices temporoparietal e frontal**) e é esta integração que dá o significado à experiência sensório-perceptual[187]. Por exemplo, ao vermos uma maçã, a **área visual primária** detecta o estímulo visual, mas são os diferentes circuitos neurais da **área visual secundária** que percebem o estímulo como redondo, vermelho e sem movimento para, em seguida, a área terciária analisar essas percepções, a princípio, como uma "bola vermelha". É necessário que a área terciária receba as percepções das informações táteis, gustativas e olfativas proporcionadas pela maçã para que o cérebro elabore um significado um tanto diferente do primeiro, no qual apenas o estímulo visual era disponível. Só assim, processando de forma integrada distintas informações sobre o objeto, o cérebro chegará à conclusão de que a "bola vermelha" é, de fato, uma "maçã".

Além dessas áreas cerebrais que nos possibilitam atribuir um significado aos estímulos que recebemos, o cérebro humano é dotado, de forma peculiar, de circuitos neurais, especializados em reconhecimento e interpretação de sinais sociais, tais como expressões faciais, tons de voz, movimentos corporais e dos olhos. Esses circuitos constituem o chamado cérebro social[188], que nos permite interpretar as emoções, os estados mentais e as intenções das outras pessoas, orientando nosso comportamento em relação a elas.

Os circuitos neurais do cérebro social[189], ativados especialmente durante as interações sociais, estão distribuídos em regiões dos córtices frontal, pré-frontal, parietal e temporal e estão organizados em dois sistemas. Um deles é o **sistema de neurônios espelho**[190], que nos permite, a partir da observação do comportamento de outra pessoa, ativar nossas próprias áreas cerebrais relacionadas àquele comportamento e, assim, entender as metas, as intenções e as emoções do outro[191]. Os neurônios espelho estão

187 Cao, Y. *et al.* (2019). Causal inference in the multisensory brain**.**

188 Adolphs, R. (2009). The social brain: Neural basis of social knowledge.

189 Vogeley, K. (2017). Two social brains: Neural mechanisms of intersubjectivity.

190 Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2016). The mirror mechanism: A basic principle of brain function.
Jeon, H., & Lee, S-H. (2018). From neurons to social beings: Short review of the mirror neuron system research and its socio-psychological and psychiatric implications.

191 Catmur, C., & Heyes, C. (2019). Mirroring 'meaningful' actions: Sensorimotor learning modulates imitation of goal-directed actions.

envolvidos com a aprendizagem por imitação[192], a capacidade de se colocar no lugar do outro (empatia)[193] e com a coordenação de ações durante uma interação cooperativa[194]. O outro sistema do cérebro social é o **sistema de mentalização**[195] que nos permite fazer previsões sobre as intenções e ações futuras de outra pessoa, independentemente de estarmos observando suas ações. Para isso, levamos em consideração o que sabemos sobre o outro, suas crenças, desejos e conhecimentos. Em uma interação social, esses sistemas são acionados pelos sinais emitidos pelos participantes da interação, que é bidirecional e influenciada pelos aspectos cognitivos, pelo estado afetivo e pelas memórias de um e outro[196]. É nesse processo dinâmico e recíproco que se estabelecem as impressões, as opiniões e as expectativas que orientam as ações de uma pessoa em relação à outra.

Embora sejam sistemas independentes, relacionados a regiões cerebrais distintas, o sistema de neurônios espelho e o de mentalização atuam em conjunto quando realizamos um julgamento a respeito do estado mental, das intenções e ideias de outras pessoas[197]. Além disso, esses dois sistemas interagem também com circuitos neurais que processam as emoções (**amígdala cerebral**, porção anterior do **giro do cíngulo** e **ínsula**) e a motivação (**núcleo acumbente**)[198]. Não é por acaso que estudantes gostam de estar juntos e que a aprendizagem com pares tem bons resultados. Esses processos mentais de avaliação de outra pessoa são dinâmicos e constantemente moldados pela autorreflexão e *feedback* externo, numa tentativa de compreensão recíproca entre as mentes envolvidas numa interação. Esses processos são traduzidos no que denominamos de "cognição social"[199].

Assim, os diversos estímulos, incluindo as relações sociais, ativam circuitos neurais, cuja atividade integrada gera as **representações mentais** das interações que temos ao longo da vida[200]. Temos representações mentais para todo objeto, pessoa ou situação que vivenciamos[201]. Por exemplo, ao recebermos os estímulos visuais fornecidos pela imagem de uma palavra e relacionarmos a palavra a um significado, o conjunto de neurônios, ativado pela imagem e pelo significado da palavra, vai constituir a representação mental

192 Campbell, M. E. J., & Cunnington, R. (2017). More than an imitation game: Top-down modulation of the human mirror system.
193 Waal, F. B. M., & Preston, S. D. (2017). Mammalian empathy: Behavioural manifestations and neural basis.
194 Endedijk, H.M. *et al.* (2017). Neural mirroring and social interaction: Motor system involvement during action observation relates to early peer cooperation.
195 Luyten, P., & Fonagy, P. (2015). The neurobiology of mentalizing.
Heleven, E., & van Overwalle, F. (2018). The neural basis of representing others' inner states.
196 Redcay, E., & Schilbach, L. (2019). Using second-person neuroscience to elucidate the mechanisms of social interaction.
197 Sperduti, M. *et al.* (2014). Mirror neuron system and mentalizing system connect during online social interaction.
198 Müller-Pinzler, L. *et al.* (2017). The social neuroscience of interpersonal emotions.
199 Frith, C. D., & Frith, U. (2012). Mechanisms of social cognition.
200 Szucs, D., & Goswami, U. (2007). Educational neuroscience: Defining a new discipline for the study of mental representations.
201 Kragel, P. A. *et al.* (2018). Representation, pattern information, and brain signatures: From neurons to neuroimaging.

daquela palavra. Se o significado da palavra despertar uma emoção, os neurônios que processam essa emoção também integrarão a representação mental daquela palavra[202]. Como cada cérebro é único, a representação mental de uma dada experiência vivenciada por duas pessoas nunca será exatamente a mesma. Cada indivíduo processa e aprende o que vivencia de acordo com as representações mentais que seu cérebro possui, construídas pela sua genética e pela sua interação com o ambiente.

Se essas representações mentais forem repetidas e/ou muito relevantes para o aprendiz, elas serão registradas no sistema nervoso, de forma mais ou menos definitiva. Esse registro é o que chamamos de memória[203]. As memórias são formadas por meio de um processo complexo que envolve várias regiões do cérebro e depende da codificação, do armazenamento e da recuperação da informação/experiência na forma de representação mental. Sem memória, não há aprendizado. Dificuldades para aprender podem refletir, dentre outros fatores, falhas em qualquer um desses estágios do processamento da memória. Quanto melhor codificada e armazenada a memória for, maiores serão as chances de recuperá-la no futuro.

Por isso, o ambiente no qual o aprendiz se desenvolve é tão relevante para a aprendizagem. A qualidade das relações sociais, dos estímulos que ele recebe e das experiências que vivencia é fundamental para a constituição das novas representações mentais e do seu registro na memória[204]. Excetuando as limitações genéticas que podem ocorrer, uma pessoa aprende uma língua quando exposta a ela, aprende matemática quando exercita o cálculo, aprende a decidir quando se defronta com problemas ou dúvidas, aprende a ser violento em contato com a violência, aprende a ser solidário se exercita empatia. O cérebro aprende na relação com o ambiente.

A neuroplasticidade produz modificações nos circuitos neurais, aumentando o fluxo de informações no cérebro, ou seja, facilitando e/ou registrando a "conversa" entre neurônios. Aprendizagem é consequência dessa neuroplasticidade[205]. Em sinapses já existentes, mecanismos bioquímicos são ativados e promovem maior liberação de neurotransmissores ou ação mais eficiente dos neurotransmissores na **membrana pós-sináptica**, o que leva à facilitação da passagem de informações. Mesmo sem formação de uma nova conexão sináptica, aquelas já existentes ficam mais eficientes. Para que a aprendizagem seja mais efetiva e duradoura é necessária a reativação dos circuitos neurais que representam o conhecimento, a habilidade ou a atitude a ser aprendida.

202 Salzman, C. D., & Fusi, S. (2010). Emotion, cognition, and mental state representation in amygdala and prefrontal cortex.
203 Lent, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência.*
204 Clewett, D. *et al.* (2019). Transcending time in the brain: How event memories are constructed from experience.
205 Lent, R. (2019). *O cérebro aprendiz: Neuroplasticidade e educação.*

Quando esses neurônios são reativados, eles produzem, durante os períodos de sono[206], proteínas que serão usadas na construção e na reorganização de sinapses. As reações químicas que ocorrem nesses processos requerem tempo, nutrientes[207] e energia.

Se determinado circuito neural deixa de ser ativado porque uma atividade não é mais realizada – alguém deixou de praticar o inglês ou o piano, ou parou de estudar trigonometria ou tem todos os números de telefones registrados no celular –, as sinapses que mantêm a representação mental dessas habilidades e conhecimentos não conseguem ter sua estrutura preservada e vão se desfazendo progressivamente até que o indivíduo esquece muito do que soube um dia[208].

Existimos e sobrevivemos porque o processo de aprendizagem nos permite registrar e armazenar conhecimentos, habilidades e atitudes, dando preferência àqueles que são importantes para nossa vida. Aquilo que não têm significado para nossa interação com o mundo tende a ser esquecido mais rapidamente ou nem chega a ser registrado como memória. No próximo capítulo, a forma como o cérebro processa a aprendizagem será aprofundada e as principais funções mentais envolvidas nesse processo serão explicitadas.

206 Seibt, J., & Frank, M. G. (2019). Primed to sleep: The dynamics of synaptic plasticity across brain states.

207 Cusick, S. E., & Georgieff, M. K. (2016). The role of nutrition in brain development: The golden opportunity of the "first 1000 days"

208 Davis, R. L., & Zhong, Y. (2017). The biology of forgetting: A perspective.
Izquierdo, I. *et al.* (2006). A arte de esquecer.





5 COMO APRENDEMOS?

Este capítulo esclarece como o cérebro aprende e quais são as funções mentais envolvidas no processo de aprendizagem.

Não é possível saber quanto conhecimento os estudantes levam para casa depois de um dia na escola. Atividades, projetos, testes e provas refletem parte do que foi aprendido, mas, no final das contas, aquilo que realmente o estudante guardou no seu "arquivo pessoal" é algo difícil de mensurar. Da mesma forma, o educador não pode constatar, de fato, como o aprendiz vivencia esse processo, pois a aprendizagem é um processo pessoal e intrapsíquico[209]. É certo que ainda há muito a ser explorado nesse território desconhecido, mas a Neurociência[210] tem avançado na compreensão de como o **cérebro** recebe, processa, armazena e utiliza informações, de forma a esclarecer para o educador como esse processo "invisível" acontece na mente do aprendiz.

Como vimos, na perspectiva da Neurociência, a aprendizagem resulta da reorganização de conexões neuronais[211], gerada a partir da atividade de **neurônios** estimulados pelas informações vindas do ambiente externo e interno. A partir do novo padrão de organização dos **circuitos neurais**, emergem novos conhecimentos, habilidades e atitudes que modificam nossos comportamentos e, consequentemente, a nossa expressão e atuação no mundo[212].

Mas como chegamos a aprender os elementos da tabela periódica, a história da humanidade e as fórmulas matemáticas? Como ocorre a aprendizagem do ponto de vista do funcionamento cerebral? Nos capítulos anteriores, foram apresentados vários conceitos relacionados às bases neurais da aprendizagem, e, neste capítulo, vamos explicitar as principais **funções mentais** envolvidas nesse processo. Inicialmente, vamos apresentar, de forma esquemática, o curso da aprendizagem no cérebro, destacando os principais momentos da aquisição, do processamento e do armazenamento de uma nova informação ou experiência. A figura 2 mostra os principais "caminhos" do processo de aprendizagem no nosso cérebro.

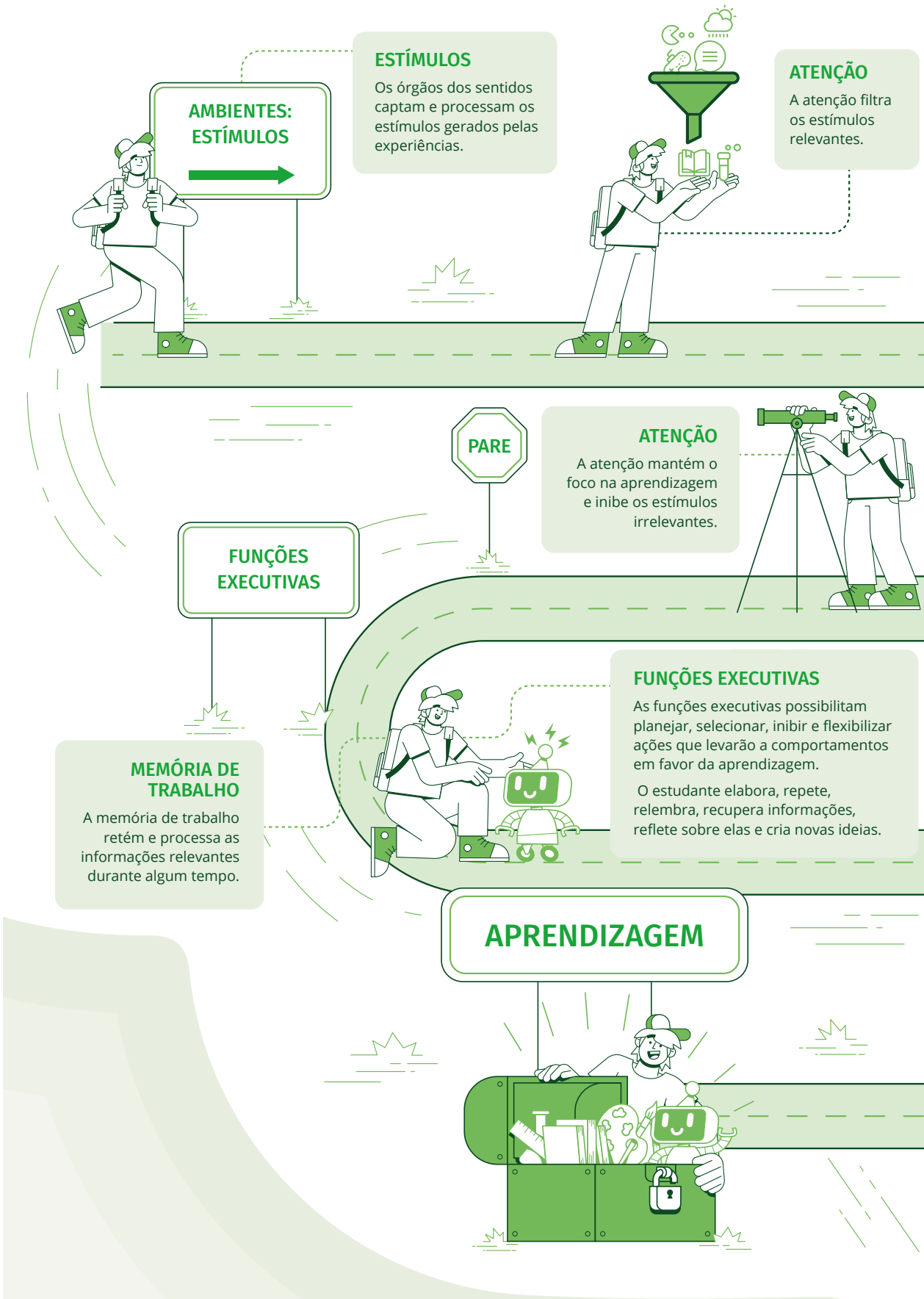
209 Stern, E. (2017). Individual differences in the learning potential of human beings.

210 Cosenza, R. M., & Guerra, L. B. (2011). *Neurociência e educação: Como o cérebro aprende*. O livro esclarece as bases neurais e as principais funções mentais relacionadas à aprendizagem e pode ser utilizado como referência fundamental para todo o Capítulo 5.

211 Lent, R. (2019). *O cérebro aprendiz: Neuroplasticidade e educação.*

212 Van Schaik, C. P., & Burkart, J. M. (2011). Social learning and evolution: The cultural intelligence hypothesis.

FIGURA 2 – Como o cérebro aprende? Os caminhos da aprendizagem



SENSAÇÃO E PERCEPÇÃO

Os estímulos ativam neurônios em áreas cerebrais relacionadas às sensações e percepções e são interpretados.



SIGNIFICADO



SIGNIFICADO

Neurônios são ativados em áreas cerebrais que atribuem um significado aos estímulos.

MOTIVAÇÃO

Áreas relacionadas à motivação são influenciadas pelas emoções e colocam o cérebro em ação para a aprendizagem.



EMOÇÃO

Circuitos neurais relacionados às emoções são ativados e atribuem um valor afetivo aos estímulos recebidos.

NOVAS SINAPSES



NEUROPLASTICIDADE

Os estímulos repetidos e elaborados promovem a formação e reorganização das sinapses.



MEMÓRIA DE LONGA DURAÇÃO

MEMÓRIA DE LONGA DURAÇÃO

A experiência é consolidada na memória de longa duração, o que leva a uma aprendizagem mais efetiva.

Cada um desses "caminhos" do processo de aprendizagem depende de distintos circuitos neurais no cérebro cuja atividade conjunta (e quase simultânea) envolve e desenvolve funções mentais imprescindíveis para qualquer tipo de aprendizagem. Tais funções são essenciais para aprender a ler, calcular, dirigir, ser cooperativo e solidário, dançar, tocar um instrumento, falar uma nova língua, entender filosofia e robótica, enfim, para todo tipo de aprendizado. É a atividade dessas funções mentais que levará à construção das **representações mentais** das experiências vivenciadas.

A figura 3 indica as principais funções mentais envolvidas no processo de aprendizagem que serão explicitadas ao longo do capítulo.

FIGURA 3 – Principais funções mentais envolvidas na aprendizagem



5.1 EMOÇÃO E MOTIVAÇÃO

O cérebro está sempre recebendo informações sobre como o corpo reage às experiências vividas, incluindo aquelas relacionadas à aprendizagem. As emoções representam essa percepção que nosso cérebro tem das mudanças fisiológicas que ocorrem[213] a cada momento. São as emoções que atribuem valor às interações que estabelecemos e ao que fazemos, indicando-nos o quanto algo é bom ou ruim, significativo ou não para nós[214]. Por isso, elas funcionam como um sinalizador interno, que indica quando algo importante está ocorrendo, e influenciam os comportamentos que temos diante de diversos desafios que enfrentamos na vida[215].

As emoções manifestam-se por meio de alterações fisiológicas periféricas, como, por exemplo, o aumento da frequência cardíaca (coração disparado), a alteração da expressão facial, ou a alteração do peristaltismo intestinal (frio na barriga)[216]. Essas mudanças corporais estão associadas a uma experiência consciente das emoções – é a percepção que o cérebro tem daquele estado funcional. Com frequência, somos capazes de identificar essa emoção à qual chamamos "sentimento" e denominamos como medo, tristeza, surpresa, nojo, raiva, alegria, euforia, desânimo, irritação, tédio, indiferença, entre outros.

Várias estruturas do **sistema nervoso**[217] estão envolvidas com as emoções, entre elas as que fazem parte do **sistema límbico**[218]. Em conjunto, essas estruturas permitem a atribuição de valor às interações e a elaboração de comportamentos em resposta a essas interações[219]. Dessa forma, elas sinalizam o que é importante ser registrado como memória e, como consequência, aprendido. Destacam-se, entre elas, a **amígdala cerebral** e o **núcleo acumbente** (principal estrutura do **sistema de recompensa**).

A amígdala cerebral[220] sinaliza principalmente o quanto os estímulos, sejam aqueles que desencadeiam emoções positivas[221] ou negativas, são ameaçadores para a sobrevivência do indivíduo, como, por exemplo, quando uma avaliação inesperada é anunciada em sala de aula pelo professor. A ativação da amígdala influencia a atenção, a percepção,

213 Tsakiris, M., & Critchley, H. (2016). Interoception beyond homeostasis: Affect, cognition and mental health.
214 Cosenza, R. M., & Guerra, L. B. (2011). *Neurociência e educação: Como o cérebro aprende.*
215 LeDoux, J. (2012). Rethinking the emotional brain.
216 Lent, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência.*
217 Venkatraman, A. *et al* (2017). The brainstem in emotion: A review.
218 Esperidião-Antônio, V. *et al.* (2008). Neurobiologia das emoções.
219 Canteras, N. S., & Bittencourt, J. C. (2008). Comportamentos motivados e emoções.
220 Pessoa, L., & Adolphs, R. (2010). Emotion processing and the amygdala: From a 'low road' to 'many roads' of evaluating biological significance.
221 Bonnet, L. *et al.* (2015). The role of the amygdala in the perception of positive emotions: An "intensity detector".

a motivação, a memória e até o metabolismo do indivíduo, para que ele se envolva e elabore respostas adaptativas diante do estímulo que o desafia[222]. No exemplo dado, se o estudante estiver com a aprendizagem em dia, ele mobilizará sua atenção e memória para realizar a avaliação. Caso contrário, ele poderá ter receio de fracassar, se sentir mal e até esquecer o pouco que sabe.

Já o sistema de recompensa[223], quando ativado, proporciona ao indivíduo sensações de prazer e bem-estar. Esse sistema é ativado por estímulos que julgamos que poderão ser, ou que são de fato, bons, interessantes, significativos. Por exemplo, o estudante se preparou para a prova e teve um bom aproveitamento. Nesse caso, quando o resultado é a sensação de prazer, de satisfação e bem estar, o estado fisiológico que o corpo expressa indica ao cérebro que esse comportamento – de estudar – deu certo e que, portanto, deve ser repetido, pois o cérebro avalia que há boas chances de se ter sucesso novamente. A partir daí, o cérebro do estudante consegue antecipar a recompensa que terá por ter estudado e, assim, surge a motivação.

Motivação, portanto, é a ativação antecipada do sistema de recompensa que nos impulsiona a uma ação[224]. É o que nos faz acordar, enfrentar o dia, nos dedicarmos ao trabalho, aos estudos, aos desafios, ao inesperado, às descobertas, ao aprendizado e, de certa forma, à vida em geral. Um dos aspectos que influenciam a motivação é a crença que o indivíduo tem na sua capacidade[225] de concretizar determinada tarefa ou lidar com uma situação específica, o que é denominado autoeficácia. A percepção de autoeficácia aumenta a motivação. Ela nos faz sentir que a dedicação a determinada tarefa vale o esforço e nos predispõe a repetir a experiência. É curioso e compreensível que o sistema de recompensa tenha conexões com uma área cerebral relacionada ao planejamento de estratégias de comportamento, a chamada área ou **córtex pré-frontal**[226]. Uma vez ativado o sistema de recompensa, ele ativará o córtex pré-frontal, que planejará o conjunto de ações necessárias para atingir o objetivo que proporcionará, novamente, o prazer, o bem-estar, a sensação de autoeficácia.

Essa ativação do sistema de recompensa cumpre papel nuclear para a aprendizagem[227]. A motivação facilita o processo fisiológico que o cérebro precisa desempenhar para que a aprendizagem ocorra e promova o engajamento e a dedicação do estudante.

---

222 Weymar, M., & Schwabe, L. (2016). Amygdala and emotion: The bright side of it.

223 Arias-Carrión, O. *et al.* (2010). Dopaminergic reward system: A short integrative review.

224 O'Doherty, J. P. *et al.* (2017). Learning, reward, and decision making.

225 Bejjani, C. *et al.* (2019). Intelligence mindset shapes neural learning signals and memory.

226 Braver, T. S. *et al.* (2014). Mechanisms of motivation-cognition interaction: Challenges and opportunities.

227 Hidi, S. (2016). Revisiting the role of rewards in motivation and learning: Implications of neuroscientific research.
Mizuno, K. *et al.* (2008). The neural basis of academic achievement motivation.

Quanto mais ele se empenha, mais ele coloca em prática o aprendizado, consolidando-o e ampliando as chances de sucesso no seu desempenho. Essa relação entre motivação, prática e resultado positivo mobiliza um círculo virtuoso muito favorável ao processo de aprendizagem[228].

A ativação do sistema de recompensa[229] no aprendiz pode ser mobilizada por atividades interessantes, experiências fortalecedoras da autoeficácia e pelo *feedback* positivo do professor[230]. Esse último aspecto é fundamental. O encorajamento do professor, ao tratar o erro como um caminho para a aprendizagem e não como punição, fará com que o estudante perca, paulatinamente, o medo de errar e amplie a confiança na sua capacidade. Assim, ele vai seguir experimentando e buscando novos caminhos para fortalecer a sua aprendizagem. A empatia com o professor, o ambiente de segurança, de conforto, apoio e afinidade nas turmas são essenciais. O professor deve ser cuidadoso e perspicaz em relação às emoções dos estudantes[231], criando condições que favoreçam o bem-estar individual e coletivo[232]. A emoção é o carro-chefe da aprendizagem e pode (e deve) ser conduzida pelo professor.



As emoções indicam para o cérebro o que é importante para a sobrevivência do indivíduo. Aprendemos aquilo que nos emociona, o que é significativo e necessário para vivermos bem, e esquecemos o que não tem mais relevância para o nosso viver.

O avanço do conhecimento neurocientífico permitiu confirmar a indissociável relação entre emoção e cognição, já preconizada anteriormente por pesquisadores, como Vygotsky. As regiões cerebrais que processam as emoções[233] têm conexões e influenciam outras regiões do sistema nervoso relacionadas a funções mentais, como memória, percepção, linguagem, raciocínio lógico-matemático e planejamento de estratégias de comportamento e de execução motora. A atividade nas áreas cerebrais relacionadas às emoções pode, portanto, modificar o desempenho cognitivo do indivíduo e vice-versa, pois o que pensamos e a forma como percebemos nossas experiências e a nós mesmos

228 Hohnen, B., & Murphy, T. (2016). The optimum context for learning: Drawing on neuroscience to inform best practice in the classroom.

229 Telzer, E. H. (2016). Dopaminergic reward sensitivity can promote adolescent health: A new perspective on the mechanism of ventral striatum activation.

230 DePasque, S., & Tricomi, E. (2015). Effects of intrinsic motivation on feedback processing during learning.

231 Casey, B. J. *et al.* (2019). Development of the emotional brain.

232 Benningfield, M. M. *et al.* (2015). Educational impacts of the social and emotional brain.

233 Rolls, E. T. (2015). Limbic systems for emotion and for memory, but no single limbic system.

podem influenciar nossas emoções[234]. Por isso, diz-se que emoção e razão estão sempre relacionadas. Situações de aprendizagem prazerosas, estimulantes, que gerem desafios, seguidas de sensação de bem-estar pela solução da questão, permeadas por afeto ou, até mesmo, por pequeno e transitório estresse no caso de tarefas desafiadoras, mas transponíveis, são mais efetivas. Em contrapartida, baixa autoestima, estresse e ansiedade, influenciam negativamente a aprendizagem.

5.2 ATENÇÃO

Como já vimos, a estimulação das vias sensoriais leva à ativação e reorganização de circuitos neurais, o que gera novos conhecimentos, habilidades e atitudes. Daí a importância do contato com diferentes tipos de estímulos, situações, contextos e pessoas no processo de aprendizagem. No entanto, o cérebro não consegue processar todos as informações que chegam a ele simultaneamente. Por isso, ele conta com uma função mental que lhe permite selecionar a informação: a atenção[235]. A capacidade de seleção, foco e direcionamento proporcionada pela atenção a torna imprescindível para a formação de memórias e, portanto, para o processo de aprendizagem[236].

Vale lembrar que o cérebro humano foi aperfeiçoado pela natureza, ao longo de milhões de anos de evolução, e adquiriu a capacidade de detectar os estímulos mais relevantes e aprender as lições que podiam decorrer a partir da interação com esses estímulos. Por isso, afirmamos que a atenção é a porta de entrada da aprendizagem, por onde entram as informações[237] que serão processadas pelos diferentes sistemas de memória. Se o aprendiz não presta atenção[238], seu cérebro não processa a informação e não faz qualquer registro dela. Consequentemente, não haverá aprendizagem.

O cérebro conta com três circuitos neurais de atenção[239]. O primeiro, denominado **sistema ativador reticular ascendente (SARA)**, está situado no **tronco encefálico** e produz a vigília, isto é, ele nos mantém acordados. Estar acordado, alerta, é a primeira condição para a atenção funcionar. Se o estudante está sonolento durante a aula, ele não está processando integralmente o que ocorre ao seu redor. O SARA, atuando sobre o **córtex cerebral**, também é responsável pelo que denominamos atenção reflexa, automática ou

234 McRae, K. (2016). Cognitive emotion regulation: A review of theory and scientific findings.

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

236 Rusch, T. *et al.* (2017). A two-way street between attention and learning.

237 Lent, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência.*

238 Stevens, C., & Bavelier, D. (2012) The role of selective attention on academic foundations: A cognitive neuroscience perspective.

239 Petersen, S. E., & Posner, M. I. (2012). The attention system of the human brain: 20 years after.
Amso, D., & Scerif, G. (2015). The attentive brain: Insights from developmental cognitive neuroscience.

bottom-up. É o que acontece quando, por exemplo, um som intenso ocorre repentinamente, como o sinal que anuncia a hora do recreio, ou quando um objeto diferente ou inusitado surge no campo visual. Caso o estímulo não seja relevante, logo o desprezamos.

O segundo circuito, denominado circuito orientador, está localizado no **córtex parietal**. Ele é responsável pela chamada atenção voluntária ou *top-down*. Esse circuito desloca o foco da atenção de determinado alvo para outro, de forma consciente, a partir de um estímulo aparentemente mais relevante, para que o indivíduo possa obter maior discriminação do estímulo, captando a informação com precisão. A atenção voluntária é influenciada por estados internos do organismo como sede e fome, por preferências pessoais, por uma circunstância específica, por experiências anteriores ou por um objetivo a ser alcançado. A atenção voluntária também pode ser seletiva: o estudante presta atenção na conversa dos colegas, mas não na explicação da professora.

O terceiro circuito, também envolvido com a atenção voluntária, chamado circuito executivo, está relacionado à porção anterior do **giro do cíngulo**, localizado na face medial da **área pré-frontal**, e é responsável por manter a atenção voluntária em determinado estímulo, de forma prolongada, inibindo estímulos que produzem distração. Ele mantém a atenção naquilo que pretendemos focar, apesar das distrações nos ambientes externo (conversas, ruídos, pessoas, imagens) ou interno (sensação de desconforto, emoções e pensamentos perturbadores, fome ou sede).

A regulação da atenção, portanto, pode ocorrer de forma reflexa ou voluntária. Quando estamos lendo ou conversando e há sons ao redor, nem sempre os percebemos. Caso se tornem mais intensos, a atenção reflexa nos faz percebê-los e logo desprezá-los. Mas se forem familiares, como o sinal do celular, a atenção voluntária deslocará o foco atencional para o estímulo significativo e, a depender da necessidade, do contexto ou da motivação, o circuito executivo manterá a atenção de forma concentrada e intencional no celular, que será atendido – e a leitura ou a conversa serão esquecidas naquele momento.

Esse mesmo circuito executivo é que entra em ação quando focamos a atenção na busca de um objeto perdido ou nos mantemos concentrados em uma leitura, apesar de outros estímulos presentes. Porém, quando há alterações desse circuito, a capacidade de manter a atenção fica comprometida e o indivíduo se distrai com muita facilidade[240] – é o que se observa em crianças que têm o Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade

240 Rueda, M. R. *et al.* (2015). Cognitive neuroscience of attention: From brain mechanisms to individual differences in efficiency.

(TDAH)[241]. Constatamos, assim, o quanto a atenção voluntária é essencial ao processo de aprendizagem.

É importante ressaltar que os circuitos cerebrais de atenção processam um estímulo de cada vez. Isso significa que não conseguimos manter foco atencional efetivo em dois estímulos simultaneamente[242]. Podemos, sim, alternar a atenção entre dois estímulos ou tarefas que exijam esforço cognitivo, mas, com isso, sempre algum aspecto da informação ou tarefa será prejudicado. Não é possível compreender bem uma palestra se estou enviando mensagens pelo celular no mesmo momento.



A crença de que ser multitarefa nos torna mais produtivos é um mito. Em vez de economizar tempo, os multitarefas demoram mais para concluir as atividades e cometem mais erros do que aqueles que se concentram em uma tarefa por vez.

É interessante observar que, na região anterior do giro do cíngulo, coexistem circuitos neurais distintos para regulação da atenção relacionada ao processamento de estímulos emocionais e outros voltados para coordenar a atenção voltada aos processos cognitivos. Existem evidências científicas[243] de que a atividade em um desses circuitos pode inibir o funcionamento do outro. Por isso, emoções intensas, especialmente as negativas, podem prejudicar a atenção dedicada ao processamento cognitivo.

A atenção seleciona o que é mais relevante para cada indivíduo conforme suas necessidades físicas, cognitivas e emocionais. O cérebro busca sentido nas coisas que são vivenciadas e percebidas no ambiente. A atenção é mobilizada por situações e assuntos relevantes, significativos, novos ou que desencadeiam bem-estar[244], em suma, pelo que nos motiva. Nessa perspectiva, existe forte ligação entre atenção e motivação[245]. Quando estamos motivados, emocionalmente engajados, a atenção volta-se para a experiência que nos mobiliza. A atenção faz com que certos circuitos neurais sejam mais ativados do que outras e é exatamente a ativação repetida desses circuitos que produzirá as memórias, possibilitando a aprendizagem.

241 Rubia, K. (2018). Cognitive neuroscience of attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) and its clinical translation.

242 Rothbart, M. K., & Posner, M. I. (2015). The developing brain in a multitasking world.

243 Rolls, E. T. (2019). The cingulate cortex and limbic systems for emotion, action, and memory.

244 Banerjee, S. *et al. (*2014). Interests shape how adolescents pay attention: The interaction of motivation and top-down attentional processes in biasing sensory activations to anticipated events.

245 Bourgeois, A. *et al.* (2016). How motivation and reward learning modulate selective attention.

5.3 MEMÓRIA

A estrutura do cérebro lembra um grande conjunto de caminhos, constituídos por circuitos neurais, que têm alguma comunicação entre si, mas que podem melhorar essas ligações já existentes ou podem estabelecer outras comunicações que não existiam anteriormente.

Quando temos contato com algo que nunca vivenciamos, os estímulos inéditos desencadeados pela experiência criam novos caminhos no cérebro, por meio da reorganização das conexões entre neurônios. Se esse novo caminho for importante para a pessoa, ele será frequentemente usado e, assim, essa nova forma de organização dos circuitos neurais será consolidada. É como um caminho que, ao trilharmos pela primeira vez, precisamos retirar o mato e, à medida que passamos por ele novamente, vai se tornando cada vez mais fácil de percorrer. A esse caminho, agora mais fácil de ser percorrido, chamamos memória.

Quando uma informação ou experiência passa pelo filtro de nossa atenção, ela pode ser codificada e registrada em nosso cérebro como memória[246]. Só registramos, na memória, as experiências que despertaram nossa atenção. Existem diversas regiões cerebrais envolvidas com diferentes tipos de memória[247]. As memórias podem ser de curta ou longa duração[248]. As de curta duração são transitórias e responsáveis pela manutenção de informações recentes no cérebro por breve período de tempo. As memórias de longa duração registram as informações de forma mais prolongada, sendo responsáveis por nossas lembranças mais permanentes.

A MEMÓRIA DE TRABALHO (OU OPERACIONAL)

Ao começarmos a leitura deste parágrafo, é necessário manter, em nossa memória, as primeiras palavras, frases e expressões para que, ao final da leitura, possamos ter compreendido a totalidade da informação apresentada. Não é por acaso que parágrafos e períodos muito longos são de mais difícil compreensão, exigindo leitura atenciosa e, frequentemente, nova leitura. Essa memória que nos permite guardar uma informação por breve período de tempo é a memória de trabalho, também conhecida como memória operacional[249].

246 Cammarota, M. *et al.* (2008). Aprendizado e memória.
247 Lent, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência.*
248 Eichenbaum, H. (2017). Memory: Organization and control.
249 Cosenza, R. M., & Guerra, L. B. (2011). *Neurociência e educação: Como o cérebro aprende.*

Nesse sentido, a memória de trabalho[250] é uma memória transitória, de curta duração, na qual são mantidas e processadas informações necessárias ao desempenho de uma tarefa que requer a consciência. É uma memória *on-line*, um arquivo dinâmico de informações, similar à memória RAM de um computador. Quando memorizamos o local onde estacionamos o carro ou um número de telefone até realizarmos a ligação telefônica, estamos usando a memória de trabalho.

O funcionamento da memória de trabalho está relacionado a circuitos neurais do córtex pré-frontal e depende do funcionamento repetido desses circuitos envolvidos com a informação, o que requer atenção. Quantas vezes nos distraímos no caminho até a sala e acabamos nos esquecendo do que fomos buscar lá? A memória de trabalho processa vários tipos de informações, tais como, sons, imagens, palavras, pensamentos, mantendo-os disponíveis até serem utilizados. Mas esse tipo de memória tem capacidade limitada quanto ao número de itens que podem ser mantidos em processamento. É similar ao que ocorre com um malabarista jogando bolas e as sustentando no ar.

Frequentemente, nas escolas, os estudantes estudam às vésperas da prova e mantêm um grande número de informações, sem muita elaboração, na memória de trabalho. Como essa memória é transitória, ao realizarem a avaliação, eles respondem rapidamente às questões, eliminando as informações da memória de trabalho. O resultado é um rápido esquecimento. Esse processo, conhecido no senso comum como "decoreba", não garante uma aprendizagem definitiva. Esta só ocorrerá com a consolidação das novas informações na memória de longa duração, o que requer tempo e esforço pessoal ao longo de um período e não simplesmente antes da prova.

No entanto, vale destacar que a memória de trabalho exerce importantes funções para os processos de aprendizagem[251]. Ela é fundamental para a compreensão do que o professor diz em sala de aula, para a compreensão da leitura e para a realização de cálculos matemáticos.

Além disso, a memória de trabalho tem importante papel no desempenho de rotinas diárias. Para ter êxito na escola, o estudante precisa lembrar dos horários das aulas, das atividades que precisa realizar, das datas das provas e das entregas dos trabalhos. Normalmente, essas informações são registradas na memória de trabalho ou numa agenda, o que ajuda a liberar essa memória para novos registros.

250 Chai, W. J. *et al.* (2018) Working memory from the psychological and neurosciences perspectives: A review.

251 Blankenship, T. L. *et al.* (2015). Working memory and recollection contribute to academic achievement.
Nutley, S. B., & Söderqvist, S. (2017). How is working memory training likely to influence academic performance? Current evidence and methodological considerations.

A MEMÓRIA DE LONGA DURAÇÃO

Conforme apresentado anteriormente, quando uma informação relevante passa pelo filtro da atenção e provoca a ativação de neurônios, ocorre um processo de codificação e essa informação passa a ser processada pela memória de trabalho, que é de curta duração. Dependendo da relevância da informação e da forma como ela foi (re)ativada, podem ocorrer alterações estruturais e funcionais nesses circuitos neurais específicos[252], cujas **sinapses** se tornarão mais eficientes, favorecendo, então, o aparecimento de um registro mais permanente na memória de longa duração. Para que uma informação seja registrada de forma mais definitiva no cérebro, é necessário um trabalho adicional. Essa informação precisa passar pelos processos de repetição, elaboração e consolidação[253].

A repetição corresponde ao uso repetido da informação, e a elaboração diz respeito à associação da informação com registros já existentes no cérebro. Quanto mais o aprendiz repetir essa informação de formas diferenciadas, e quanto mais associações ou "ganchos" ele estabelecer com as informações que já tem arquivadas, melhor será, pois a nova informação se constituirá como um registro que se fixará de forma mais permanente no cérebro, o que caracteriza a consolidação.

Os processos de repetição e elaboração podem ser feitos de forma simples ou complexa, ou seja, podem envolver diferentes níveis de processamento, o que determinará a força do registro ou do traço de memória que será formado. Informações repetidas e elaboradas de forma efetiva – por meio da exposição frequente aos conteúdos sob diferentes formatos e níveis de complexidade progressivamente maiores – resultarão em novas conexões neurais, estabilizadas no cérebro. Elas se constituirão em registros fortes, que tendem a resistir ao tempo.

O processo de repetição faz com que os circuitos neurais envolvidos com aquela informação sejam ativados com mais frequência. A elaboração, por sua vez, permite a ativação de outros circuitos neurais que se tornam associados aos circuitos já ativados e que representam a informação. Esses processos exigem tempo e provocam alterações nas sinapses, o que possibilita a consolidação da informação na memória de longa duração.

A memória de longa duração, então, depende da consolidação tanto de novas sinapses estabelecidas como das modificações de sinapses já existentes[254]. Esse processo não acontece de imediato. Ele ocorre, pouco a pouco, a cada período de sono[255], quando as

252 Abraham, W. C. *et al.* (2019). Is plasticity of synapses the mechanism of long-term memory storage?
253 Cosenza, R. M., & Guerra, L. B. (2011). *Neurociência e educação: Como o cérebro aprende.*
254 Lent, R. (2019). *O cérebro aprendiz: Neuroplasticidade e educação.*
255 Ribeiro, S., & Stickgold, R. (2014). Sleep and school education.

condições químicas cerebrais são propícias à **neuroplasticidade**. Enquanto dormimos, o cérebro reorganiza suas sinapses, forma algumas novas, elimina aquelas em desuso e fortalece aquelas que são importantes para o cotidiano do indivíduo[256]. Além do sono sadio, alimentação equilibrada também é necessária[257], pois esse processo exige reações químicas e produção de proteínas.

Vale destacar que não existe uma "área da memória" onde as lembranças são armazenadas. A memória é registrada em circuitos neurais distribuídos por diferentes regiões do cérebro[258], de acordo com sua função. Por exemplo, memórias visuais são armazenadas no córtex visual e memórias motoras no córtex motor. Esses circuitos associam-se, constituindo redes neurais de memória dos diversos conhecimentos e experiências vivenciadas. No entanto, sabemos que o registro das memórias no córtex cerebral depende do **hipocampo**, uma estrutura do **lobo temporal** fundamental para o processamento e a consolidação de novas informações. Junto com o córtex pré-frontal, o hipocampo gerencia a formação das memórias espalhadas pelo cérebro. Indivíduos com lesão bilateral do hipocampo conseguem se lembrar de fatos antigos, mas não conseguem formar novas memórias.

É importante esclarecer que nem todas as memórias que registramos envolvem processos conscientes no cérebro[259]. A memória processada de forma inconsciente é chamada de memória implícita, enquanto a memória explícita é aquela da qual tomamos conhecimento, porque envolve os mecanismos conscientes. A memória explícita é responsável pelo registro de fatos, datas, pessoas, nomes, objetos, lugares, sons e imagens que podem ser lembrados e utilizados conscientemente.

A memória implícita[260], por sua vez, permite o registro de memórias que se manifestam sem esforço ou intenção consciente. Tais registros normalmente são vinculados a memórias motoras, relacionadas ao "como fazer algo", por exemplo, amarrar os cadarços do tênis, dirigir um carro, andar de bicicleta ou tocar um instrumento. Essas memórias não dependem do hipocampo, mas de estruturas envolvidas com o processamento motor, como o **cerebelo** e **núcleos da base** do cérebro. Para que elas sejam armazenadas, é necessário, essencialmente, o processo de repetição. A organização dessas memórias ocorre através da formação de sinapses nos circuitos envolvidos com a atividade e do

256 Louzada, F. M., & Ribeiro, S. T. G. (2018). Sono, aprendizagem e sala de aula.

257 Naveed, S. *et al.* (2020). An overview on the associations between health behaviors and brain health in children and adolescents with special reference to diet quality.

258 Albo, Z., & Gräff, J. (2018). The mysteries of remote memory.
Tonegawa, S. *et al.* (2018). The role of engram cells in the systems consolidation of memory.

259 Brem, A. K. *et al.* (2013). Learning and memory.
Camina, E., & Güell, F. (2017) The neuroanatomical, neurophysiological and psychological basis of memory: Current models and their origins.

260 Reber, P. J. (2013). The neural basis of implicit learning and memory: A review of neuropsychological and neuroimaging research.

reforço das conexões nesses circuitos específicos por meio da prática . Por meio da memória implícita, desenvolvemos esquemas sensório-motores que nos permitem realizar atividades de forma automática. Não precisamos pensar em como passar a marcha toda vez que dirigimos, nem no que devemos fazer para nos sustentar na bicicleta.

A capacidade do cérebro de memorizar esquemas sensório-motores é fundamental para a aprendizagem[261], pois a possibilidade de ler e escrever de forma automática nos liberta para centrar toda nossa atenção na interpretação do conteúdo e na constituição de sentido durante a leitura e a escrita. Não precisamos pensar no movimento que temos de fazer para escrever cada letra ou nos fonemas que cada uma delas representa na leitura. Isso nos deixa livres para voar com a nossa imaginação ao escrever um texto ou ler um livro.

A memorização envolve o estabelecimento de novas sinapses e a modificação de conexões já existentes entre os neurônios. A aprendizagem depende, portanto, dos mecanismos que produzem memória. Mas qual é a diferença entre aprendizagem e memória? Enquanto a aprendizagem diz respeito ao processo de aquisição de novos conhecimentos, habilidades e atitudes, a memória refere-se ao nível de persistência dos registros de informações e experiências no sistema nervoso. Alguns registros não se consolidam numa memória de longa duração e não chegam a se constituir numa aprendizagem. Outro ponto importante nessa distinção é que a aprendizagem é um processo complexo, que necessita de um conjunto de funções mentais. A memória é apenas uma dessas funções.

Memória é uma função mental imprescindível para a aprendizagem porque possibilita o registro mais permanente daquilo que vivenciamos. Mas aprender é mais do que memorizar. Aprendizagem é o processo de aquisição de conhecimentos, habilidades e atitudes que permite uma interação adaptativa e criativa com o meio em que vivemos.

261 Dehaene, S. *et al.* (2015). Illiterate to literate: Behavioural and cerebral changes induced by reading acquisition.
Conway, C. M. (2020). How does the brain learn environmental structure? Ten core principles for understanding the neurocognitive mechanisms of statistical learning.
Kiefer, M. *et al.* (2015). Handwriting or typewriting? The influence of pen- or keyboard-based writing training on reading and writing performance in preschool children.
Sawi, O. M., & Rueckl, J. G. (2019). Reading and the neurocognitive bases of statistical learning.

5.4 FUNÇÕES EXECUTIVAS

As **funções executivas**[262] correspondem a um conjunto de funções mentais que nos possibilita o planejamento e a execução de ações necessárias para atingirmos objetivos, resolvermos problemas, interagirmos com o mundo diante das mais diversas situações. Assim, elas exercem papel importante na aprendizagem, pois contribuem para que o estudante direcione o seu comportamento para aprender.

Ao interagirmos com o mundo e as pessoas, precisamos constantemente nos concentrar, analisar situações, pensar sobre como lidar com elas, planejar e fazer aquilo que é necessário naquele momento, seguindo normas, resistindo a tentações, mudando estratégias e buscando concluir o que começamos. Agir de forma automática, sem usar as funções executivas, confiando apenas na intuição, sem qualquer planejamento, pode ser imprudente, insuficiente ou definitivamente uma má ideia para resolver os problemas e enfrentar os desafios que a vida nos traz – inclusive os desafios da vida escolar.

Para aprender, seja na escola ou em outro ambiente qualquer, o aprendiz precisa, entre outras coisas, focar atenção no que quer aprender e não se distrair com outros estímulos; ter disciplina, organização e planejamento para se dedicar aos estudos; saber trabalhar em grupo; pensar sobre como resolver as dúvidas que surgem; abrir mão, em alguns momentos, de atividades que gostaria de realizar em função das tarefas de casa; preparar-se para avaliações, mesmo sem ter certeza de que vai conseguir ser bem-sucedido.

As funções executivas[263] são exatamente as funções mentais que possibilitam ao aprendiz identificar metas e selecionar objetivos, planejar as ações necessárias para a realização desses objetivos, monitorar os resultados dessas ações e, se necessário, mudar de estratégia para atingir os objetivos propostos. Segundo a neurocientista Adele Diamond[264], essas funções nos possibilitam "brincar mentalmente com ideias, pensar antes de agir, enfrentar novos desafios imprevistos, resistir às tentações e manter o foco em alguma coisa ou em um objetivo" (Diamond, 2013, p. 135). Elas orientam o estudante sobre o comportamento adequado para determinado contexto ou situação, considerando as regras sociais e os padrões culturais. Estão presentes em tarefas corriqueiras do cotidiano, mas também nos planejamentos de longo prazo relacionados, por exemplo, à escolha de carreira, ao desenvolvimento profissional, à constituição de família, à aquisição da casa própria, a viagens. Elas são primordiais para que o aprendiz possa ter sucesso em

262 Cosenza, R. M., & Guerra, L. B. (2011). *Neurociência e educação: Como o cérebro aprende.*
Lent, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência.*

263 Zelazo, P. D. *et al.* (2016). *Executive function: Implications for education.*

264 Diamond, A. (2013). Executive functions.

todas as etapas de seu processo educacional e torne-se um adulto saudável, que se realize como pessoa, cidadão, profissional e seja feliz.

As funções executivas[265] estão relacionadas a circuitos neurais de distintas regiões do córtex pré-frontal, porção mais anterior do **lobo frontal**. Cada uma das regiões está envolvida com diferentes aspectos das funções executivas. Essas regiões têm conexões recíprocas com diversas **áreas corticais** e **subcorticais**, que processam emoções, atenção, memória, planejamento de movimentos, sensações e respostas viscerais, entre outras funções. O córtex pré-frontal recebe informações de algumas dessas áreas e as repassa às demais. Desse modo, ele organiza nosso pensamento, considerando os registros do passado armazenados em nossa memória, as emoções que sentimos e as sensações corporais, assim como as expectativas em relação ao futuro, estabelecendo estratégias comportamentais, focando nossa atenção e dirigindo nossas ações para que possamos, ao final, atingir o objetivo desejado.

Podemos identificar três funções mentais reconhecidas como "as principais funções executivas"[266]: o controle inibitório, a flexibilidade cognitiva e a memória de trabalho, apresentada anteriormente neste capítulo. A partir dessas três funções básicas, outras funções executivas mais complexas podem ser desempenhadas, como, por exemplo, o planejamento de comportamentos, a flexibilização de ações e pensamentos, a detecção de erros, a avaliação de riscos envolvidos em determinadas ações, a inibição de respostas inapropriadas, a solução de problemas e a metacognição.

As funções executivas básicas e complexas são fundamentais para a autorregulação, que é a capacidade de regular o comportamento de acordo com as demandas cognitivas, emocionais e sociais de determinada situação[267]. A autorregulação possibilita o automonitoramento de pensamentos e ações, o manejo de habilidades socioemocionais, a tomada de decisão, a organização, o gerenciamento de tempo, entre outros processos, que possibilitam ao indivíduo estabelecer e atingir seus objetivos. Um estudante, por exemplo, está fazendo uso de funções executivas básicas e complexas quando planeja seus horários de estudo, avalia como deve estudar determinado conteúdo, reconhece em que pontos da matéria precisa de maior dedicação, deixa de ir a uma festa para estudar para uma prova. Por meio desse tipo de ação ele autorregula sua aprendizagem.

265 Diamond, A. (2013). Executive functions.
Perone, S. *et al.* (2018). Toward an understanding of the neural basis of executive function development.

266 Zelazo, P. D. (2015). Executive function: Reflection, iterative reprocessing, complexity, and the developing brain.

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

O controle inibitório[268] consiste na capacidade de controlar a atenção, as ações, os pensamentos e as emoções para realizar o que for mais apropriado ou necessário em determinado momento e contexto. O controle inibitório depende do circuito executivo, o mesmo envolvido com a atenção voluntária. Ele participa de aspectos do comportamento que se inter-relacionam, tais como autocontrole, disciplina e atenção seletiva e sustentada, apresentadas anteriormente. Quando usamos nosso controle inibitório, deixamos de realizar um comportamento, chamado preponderante, para o qual existe uma predisposição interna (por exemplo, gostar de jogar videogame) ou atração externa forte (por exemplo, brincar com os amigos), para realizarmos algo necessário ou mais adequado, mantendo o foco da atenção na tarefa (estudar para a avaliação de Matemática). O controle inibitório é especialmente importante para a aprendizagem consciente, que exige do estudante planejar, selecionar e priorizar os comportamentos necessários para que tenha êxito no seu desempenho.

O autocontrole[269] é o aspecto do controle inibitório que nos possibilita a não agir impulsivamente. É o que nos faz "contar até dez" antes de falarmos ou agirmos sem refletir, resistir às tentações e prazeres, seguir regras (não colar durante a avaliação), agir considerando as normas sociais ou os sentimentos das pessoas (não pegar o material que pertence a outro colega).

A disciplina também está relacionada ao controle inibitório, que nos faz permanecer na tarefa e completá-la, apesar das distrações ou da vontade de desistir, de mudar para uma tarefa mais fácil ou interessante ou ainda de interromper a tarefa para se divertir. Disciplina também tem relação com o adiamento de gratificações. O indivíduo resiste e abre mão de um prazer imediato, por exemplo, jogar videogame com os amigos, em troca de uma recompensa maior no futuro, como obter uma boa nota em Matemática após se dedicar aos estudos. Sem disciplina ninguém concluiria uma tarefa longa e demorada, como se preparar para um exame, aprender a tocar um instrumento, dominar uma língua, entre outras realizações.

A flexibilidade cognitiva[270] é a capacidade de alterar perspectivas ou estratégias, modificando pensamentos e ações. Por exemplo: "Como uma situação pode ser vista a partir de um ângulo diferente?" ou "Como podemos resolver o problema de outra maneira?". Para mudar perspectivas e estratégias, precisamos inibir algumas de nossas ideias já registradas e trabalhar com novas ideias na memória de trabalho. Nesse sentido, a flexibilidade cognitiva requer e baseia-se no controle inibitório e na memória de trabalho.

268 Diamond, A. (2013). Executive functions.
269 Duckworth, A. L. *et al.* (2019). Self-control and academic achievement.
270 Diamond, A. (2013). Executive functions.

Por exemplo, se uma maneira de resolver um problema não está funcionando, podemos usar a flexibilidade cognitiva para tentar um novo modo de resolver ou interpretar o problema. A flexibilidade cognitiva envolve mudar a maneira como pensamos sobre algo. Ela possibilita "pensar fora da caixa" e ser criativo. Ela também envolve a capacidade de adaptação rápida e flexível às mudanças, como, por exemplo, ajustar-se a demandas não previstas e à necessidade de alterar prioridades, superar problemas repentinos, admitir estar errado quando diante de novas informações, mudar planos quando surgem oportunidades inesperadas, alterar a maneira de ver o mundo e as pessoas quando as circunstâncias se alteram. Flexibilidade cognitiva é fundamental para enfrentar desafios diversos, incluindo aqueles relacionados ao convívio social.

O córtex pré-frontal, que concentra os circuitos neurais relacionados às funções executivas, é a região cerebral cujo desenvolvimento se prolonga por mais tempo. Com o nascimento, seu desenvolvimento prossegue gradualmente ao longo da infância, quando a atenção e a capacidade de planejamento, aos poucos, vão se aprimorando[271]. Os bebês começam prestando atenção em estímulos específicos, ignorando outros sem importância e logo, por volta dos 2 anos de idade, já têm estratégias simples para resolver problemas, como alcançar um brinquedo que está distante ou descobrir como abrir a tampa de um frasco. Por volta dos 7 anos, a capacidade de planejamento e de flexibilização de estratégias serão aprimoradas, e a criança já entende porque deve fazer o dever de casa antes, para brincar tranquilamente depois. A criança aprende procedimentos e adquire conhecimentos definidos pela cultura à qual é exposta. A socialização[272], mediada pelos pais, pela escola e por outros vínculos, contribui para que a criança aprenda sobre suas emoções e sobre as emoções do outro e desenvolva um repertório de habilidades socioemocionais[273], que lhe proporcionam a capacidade de, por exemplo, pedir desculpas a um colega que ficou incomodado por ela ter lhe tomado um brinquedo sem pedir.

Entretanto, o pico de desenvolvimento do córtex pré-frontal se dá na adolescência[274]. Essa transformação do cérebro adolescente culmina com um aprimoramento significativo de vários aspectos de suas funções executivas[275]. A memória de trabalho e também a resistência a distrações melhoram, permitindo maior sustentação da atenção seletiva. A velocidade de processamento da informação aumenta, gerando respostas mais rápidas e eficientes, o que resulta em maior facilidade para o raciocínio abstrato e a

271 Fiske, A., & Holmboe, K. (2019). Neural substrates of early executive function development.

272 Moriguchi, Y. (2014). The early development of executive function and its relation to social interaction: A brief review.

273 Barros, R. P. *et al.* (2018). Desenvolvimento socioemocional: Do direito à educação à prática na escola.

274 Herculano-Houzel, S. (2005). O cérebro em transformação.

275 Fuhrmann, D. *et al.* (2015). Adolescence as a sensitive period of brain development.
Choudhury, S. *et al.* (2008). Development of the teenage brain.

solução de problemas. O controle de impulsos fica mais eficiente, contribuindo para a autorregulação de suas ações e para o gerenciamento de respostas emocionais. A capacidade de introspecção e de ter *insights* sobre o próprio pensamento, como também sua percepção das disposições e intenções dos outros são aperfeiçoadas, contribuindo para sua capacidade de julgamento, comunicação interpessoal, responsabilidade, empatia, enfim, para o desenvolvimento de um conjunto de habilidades socioemocionais. O adolescente passa a usar as emoções como guia de suas decisões; ele se arrepende, aprende com os próprios erros, antecipa as consequências, muda de opinião, flexibiliza suas estratégias e ações.

Não é por acaso que esse período é uma época de grandes transformações no comportamento do indivíduo e um marco na sua vida pessoal[276] e escolar. O adolescente percebe que ele não é obrigado a imitar sempre os modelos disponíveis e busca o esclarecimento da razão para fazer ou não fazer algo. A partir da adolescência, o repertório de competências adquirido na infância tem a possibilidade de ser alterado, pois o maior desenvolvimento das funções executivas nessa época fornece ao, agora, jovem adulto, a chance de estabelecer as próprias metas e estratégias, baseadas na sua motivação, história de vida e experiência presente. Maturidade gera autonomia e criatividade e possibilita realizações em contextos variados e inesperados.

As funções executivas atuam constantemente durante as interações que o indivíduo estabelece com seu ambiente e com as pessoas com quem convive. Justamente por isso, os fatores ambientais são tão relevantes para o desenvolvimento dessas funções. Cabe à família, à escola e à comunidade, tanto oferecer oportunidades[277] para o indivíduo exercitar e aprimorar suas funções executivas, como evitar situações que as prejudiquem, entre elas o estresse, a falta de sono, a solidão e a falta de exercício físico.

As funções executivas são essenciais ao desenvolvimento cognitivo, psicológico e social do indivíduo, para sua adaptação à escola[278] e seu sucesso desde as primeiras séries até a universidade, para o estabelecimento e manutenção de laços de amizade, para a harmonia conjugal, para o sucesso na carreira profissional, para o exercício da cidadania, para a saúde mental e física[279], enfim, são imprescindíveis para uma vida sadia e plena de realizações.

276 Ahmed, S. P. *et al.* (2015). Neurocognitive bases of emotion regulation development in adolescence.

277 Serpell, Z. N., & Esposito, A. (2016). Development of executive functions: Implications for educational policy and practice.

278 Pascual, A. C. *et al.* (2019). The relationship between executive functions and academic performance in primary education: Review and meta-analysis.

279 Moffitt, T. E. *et al.* (2011). A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety.

Adultos e crianças aprendem por meio das mesmas funções mentais e mecanismos cerebrais. As diferenças estão relacionadas, por exemplo, à diversidade e quantidade de memórias prévias, à neuroplasticidade mais eficiente nas crianças e à maior capacidade de autorregulação dos adultos. O que vale para todos é que o aprendizado, para ser efetivo, deve ser significativo, levando o indivíduo a sentir que a aprendizagem o torna diferente, mais adaptado ao ambiente em que vive e pronto para resolver novos problemas.

As estruturas e as substâncias químicas do cérebro dão ao indivíduo a capacidade de aprender, desde que o que se aprende seja importante para a vida daquela pessoa. O sistema nervoso funciona para produzir e fazer uso de competências que aumentem as chances de bem-estar e sobrevivência do indivíduo. Aprendemos aquilo que, de alguma forma, é importante para nossas vidas.



As funções executivas possibilitam ao aprendiz identificar metas e selecionar objetivos relacionados ao seu aprendizado, planejar as ações necessárias para a realização desses objetivos, monitorar os resultados dessas ações e, se necessário, mudar de estratégia para atingir seu propósito mais valioso: uma aprendizagem efetiva.

Concluindo, a aprendizagem é um processo que ocorre no sistema nervoso em função da interação do indivíduo com o contexto em que vive. Ela depende de várias condições ambientais e funções mentais. Os órgãos dos sentidos processam os estímulos, a atenção filtra o que é relevante, a memória de trabalho mantém registros durante algum período de tempo, a neuroplasticidade permite tornar o registro da experiência mais definitivo na memória de longa duração, as funções executivas possibilitam a seleção, o planejamento, a inibição e a flexibilização de comportamentos que levarão ao aprendizado. Mas todos esses processos são influenciados pela motivação que, por sua vez, é regulada pelas emoções, responsáveis por orientar o processo de aprendizagem.



6 PRINCÍPIOS DA NEUROCIÊNCIA QUE PODEM POTENCIALIZAR A APRENDIZAGEM

Este capítulo apresenta as principais descobertas da Neurociência e descreve como transformar esses princípios em ações para potencializar a aprendizagem.

O cérebro não nasce pronto. Precisamos de interação social para aprender e prosperar. Temos 86 bilhões de **neurônios** à nossa disposição, mas é a qualidade das nossas experiências e aprendizagens que impacta tanto a arquitetura como o funcionamento cerebral ao longo do desenvolvimento. O problema é que não nascemos com um manual de como usar o **cérebro**, um guia de como se aprende e de como podemos alavancar os nossos processos de aprendizagem. Estudantes, pais, professores e gestores não contam com uma bússola que indique os melhores caminhos na busca de uma aprendizagem plena e significativa. Este é um dos principais desafios da Neurociência: traduzir as descobertas desse campo em princípios e orientações práticas que possam nortear o trabalho diário dos professores e embasar políticas públicas.

Nessa perspectiva, o presente capítulo tem como objetivo explicitar 12 princípios da Neurociência que identificamos por meio de revisão da literatura desse campo do conhecimento. Tais princípios podem fundamentar práticas que potencializem a aprendizagem e contribuam para a transformação dos processos educativos do século XXI.

Embora cada um dos princípios esteja mais relacionado a uma das funções mentais abordadas no capítulo 5, todos eles, de modo geral, envolvem também outras **funções mentais**. Conforme apresentado anteriormente, o modo de funcionamento do cérebro é conexionista. Isso significa que é a atividade simultânea de diferentes **circuitos neurais** interligados, constituindo **redes neurais**, que gera os processos mentais.

Existem alguns princípios que estão relacionados às condições de saúde geral do aprendiz e aos fatores fisiológicos que influem na aprendizagem. Entre eles, os mais relevantes são apresentados a seguir.

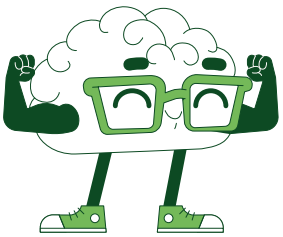
- Alimentação adequada para fornecimento dos nutrientes necessários às reações químicas e síntese das proteínas que resultam na formação e poda de **sinapses**, fundamentais para a construção e consolidação das memórias e, portanto, da aprendizagem.
- Sono, que é o estado fisiológico durante o qual os circuitos neurais são reativados e reorganizados por meio da **neuroplasticidade**, isto é, o momento em que ocorre a consolidação do que foi processado quando o indivíduo estava acordado.
- Atividade física, que melhora o desempenho cognitivo, por influenciar as funções de atenção, memória e as **funções executivas**.

Esses princípios não serão abordados neste capítulo porque dizem respeito a aspectos que não estão diretamente relacionados à prática do professor em sala de aula. O professor pode fazer recomendações, mas não pode atuar diretamente sobre a rotina de sono, alimentação e exercício físico do aprendiz. São princípios cujos desdobramentos dependem de políticas públicas, determinações da escola e iniciativas da família.

A seguir, serão apresentados 12 princípios da Neurociência que podem contribuir para fundamentar um ensino inovador que potencialize a aprendizagem. A apresentação de cada um dos princípios está estruturada em duas partes. Na primeira, são explicitados os resultados de um conjunto de pesquisas recentes que fundamentam o princípio neurocientífico. Na segunda parte, intitulada “transformando o princípio em ação”, são apresentados exemplos e sugestões de como cada um dos princípios pode ser traduzido para a prática pedagógica.

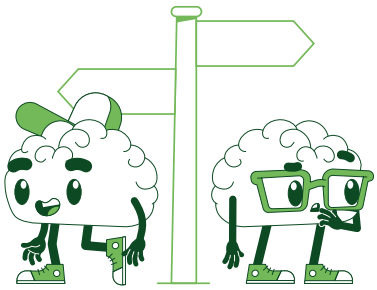
É importante destacar também que, mesmo quando se têm evidências científicas que permitem a elaboração de um princípio, o resultado que o aprendiz alcançará vai depender de um conjunto de fatores relacionados aos contextos escolar, familiar e social que possibilitarão ou não que esse princípio seja colocado em ação. A figura 4 apresenta, de forma consolidada, os 12 princípios para uma aprendizagem mais efetiva.

FIGURA 4 – 12 Princípios da Neurociência para uma aprendizagem mais efetiva



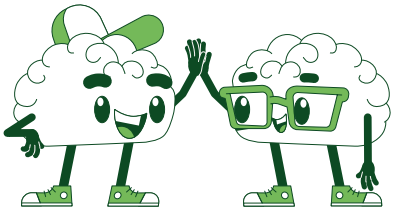
1 APRENDIZAGEM MODIFICA O CÉREBRO

Quem ensina, muda o cérebro do outro. Estratégias pedagógicas são estímulos que levam à reorganização de conexões cerebrais, produzindo conhecimentos, habilidades e atitudes.



A FORMA COMO CADA UM APRENDE É ÚNICA 2

Cada cérebro é diferente do outro por razões genéticas e pelas mudanças que as interações vividas produziram nele. O professor ensina o mesmo conteúdo para todos, mas o cérebro de cada estudante processa de forma única aquilo que recebe.

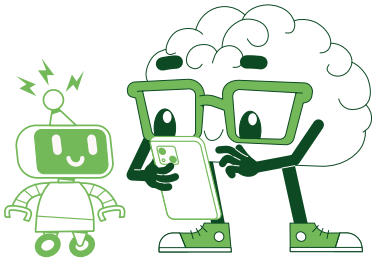


3 A INTERAÇÃO SOCIAL FAVORECE A APRENDIZAGEM

A interação social qualificada modifica a atividade cerebral, melhorando a qualidade da comunicação, o foco de atenção, o engajamento, a motivação e a persistência numa determinada situação de aprendizagem, levando a maior eficácia pedagógica.

O USO DA TECNOLOGIA INFLUENCIA O PROCESSAMENTO E O ARMAZENAMENTO DAS INFORMAÇÕES 4

As novas tecnologias têm favorecido a personalização do ensino, a aprendizagem colaborativa e a autonomia dos estudantes na busca pela informação. Mas, sem orientação adequada, o uso da tecnologia pode levar ao comportamento multitarefa e ao processamento rápido e superficial das informações, comprometendo o aprendizado.



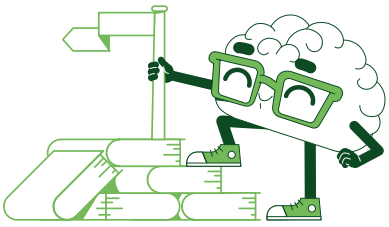


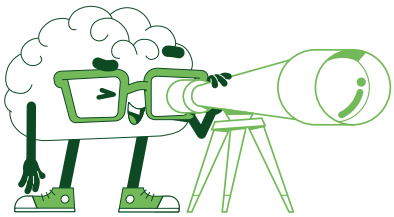
5 A EMOÇÃO ORIENTA A APRENDIZAGEM

A emoção sinaliza o valor da experiência, promove constituição de sentido e gera motivação para a aprendizagem. Emoção e cognição são indissociáveis. Sem emoção é impossível construir memórias, realizar pensamentos complexos, tomar decisões significativas e gerenciar interações sociais para aprender.

A MOTIVAÇÃO COLOCA O CÉREBRO EM AÇÃO PARA A APRENDIZAGEM 6

O desejo de aprender, a curiosidade, o poder de escolha, o protagonismo e a realização pessoal produzem motivação. Essa motivação influencia áreas cerebrais envolvidas com a tomada de decisão e o planejamento de ações, engajando o estudante no processo de aprendizagem.



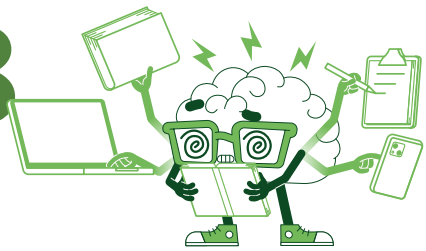


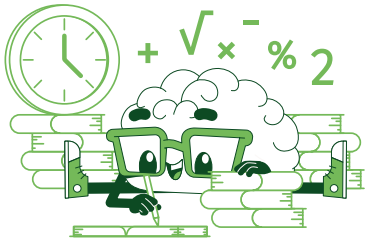
7 ATENÇÃO É A PORTA DE ENTRADA PARA A APRENDIZAGEM

Atenção seleciona a informação e é imprescindível para a formação de memórias. Se não prestamos atenção, nosso cérebro não processa a informação e, consequentemente, ela não pode ser registrada e aprendida.

O CÉREBRO NÃO É MULTITAREFA 8

O cérebro não processa adequadamente dois estímulos simultaneamente. O comportamento multitarefa diminui a atenção, compromete a memória de trabalho, leva à perda de foco, dificulta a compreensão da leitura e a capacidade de fazer anotações precisas, comprometendo a aprendizagem.



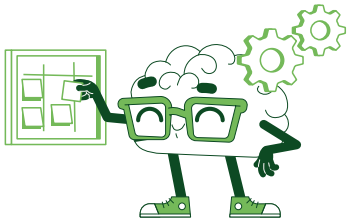


9 A APRENDIZAGEM ATIVA REQUER ELABORAÇÃO E TEMPO PARA CONSOLIDAÇÃO NA MEMÓRIA

Estudar às vésperas da prova, acumulando informações sem muita elaboração, resulta em rápido esquecimento. Para uma informação ser registrada de forma mais definitiva no cérebro, ela precisa passar pelos processos de repetição, elaboração, recordação e consolidação. Isso requer tempo e a utilização de metodologias ativas.

10 A AUTORREGULAÇÃO E A METACOGNIÇÃO POTENCIALIZAM A APRENDIZAGEM

A capacidade de monitorar os processos de pensamento, as emoções e os comportamentos é essencial à aprendizagem autorregulada. Direcionar tempo e energia para formas produtivas de estudar e aprender possibilita ao estudante gerenciar o próprio aprendizado de forma independente e proativa, sem a supervisão constante de um professor.



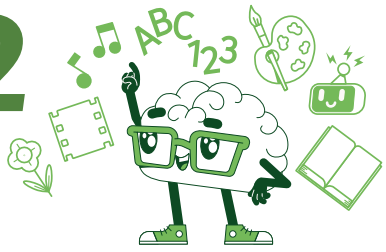


11 QUANDO O CORPO PARTICIPA, A APRENDIZAGEM É MAIS EFETIVA

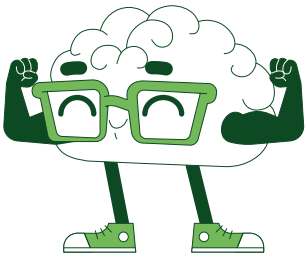
Movimento e cognição estão fortemente relacionados. Atividades práticas que integram o movimento nas situações de aprendizagem possibilitam ao estudante vivenciar, processar e registrar experiências que mudam o cérebro de forma mais efetiva. Manter os estudantes sentados e passivos não favorece as condições ideais para o aprendizado.

12 A CRIATIVIDADE REORGANIZA MÚLTIPLAS CONEXÕES CEREBRAIS E EXERCITA O CÉREBRO APRENDIZ

A essência da criatividade está em mobilizar a imaginação, fazer novas associações, mesclar conhecimentos e cruzar dados. Ela possibilita aos estudantes irem além da mera repetição de conceitos e fórmulas ao ativar diversas funções mentais e reorganizar múltiplas conexões neurais.



6.1 APRENDIZAGEM MODIFICA O CÉREBRO



Atualmente, as técnicas de neuroimagem[280] permitem que os pesquisadores analisem o **cérebro** em funcionamento durante o processo de aprendizagem. Elas são imprescindíveis para evidenciar que a aprendizagem modifica o cérebro, seja por meio de mudanças estruturais e/ou funcionais. Essas alterações são observadas em áreas cerebrais relacionadas a habilidades específicas quando, por exemplo, um indivíduo aprende a ler[281] e a escrever[282], melhora sua compreensão de um conceito de física[283], desenvolve habilidades numéricas[284], participa de programa de tutoria para aprender matemática[285] ou de intervenção para melhoria de **funções mentais** como **atenção seletiva**[286] e **funções executivas**[287]. Assim, conhecendo como a aprendizagem muda o cérebro[288] e como ele responde a determinadas intervenções, é possível selecionar práticas que tornem o aprendizado mais efetivo.

Aprender a ler muda o cérebro. A Neurociência confirma as notáveis mudanças cerebrais provocadas pela aquisição da leitura[289]. Diferentemente da linguagem oral, que aprendemos naturalmente, a habilidade de leitura exige mediação, esforço e repetição. Ela resulta de uma reorganização de **sinapses** nos **circuitos neurais** do **hemisfério esquerdo**, originalmente dedicados ao processamento de estímulos visuais e da linguagem oral[290]. Esses circuitos "reciclam-se" de forma a atribuir um "sentido" a um símbolo visual abstrato (letra). Ocorre maior **mielinização** dos **axônios** e aumento das conexões entre circuitos neurais que processam a forma da palavra, no córtex occipito-temporal, e os que processam os sons da fala, no córtex temporoparietal, associando, assim, letras e sons. Para essa remodelação da estrutura cerebral, é imprescindível um ambiente que estimule a

280 Seghier, M. L. *et al.* (2019). Educational fMRI: From the lab to the classroom.
281 Chyl, K. *et al.* (2018). Prereader to beginning reader: Changes induced by reading acquisition in print and speech brain networks.
282 James, K. H., & Engelhardt, L. (2012). The effects of handwriting experience on functional brain development in pre-literate children.
283 Mason, R. A., & Just, M. A. (2015). Physics instruction induces changes in neural knowledge representation during successive stages of learning.
284 Emerson, R. W., & Cantlon, J. F. (2015). Continuity and change in children's longitudinal neural responses to numbers.
285 Jolles, D. *et al.* (2016). Reconfiguration of parietal circuits with cognitive tutoring in elementary school children.
286 Isbell, E. *et al.* (2017). Neuroplasticity of selective attention: Research foundations and preliminary evidence for a gene by intervention interaction.
287 Rosas, R. *et al.* (2019). Executive functions can be improved in preschoolers through systematic playing in educational settings: Evidence from a longitudinal study.
288 Tovar-Moll, F., & Lent, R. (2018). Neuroplasticidade: O cérebro em constante mudança.
289 Buchweitz, A. (2016). Language and reading development in the brain today: Neuromarkers and the case for prediction.
290 Dehaene, S. *et al.* (2015). Illiterate to literate: Behavioural and cerebral changes induced by reading acquisition.

alfabetização[291] e o desenvolvimento das funções executivas. Estudo[292] realizado pela Universidade Harvard e pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) mostrou que um programa de intervenção em crianças, com dificuldades de leitura e baixa condição socioeconômica, resultou em aumento da **substância cinzenta** das áreas cerebrais que processam a leitura e em uma melhora dessa habilidade. Tais resultados revelam a importância fundamental da intervenção adequada para o desenvolvimento cerebral necessário ao pleno domínio da leitura. A aquisição da leitura promove outros ganhos relacionados à decodificação de estímulos visuais, ao reconhecimento de faces pelo **hemisfério direito**, à consciência fonológica, ao processamento da fala, à compreensão de frases complexas, à fluência semântica, à memória verbal e, ainda, possibilita o acesso a mais conhecimentos e experiências vividas por meio da leitura em si.

Exposição a uma segunda língua também muda o cérebro – e quanto mais cedo, melhor. Pesquisadores[293] verificaram que a exposição a uma segunda língua, desde o nascimento, leva a alterações cerebrais (da substância cinzenta e da mielinização dos axônios) que beneficiam o processamento da linguagem e o desenvolvimento da leitura em crianças bilíngues (quando comparadas às crianças monolíngues). Quando as crianças bilíngues leem palavras, as áreas cerebrais relacionadas ao processamento fonológico e à expressão da linguagem e também aquelas envolvidas com a memória de trabalho, atenção, raciocínio e integração de informações apresentam maior ativação. Para alternar o uso dos diferentes repertórios, o bilíngue exercita suas funções executivas ao selecionar e monitorar a alternância de uso entre uma língua e outra, aprimorando sua atenção, memória de trabalho e controle inibitório[294]. Bilíngues aprendem com mais facilidade uma terceira língua, pois apresentam melhor atenção auditiva e decodificam com mais precisão as frequências sonoras.

O aprendizado e o progressivo domínio da matemática também levam a modificações no cérebro. Um estudo[295] da Universidade de Tuebingen, na Alemanha, avaliou adolescentes de 12-14 anos ao final de um ano escolar e depois ao término do ano escolar seguinte. Um outro estudo[296] da Universidade Stanford avaliou dois grupos de estudantes entre 7-9 anos nos anos iniciais de escolarização, sendo um ao término do 2º ano e outro ao término do 3º ano. Em ambos os estudos, o desempenho dos estudantes em diferentes tarefas aritméticas foi medido e seus cérebros foram mapeados. Os exames de

291 Buchweitz, A. *et al.* (2018). Linguagem: Das primeiras palavras à aprendizagem da leitura.

292 Romeo, R. R. *et al.* (2018). Socioeconomic status and reading disability: Neuroanatomy and plasticity in response to intervention.

293 Jasińska, K. K., & Petitto, L. A. (2014). Development of neural systems for reading in the monolingual and bilingual brain: New insights from functional near infrared spectroscopy neuroimaging.

294 Buchweitz, A., & Prat, C. (*2013*). The bilingual brain: Flexibility and control in the human cortex.

295 Artemenko, C. *et al.* (2018). The neural correlates of mental arithmetic in adolescents: A longitudinal fNIRS study.

296 Rosenberg-Lee, M. *et al.* (2011). What difference does a year of schooling make? Maturation of brain response and connectivity between 2nd and 3rd grades during arithmetic problem solving.

neuroimagens mostraram que o raciocínio aritmético depende, independentemente da idade, da atividade de regiões cerebrais dos **lobos frontal** e **parietal**, a chamada **rede neural frontoparietal**. Aos 7 anos, as regiões frontais, relacionadas à memória de trabalho e ao controle cognitivo, são mais ativadas do que as **regiões parietais**, envolvidas com o processamento numérico e as representações visuais e espaciais. Ao avaliar as crianças de 9 anos, os pesquisadores identificaram uma ativação maior das regiões parietais envolvidas com o aprendizado da matemática. Entre 12 e 14 anos, a maior precisão, rapidez e menor número de erros em operações aritméticas simples e complexas tiveram relação com mudanças de atividade em circuitos neurais específicos das regiões parietais.

Se sabemos que a aprendizagem muda o cérebro, investimos mais esforços para a sua mudança. A Neurociência[297] tem mostrado que existem conexões entre as áreas relacionadas à motivação, ao controle cognitivo e às funções executivas que orientam a ação. Quando as áreas relacionadas à motivação, que analisam o valor de uma tarefa, são ativadas, as áreas que exercem controle cognitivo mobilizam a atividade mental em função da tarefa. Como resposta, as áreas responsáveis pelo planejamento e ação movimentam o indivíduo na direção do seu objetivo de aprendizagem. Por um lado, pesquisas[298] revelam que os estudantes que acreditam que a inteligência é maleável e que a aprendizagem modifica o cérebro confiam que suas habilidades e talentos podem ser desenvolvidos por meio de esforço constante e persistência. Por outro lado, as pesquisas revelam também que os estudantes que não reconhecem que sua inteligência é passível de desenvolvimento, apresentam menor grau de motivação, de autoconfiança, de resiliência frente ao erro e de autorregulação em relação à aprendizagem.

Transformando o princípio 1 em ação

Durante muito tempo, prevaleceu, no senso comum, a ideia de que, à medida que envelhecíamos, as conexões no cérebro tornavam-se fixas e perdíamos a capacidade de realizar novas conexões. A Neurociência já demonstrou, e continua enfatizando, que o cérebro humano, por meio da **neuroplasticidade**[299], tem a incrível capacidade de se reorganizar e formar novas sinapses durante toda a vida, por meio das experiências vividas e dos processos de aprendizagem decorrentes das interações que estabelecemos[300]. Portanto, as evidências científicas nos permitem afirmar que a aprendizagem modifica

297 Ng, B. (2018). The neuroscience of growth mindset and intrinsic motivation.

298 Blackwell, L. S. *et al.* (2007). Implicit theories of intelligence predict achievement across an adolescent transition: A longitudinal study and an intervention.

299 Voss, P. *et al.* (2017). Dynamic brains and the changing rules of neuroplasticity: Implications for learning and recovery.

300 Burke, S., & Barnes, C. (2006). Neuroplasticity in the ageing brain.

o cérebro e que a inteligência não é algo fixo, mas maleável ao longo da vida. Tendo em vista as descobertas da Neurociência que foram abordadas anteriormente, serão apresentados alguns pontos de reflexão para a prática pedagógica.

Informe aos estudantes que a inteligência é maleável. Muitos estudantes, por desconhecerem que o cérebro se modifica ao longo da vida, supõem que a inteligência é determinada no nascimento e que mesmo um esforço intenso não vai alterar seu desempenho escolar. Às vezes, esses estudantes chegam a um ponto no qual acreditam que a educação se tornou um desafio que não podem superar, pois não são suficientemente inteligentes para dar conta da escola. Pesquisas[301] no campo da Neurociência[302] revelam que, quando os estudantes compreendem que a sua inteligência é maleável e que a aprendizagem altera a estrutura do seu cérebro, eles podem renovar a autoconfiança e a motivação para os estudos. Os resultados[303] são especialmente relevantes quando o baixo desempenho acadêmico pode ser parcialmente relacionado a estereótipos que atribuem a estudantes negros e/ou de baixa renda um baixo desempenho intelectual. A qualidade do vínculo, o *feedback* positivo e a confiança do professor nesses estudantes são fundamentais para que eles renovem a autoconfiança e sigam investindo esforços na aprendizagem.

Fique atento à qualidade dos estímulos. A aprendizagem muda o cérebro em função dos estímulos que o estudante recebe, mas não é a quantidade de estímulos que importa, e sim a sua qualidade. A qualidade das relações estabelecidas, dos recursos oferecidos, das metodologias de ensino utilizadas, enfim, de tudo aquilo que o estudante vivencia, é que vai determinar as características das mudanças cerebrais que corresponderão às novas habilidades, aos conhecimentos e às atitudes. Currículo enciclopédico, excesso de atividades e sobrecarga de leitura vão na contramão do que a pesquisa em Neurociência tem apontado. O fator primordial é a capacidade de o professor selecionar o que é mais relevante e, principalmente, de mediar a relação do estudante com os diferentes recursos, de forma a favorecer uma aprendizagem profunda e plena de significado.

Garanta a alfabetização plena. No 2º ano do ensino fundamental, aproximadamente aos 7 anos de idade, geralmente as crianças passam do estágio de "aprender a ler" para o estágio de "ler para aprender"[304]. Tal conquista promove um conjunto de importantes alterações no cérebro[305]. Uma criança que não consegue fazer essa transição funda-

301 Dweck, C. S. (2007). Boosting achievement with messages that motivate.

302 Fitzakerley, J. L. *et al.* (2013). Neuroscientists' classroom visits positively impact student attitudes.

303 Good, C. *et al.* (2003). Improving adolescents standardized test performance: An intervention to reduce the effects of stereotype threat.

304 Horowitz-Kraus, T., & Hutton, J. S. (2015). From emergent literacy to reading: How learning to read changes a child's brain.

305 Scliar-Cabral, L. (2013). Avanços das neurociências para a alfabetização e a leitura.

mental, provavelmente encontrará dificuldades para avançar na aprendizagem, pois a capacidade plena de leitura é essencial ao sucesso escolar. As dificuldades de leitura podem ser resultado de alterações do neurodesenvolvimento (dislexia), mas também podem estar relacionadas com inadequações no processo de ensino[306], que geram fragilidades na alfabetização, ou ainda com um ambiente familiar pouco estimulante associado ao baixo nível socioeconômico. O professor precisa estar atento, pois o diagnóstico precoce é o elemento-chave para determinar as intervenções apropriadas, visto que algumas serão mais efetivas se realizadas em momentos específicos do desenvolvimento infantil. As crianças que não tiverem o suporte necessário poderão ter um desenvolvimento cognitivo aquém do seu potencial[307], pois as áreas responsáveis pela leitura serão menos desenvolvidas[308]. O desenho de políticas públicas voltadas para a garantia da alfabetização plena a todas as crianças deve ser prioridade pois, sem essa base essencial, a futura aprendizagem estará comprometida[309].

Favoreça a aprendizagem precoce de um segundo idioma. Pesquisas[310] indicam que a aprendizagem de um segundo idioma, nos primeiros anos de vida, traz benefícios para a capacidade futura de leitura, desempenho acadêmico, cognição geral e saúde do cérebro. O desenvolvimento cerebral estimulado pela exposição a um segundo idioma o mais cedo possível pode, inclusive, minimizar o impacto negativo do nível socioeconômico sobre o desempenho acadêmico de crianças de baixa renda. Há cada vez mais evidências[311] de que crescer como bilíngue pode aumentar a capacidade da memória de trabalho e melhorar as funções executivas, que são fundamentais para a aquisição da leitura, da escrita e da matemática. No entanto, no cenário brasileiro, por exemplo, a maioria dos estudantes não é exposta a uma segunda língua até o 6º ano do ensino fundamental porque isso não constitui uma obrigatoriedade no currículo.



Quem ensina, muda o cérebro do outro. Estratégias pedagógicas são estímulos que levam à reorganização de conexões cerebrais, produzindo conhecimentos, habilidades e atitudes.

306 Scliar-Cabral, L. (2013). A desmistificação do método global.

307 Ardila, A. *et al.* (2010). Illiteracy: The neuropsychology of cognition without reading.

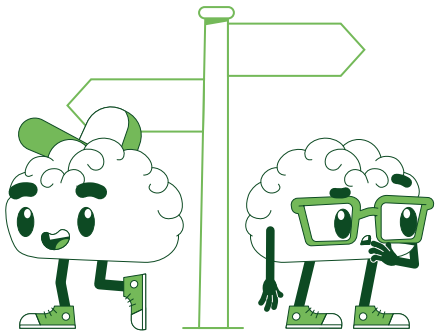
308 Gabriel, R. *et al.* (2016). A aprendizagem da leitura e suas implicações sobre a memória e a cognição.

309 Vágvölgyi, R. *et al.* (2016). A review about functional illiteracy: Definition, cognitive, linguistic, and numerical aspects.

310 Zadina, J. N. (2015). The emerging role of educational neuroscience in education reform.

311 Zhang, M. (2018). An overview of the bilingual advantage: History, mechanisms and consequences.
Blom, E. *et al.* (2014). The benefits of being bilingual: Working memory in bilingual Turkish-Dutch children.

6.2 A FORMA COMO CADA UM APRENDE É ÚNICA



A estrutura do **cérebro** lembra um grande conjunto de estradas – **circuitos neurais** – relacionados à emoção, à motivação, à atenção, à motricidade, à linguagem, ao raciocínio lógico, entre outras **funções mentais**, que seguem padrões típicos da espécie humana. Esse conjunto de estradas é comum a todas as pessoas[312], embora com algumas variações por causa das informações genéticas peculiares, recebidas de seus ancestrais. De fato, nossas principais rodovias são muito similares. No entanto, cada um de nós também cria caminhos únicos que são resultado da forma singular como os **neurônios** se modificam e se interligam ao longo da nossa história pessoal[313]. Já está demonstrado pela ciência que nem mesmo gêmeos idênticos criam exatamente os mesmos caminhos[314]. Portanto, o cérebro de cada um está conectado de uma maneira diferente[315].

Afirmar que o cérebro de cada um é único significa dizer que cada um de nós processa e aprende informações de uma maneira particular, devido às experiências vividas que influenciam nossos genes e constroem nossas memórias. Cada um dos estudantes tem uma circuitaria neural – conjunto de circuitos neurais distintos e funcionalmente relacionados – configurada de forma exclusiva, que influencia o seu desempenho nas atividades em sala de aula[316]. Estudos de neuroimagem[317] revelam que, toda vez que experimentamos ou aprendemos algo novo, nossos neurônios são fisicamente alterados.

Evidências da Neurociência têm demonstrado que um mesmo problema é processado em tempos e de maneiras distintas por cérebros diferentes, por exemplo, no campo da aprendizagem da matemática. Pesquisadores japoneses[318], utilizando técnica de neuroimagem (**fNIRS**), avaliaram o padrão de funcionamento cerebral do **córtex pré-frontal** de crianças numa sala de aula, no momento em que elas estavam compreendendo e

312 Yang, Z. *et al.* (2016). Genetic and environmental contributions to functional connectivity architecture of the human brain.
Reinenberg, A. E. *et al.* (2020). Genetic and environmental influence on the human functional connectome.

313 Miller, G. (2012). Why are you and your brain unique?
Gu, J., & Kanai, R. (2014) What contributes to individual differences in brain structure?

314 Larsen, S. A. *et al.* (2019). Identical genes, unique environments: A qualitative exploration of persistent monozygotic-twin discordance in literacy and numeracy.
Haque, F. N. *et al.* (2009). Not really identical: Epigenetic differences in monozygotic twins and implications for twin studies in psychiatry.

315 Finn, E. S. *et al.* (2015). Functional connectome fingerprinting: Identifying individuals using patterns of brain connectivity.

316 Bueno, D. (2019). Genetics and learning: How the genes influence educational attainment.

317 Zatorre, R. J. *et al.* (2012). Plasticity in gray and white: Neuroimaging changes in brain structure during learning.

318 Eda, H. *et al.* (2008). NIRS evaluates the thinking process of Mushi-Kuizan task.
Kuroda, Y. *et al.* (2009). Visualization of children's mathematics solving process using near infrared spectroscopic approach.

resolvendo um problema matemático composto de três etapas. O tempo que cada criança levou para descobrir a solução para o problema variou, assim como sua atividade cerebral. As medidas de atividade cerebral apresentaram grande variação, conforme a motivação, a dificuldade e o esforço cognitivo relacionados ao desenvolvimento de uma estratégia de resolução do problema, e mantiveram-se estáveis quando os estudantes aprendiam a solução. Técnica de rastreamento dos movimentos oculares (*eye tracking*), utilizada pelo mesmo grupo de pesquisa[319], também indicou diferentes padrões de processamento cognitivo de um problema matemático, sendo que, estudantes que já sabem resolver o problema exibem poucos movimentos oculares, que são executados numa sequência específica. Em contrapartida, aqueles que ainda não aprenderam a estratégia para sua solução do problema fazem uma quantidade maior de movimentos oculares e de forma aleatória.

Diferenças individuais no processamento de problemas matemáticos também foram constatadas por pesquisadores alemães[320]. Utilizando técnicas de neuroimagem e medidas eletrofisiológicas, neuropsicológicas e comportamentais, os estudos mostraram que diferenças individuais na habilidade matemática afetam o desempenho em cálculos aritméticos mais complexos. Os indivíduos com maior habilidade matemática diferenciam-se daqueles com menor habilidade, ao recrutarem **áreas frontais**, relacionadas à **memória de trabalho**, conseguindo resolver problemas aritméticos de maior complexidade e com mais eficiência.

Outro aspecto que torna a aprendizagem única para cada indivíduo é o processo de constituição de sentido. Diferentes grupos de pesquisa[321] vêm mostrando que os sentidos que constituímos na nossa relação com o mundo envolve vários conjuntos de circuitos neurais, distribuídos por diversas estruturas do **sistema nervoso** e distintas áreas do cérebro. Essas **redes neurais** funcionam de forma integrada. Elas processam as informações sensoriais e motoras, as sensações viscerais, as emoções e avaliam a relevância das informações, selecionam algumas e inibem outras[322]. Além disso, os circuitos neurais ainda comparam o que é percebido com as memórias armazenadas, de forma a associar o que é vivenciado com algo que já faz parte das representações mentais daquele indivíduo.

319 Okamoto, N., & Kuroda, Y. (2014). Understanding strategy development in mathematics: Using eye movement measurement in educational research.

320 Artemenko, C. *et al.* (2018) The neural correlates of arithmetic difficulty depend on mathematical ability: Evidence from combined fNIRS and ERP.
Artemenko, C. *et al.* (2019). Individual differences in math ability determine neurocognitive processing of arithmetic complexity: A combined fNIRS-EEG study.

321 Immordino-Yang, M.H., & Gotlieb, R. (2017). Embodied brains, social minds, cultural meaning: Integrating neuroscientific and educational research on social-affective development.

322 Oosterwijk, S. *et al.* (2012). States of mind: Emotions, body feelings, and thoughts share distributed neural networks.
Oosterwijk, S. *et al.* (2014). The neuroscience of construction: What neuroimaging approaches can tell us about how the brain creates the mind.

Esse processo de constituição de sentido ocorre, por exemplo, ao acessarmos informações por meio da leitura. Estudos dos movimentos oculares durante a leitura demonstram que cerca de um terço das palavras em um texto não são lidas pelo leitor[323]. O processo é claramente seletivo, envolvendo a interação entre **áreas corticais** e "pensantes" do cérebro e o **tálamo**, estrutura que tem conexões recíprocas com o **córtex cerebral** e processa os estímulos antes de eles chegarem ao córtex[324].

Usando técnicas de neuroimagem e de rastreamento dos movimentos oculares durante a leitura, pesquisadores americanos[325] mostraram que é o córtex cerebral do leitor que direciona esses movimentos, à medida que ele procura entender o texto. O córtex, com base naquilo que já foi armazenado na memória, seleciona as informações que serão processadas e, a partir daí, constitui sentido para o texto. Então, o que um indivíduo lê é resultado daquilo que o cérebro dele filtrou. Isso explica por que a leitura proficiente é um processo eficaz, no qual o leitor vai muito além da identificação sequencial de palavras, ao constituir sentido para o que lê, pautado nas suas experiências prévias. Portanto, o cérebro não é prisioneiro das informações que recebe. Pelo contrário, ele traduz aquilo que recebe, dando sentido à sua interação com o mundo. Para os pesquisadores, à medida que essa perspectiva se torne mais amplamente compreendida, ela vai levar a um avanço na compreensão dos processos de aprendizagem e da inteligência humana[326].



O cérebro não é prisioneiro das informações que recebe. Pelo contrário, ele traduz aquilo que recebe, dando sentido à sua interação com o mundo.

Embora cada cérebro seja único, as características cerebrais peculiares não definem um tipo específico de inteligência de uma pessoa. A teoria das inteligências múltiplas[327], proposta em 1983 por Howard Gardner, busca valorizar a pluralidade do intelecto humano. Reconhecendo que as características relativas às diferenças individuais são devidas, em parte à genética e em parte às interações com o meio, a teoria propõe o desenvolvimento de outras habilidades para além da verbal e lógico-matemática, tradicionalmente enfatizadas nas escolas. Embora as bases neurais das distintas inteligências,

323 Strauss, S. L. *et al.* (2009). Brain research and reading: How emerging concepts in neuroscience support a meaning construction view of the reading process.

324 Crosson, B. (2019). The role of cortico-thalamo-cortical circuits in language: Recurrent circuits revisited.
Klostermann, F. *et al.* (2013). Functional roles of the thalamus for language capacities.

325 Strauss, S. L. *et al.* (2009). Brain research and reading: How emerging concepts in neuroscience support a meaning construction view of the reading process.

326 Bednarz, H. M. *et al.* (2017). "Decoding versus comprehension": Brain responses underlying reading comprehension in children with autism.

327 Gardner, H. (2020). Of human potential: A 40-year saga.

ainda não estejam totalmente esclarecidas[328], alguns estudos[329] vêm buscando relacionar as características que definem cada uma delas às funções mentais e seus respectivos circuitos neurais. O importante é fornecermos os ambientes que estimulem de forma ampla e variada o desenvolvimento das potencialidades que cada estudante tem.



Transformando o princípio 2 em ação

As evidências neurocientíficas[330] comprovam que nossos cérebros são tão distintos quanto nossas impressões digitais e que a aprendizagem é um processo singular. Tais evidências contrastam com o modelo de ensino despersonalizado que ainda impera em boa parte dos sistemas educacionais.

Em uma sala de aula cheia de estudantes com a mesma idade, nem todos estão igualmente prontos para aprender um novo conceito. Cada estudante é especial e traz consigo uma história singular, refletida em combinações únicas de competências e necessidades que afetam seu aprendizado. Cada um traz para a sala de aula seu modo de ser, suas preferências, talentos, medos e desejos. E todos merecem a oportunidade de aprender de forma a desenvolver o seu potencial[331] e superar suas fraquezas. Para os professores, considerar esse princípio da Neurociência é especialmente importante no momento de desenhar o currículo, selecionar as estratégias e projetar as atividades.

Descubra os interesses dos estudantes. O primeiro passo para personalizar o ensino é descobrir os centros de interesse dos estudantes: o que gostam de fazer, quais temas os motivam, quais são seus talentos e sonhos. Ao abrir esse espaço de diálogo, os professores enviam aos estudantes a mensagem de que suas experiências de vida são importantes e farão parte dos processos de ensino e aprendizagem. Essa é uma mensagem poderosa para começar o ano letivo. Ao conhecer melhor seus estudantes, um professor habilidoso consegue conectar os conteúdos previstos no currículo com seus interesses, gerando maior motivação, autonomia e protagonismo.

328 Waterhouse, L. (2006). Multiple intelligences, the Mozart effect, and emotional intelligence: A critical review.
Waterhouse, L. (2006) Inadequate evidence for multiple intelligences, Mozart effect, and emotional intelligence theories.

329 Cerruti, C. (2013). Building a functional multiple intelligences theory to advance educational neuroscience.
Shearer, C. B., & Karanian, J. M. (2017). Neuroscience of intelligence: Empirical support for the theory of multiple intelligences.
Shearer, B. (2018). Multiple intelligences in teaching and education.: Lessons learned from neuroscience.

330 Finn, E. *et al.* (2015). Functional connectome fingerprinting: Identifying individuals using patterns of brain connectivity.

331 Stern, E. (2017). Individual differences in the learning potential of human beings

Personalize o ensino. Afirmar que o cérebro de cada aprendiz está conectado de maneira distinta[332] significa dizer que eles aprendem por caminhos diferenciados. Nessa perspectiva, o processo educativo não pode oferecer uma rota única de aprendizagem para todos os estudantes. A diversificação das práticas pedagógicas e dos recursos didáticos favorece a construção de processos de ensino e aprendizagem que possibilitam a cada aprendiz colocar em ação o seu jeito próprio de aprender. Assim, a estrutura cerebral de cada aprendiz pode ser mobilizada da melhor forma e o seu desenvolvimento será potencializado. Personalizar o ensino também significa calibrar o nível de dificuldade com os diferentes ritmos de aprendizagem. Alguns estudantes levarão mais tempo que outros para entender completamente um conceito e precisarão de atividades complementares, enquanto outros precisarão de atividades desafiadoras para avançar e manter a motivação.

Utilize plataformas adaptativas. Os professores podem sentir grande ansiedade ao ter que atender às necessidades singulares de aprendizado de tantos estudantes diferentes, principalmente quando precisam lecionar para turmas numerosas. As plataformas adaptativas podem oferecer suporte ao professor, sendo um recurso complementar na busca por um ensino mais personalizado. Elas oferecem um ambiente virtual de aprendizado que personaliza o processo de aprendizagem de cada estudante, de acordo com seu progresso. Por meio de Inteligência Artificial, os algoritmos analisam o desempenho dos estudantes, identificam suas necessidades e dificuldades e sugerem uma trajetória customizada de aprendizagem, que envolve recursos diversos (vídeos, *games*, exercícios, textos, resumos, mapas mentais), dicas e *feedback*. Quanto mais o estudante interage com a plataforma, mais a ferramenta aprende sobre ele, gerando sugestões cada vez mais precisas. Especialmente para o professor, esse tipo de plataforma disponibiliza ferramentas que elaboram atividades e avaliações e geram relatórios de desempenho por estudante. Isso libera o professor de tarefas repetitivas e economiza o seu tempo para que ele possa interagir de forma mais efetiva com os estudantes.

Favoreça a constituição de sentido. A constituição de sentido tem importância nuclear para os processos de aprendizagem. O professor ensina o mesmo conteúdo para todos, mas a forma de processar a informação é única, pois cada estudante se apropria, de forma particular, daquilo que recebe. A aprendizagem não é resultado de um processo de absorção passivo, no qual o estudante transforma informações em conhecimento de maneira automática. Se as informações que recebe não fazem sentido, não geram reflexão, ou não o impactam de alguma maneira, é muito provável que sejam esquecidas e não se transformem em conhecimento consolidado na memória. E como o professor

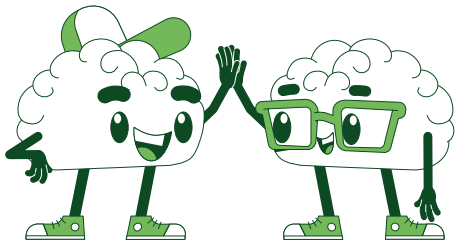
332 Bueno, D. (2019). Genetics and learning: How the genes influence educational attainment.

favorece a constituição de sentido? Abrindo espaço para motivar, inspirar, emocionar e envolver o estudante, para que ele possa personalizar informações. O estudante compreende uma nova informação quando ela é conectada à sua experiência de vida, ao seu universo de valores e crenças e ao seu arquivo pessoal de conhecimentos. Tudo isso se traduz em processos de constituição de sentido. O professor precisa promover atividades que ajudem o estudante a transformar conteúdos distantes e desconexos em algo próprio e particular. A chave dessa transformação reside na criação de oportunidades para o estudante perguntar, questionar, refletir, confrontar ideias, construir argumentos, imaginar possibilidades, compartilhar pensamentos, colocar a "mão na massa", levantar e testar hipóteses. Sem exercitar esses processos, o estudante vai tender a copiar, repetir e fazer apenas uma "decoreba", distanciando-se da possibilidade de personalizar as informações recebidas. A implicação do estudante naquilo que a escola busca oferecer cumpre importante papel na transformação do processo educativo em um processo efetivo. Se essa via de constituição de sentido não acontece, a aprendizagem cai num vazio, pois converte-se numa atividade formal, que reflete uma mera reprodução do que foi ensinado.



Cada cérebro é diferente do outro por razões genéticas e pelas mudanças que as interações vividas produziram nele. O professor ensina o mesmo conteúdo para todos, mas o cérebro de cada estudante processa de forma única aquilo que recebe.

6.3 A INTERAÇÃO SOCIAL FAVORECE A APRENDIZAGEM



O **cérebro** humano é dotado de **circuitos neurais** que nos tornam aprendizes por natureza. É possível aprender simplesmente observando os outros[333], mas isso não é o mesmo que aprender a partir da interação com alguém que nos ensina. O ensino deliberado parece ser uma característica especial das interações humanas que não é encontrada em outros primatas[334]. Portanto, os processos de ensino e aprendizagem se constituem como um fenômeno social[335]. No contexto educativo, os processos de ensinar e aprender constituem-se por meio de uma interação recíproca e dinâmica[336] entre estudante e professor, na qual as ações de um influenciam o processamento cerebral do outro, levando o professor, por exemplo, a mudar uma atividade planejada em função da pergunta de um estudante que revelou não ter compreendido determinado conceito. O desempenho do estudante, por sua vez, pode ser impulsionado pela interação com outros colegas e com os professores. Além disso, o desempenho de um professor pode ser influenciado pela interação com seus pares. Essas interações sociais promovem a atividade cerebral que levará às modificações dos circuitos neurais de professores e estudantes, impactando os processos de ensino e aprendizagem[337].

A Neurociência Social estuda as bases neurais da cognição social[338]. Ela busca compreender como as interações sociais influenciam o que pensamos e como nos relacionamos com o outro (e vice-versa)[339]. O foco da pesquisa nesse campo é o estudo das bases neurais de confiança, cooperação, justiça, generosidade, rejeição, preconceito, vínculos, entre outros aspectos das interações sociais humanas[340], indicando que o mundo social e o mundo individual são interdependentes. Esses estudos[341] demonstram que o cérebro humano apresenta áreas cerebrais especializadas no reconhecimento e na interpretação de sinais sociais, tais como expressões faciais, movimentos corporais e dos olhos e tons de voz. Esses sinais nos permitem interpretar as emoções, os estados mentais

333 Meltzoff, A. N., & Marshall, P. J. (2018). Human infant imitation as a social survival circuit.
334 Frith, U., & Frith, C. (2010). The social brain: Allowing humans to boldly go where no other species has been.
335 Yano, K. (2013). The science of human interaction and teaching.
336 Rodriguez, V. (2013). The human nervous system: A framework for teaching and the teaching brain.
337 Nelson, E. E. *et al.* (2016). Social re-orientation and brain development: An expanded and updated view.
338 Haase, V. G. *et al.* (2009). Um convite à neurociência cognitiva social.
339 Frith, C. D. (2007). The social brain?
340 Lieberman, M. D. (2010). Social cognitive neuroscience.
341 Adolphs, R. (2009). The social brain: Neural basis of social knowledge.

e intenções das outras pessoas, o que orienta o nosso comportamento em relação a elas. Essa avaliação que realizamos do outro é influenciada pelo nosso próprio estado mental, pelas memórias, valores e crenças que temos[342].

A Neurociência vem revelando que o cérebro foi estruturado para cooperar[343]. Ele possui circuitos neurais que constituem o **sistema de mentalização** e o **sistema de neurônios espelho**, ativados durante o processamento das interações sociais[344]. Além disso, existem outros conjuntos de neurônios relacionados às **funções executivas**[345], às memórias armazenadas[346], à regulação das emoções e ao **sistema de recompensa**[347]. Todos eles atuam de forma integrada, propiciando ao indivíduo a capacidade e a motivação[348] para interações sociais e decisões[349] que resultam em melhor adaptação à vida. As interações sociais são valiosas para o desenvolvimento humano e o estabelecimento de sua cultura[350].

Um conjunto de estudos neurocientíficos[351] mostrou que colaborar é motivador. A motivação, imprescindível para a aprendizagem efetiva, é um fenômeno construído socialmente. Os circuitos neurais ativados pelas interações sociais têm conexões com o sistema de recompensa[352] que desencadeia a motivação[353].

Ao realizarmos uma atividade cooperativa, a interação social que ela promove nos motiva a permanecer na atividade, cooperando. Por isso, a aprendizagem com o outro é produtiva. Ao prever uma interação social cooperativa, o cérebro recruta o sistema de recompensa mesmo antes de ocorrer a interação[354]. A aprendizagem cooperativa gera sentimentos positivos (bem-estar, satisfação, empolgação, interesse) em relação a futuras atividades de aprendizagem envolvendo os pares, desde que emoções negativas, como medo, vergonha e falta de confiança, não interfiram na interação, interrompendo-a e evitando-a.

342 Bar, M. (2007). The proactive brain: Using analogies and associations to generate predictions.

343 Stallen, M., & Sanfey, A. G. (2013). The cooperative brain.
Frith C. D., & Frith, U. (2012). Mechanisms of social cognition.
Strang, S., & Park, S. Q. (2016). Human cooperation and its underlying mechanisms.

344 Vogeley, K. (2017). Two social brains: Neural mechanisms of intersubjectivity.

345 Wade, M. *et al.* (2018). On the relation between theory of mind and executive functioning: A developmental cognitive neuroscience perspective.

346 Brown, S. (2020). The "who" system of the human brain: A system for social cognition about the self and others.

347 Salamone, J. D., & Correa, M. (2012). The mysterious motivational functions of mesolimbic dopamine.

348 Rilling, J. K. *et al.* (2002). A neural basis for social cooperation.

349 Stallen, M., & Sanfey, A. G. (2015). Cooperation in the brain: Neuroscientific contributions to theory and policy.

350 Frith, U., & Frith, C. (2010). The social brain: Allowing humans to boldly go where no other species has been.

351 Clark, I., & Dumas, G. (2015). Toward a neural basis for peer-interaction: What makes peer-learning tick?
Krill, A. L., & Platek, S. M. (2012). Working together may be better: Activation of reward centers during a cooperative maze task.

352 Alkire, D. *et al.* (2018). Social interaction recruits mentalizing and reward systems in middle childhood.

353 Ruff, C. C., & Fehr, E. (2014). The neurobiology of rewards and values in social decision making.

354 Krach, S. *et al.* (2010). The rewarding nature of social interactions.

Diferentes técnicas de neuroimagem funcional[355] desenvolvidas nos últimos 20 anos possibilitam medir a atividade cerebral tanto de uma pessoa observando outra, como de duas ou mais pessoas interagindo[356]. Assim, é possível verificar se a atividade cerebral dessas pessoas está sincronizada, ou não, isto é, se elas estão sintonizadas, dedicadas e engajadas de forma conjunta em uma mesma experiência[357]. Essa sintonia é provocada pelas interações sociais e caracterizada por melhor percepção, atenção e motivação para persistir interagindo[358]. Os estudos revelam que a atividade cerebral durante a interação com uma pessoa face a face, aquela que permite tanto o contato visual[359] como a reciprocidade de sinais e ações[360], é distinta daquela desencadeada a partir da interação com a pessoa por meio de um vídeo gravado ou quando simplesmente se observa a pessoa, recebendo passivamente seus sinais. A interação face a face aumenta, de forma sincronizada, a atividade de regiões relacionadas à cognição social e à empatia nos cérebros de ambos os participantes da conversa, melhorando a sintonia entre eles e a qualidade da comunicação, de tal forma que outros tipos de interação não conseguem promover[361].

Vários estudos[362] demonstram que essa interação face a face – na qual as percepções e reações das pessoas envolvidas são modificadas de forma dinâmica e recíproca pelo que cada um diz e faz – também influencia significativamente o que ocorre nos cérebros de quem ensina e de quem aprende durante o processo educativo, que se constitui como um fenômeno social.

Estudo realizado por pesquisadores americanos, holandeses e alemães[363] mediu, em cada uma de 11 distintas aulas ao longo de um semestre letivo, a atividade cerebral de cada um dos 12 estudantes de uma turma do ensino médio, durante a sua participação em cada uma das diversas atividades relacionadas ao tema da aula: leitura de anotações pelo professor, apresentação de vídeo, apresentação da aula expositiva e discussão em grupo. A sincronização da atividade cerebral, refletida no engajamento da turma, foi

355 Babiloni, F., & Astolfi, L. (2014). Social neuroscience and hyperscanning techniques: Past, present and future.
Czeszumski, A. *et al.* (2020). Hyperscanning: A valid method to study neural inter-brain underpinnings of social interaction.

356 Hari, R. *et al.* (2015). Centrality of social interaction in human brain function.

357 Hasson, U. *et al.* (2012). Brain-to-brain coupling: A mechanism for creating and sharing a social world.
Dikker, S. *et al.* (2014). On the same wavelength: Predictable language enhances speaker–listener brain-to-brain synchrony in posterior superior temporal gyrus.

358 Hari, R., & Kujala, M. V. (2009). Brain basis of human social interaction: From concepts to brain imaging.

359 Schilbach, L. (2015). Eye to eye, face to face and brain to brain: Novel approaches to study the behavioral dynamics and neural mechanisms of social interactions.
Kolke, T. *et al.* (2019). What makes eye contact special? Neural substrates of on-line mutual eye-gaze- A hyperscanning fMRI study.

360 Sakaiya, S. *et al.* (2013). Neural correlate of human reciprocity in social interactions.
Redcay, E., & Schilbach, L. (2019). Using second-person neuroscience to elucidate the mechanisms of social interactions.

361 Jiang, J. *et al.* (2012). Neural synchronization during face-to-face communication.
Yun, K. (2013). On the same wavelength: Face-to-face communication increases interpersonal neural synchronization.

362 Wass, S. V. *et al.* (2020). Interpersonal neural entrainment during early social interaction.
Brockington, G. *et al.* (2018). From the laboratory to the classroom: The potential of functional near-infrared spectroscopy in educational neuroscience.
Kostorz, K. *et al.* (2020). Synchronization between instructor and observer when learning a complex bimanual skill.

363 Dikker S. *et al.* (2017). Brain-to-brain synchrony tracks real-world dynamic group interactions in the classroom.

maior nas atividades que os estudantes consideraram mais interessantes, como o vídeo e a discussão em grupo. Essa sincronização foi relacionada ao fato de os estudantes terem tido oportunidade de contato visual durante as atividades ou previamente a elas. Outro dado interessante foi que, em relação à aula expositiva, estudantes que sentiam maior proximidade com o professor apresentaram maior retenção do conteúdo apresentado[364].

Diversos grupos de pesquisa vêm confirmando que a sincronização cerebral produzida pela comunicação face a face, entre professor e estudantes, contribui para uma aprendizagem efetiva. Nos diferentes estudos, a interação entre professor e estudante foi caracterizada pela ativação de conhecimento prévio[365], pelo recrutamento da atenção[366], pelo monitoramento do processo pelo professor conforme o estágio de aprendizagem do estudante[367] e pelas atividades de apoio ofertadas pelo professor, que fazia perguntas norteadoras ou fornecia dicas[368].

A interação por meio do diálogo também foi estudada por pesquisadores da Universidade de Buenos Aires e do Hospital Universitário de Zurique[369]. O estudo revelou que, durante os processos de ensino e aprendizagem desenvolvidos por meio de diálogo (perguntas e respostas) entre duplas de professores e estudantes, a atividade cerebral de um participante aumentava proporcionalmente à do outro, o que se relacionou com uma aprendizagem mais efetiva. Nesse caso, o diálogo parece favorecer a recuperação de memórias prévias e, em estudantes que ainda não as possuem, ele parece estimular o processamento de novas informações[370].

A Neurociência, portanto, tem revelado que atividades de ensino[371] e aprendizagem participativas, que envolvam interação social ativa entre professor e estudantes, entre pares de estudantes e do grupo como um todo, têm maior eficácia pedagógica do que atividades passivas. Essas atividades podem ser discussões em grupos, aprendizagem colaborativa, diálogo com o professor ou com os colegas, entre outras. A razão parece ser a combinação entre o foco atencional e a motivação, relacionadas à sincronização cerebral, isto é, ao engajamento coletivo em relação a um mesmo objetivo ou interesse.

364 Bevilacqua, D. *et al.* (2018). Brain-to-brain synchrony and learning outcomes vary by student–teacher dynamics: Evidence from a real-world classroom electroencephalography study.

365 Liu, J. *et al.* (2019). Interplay between prior knowledge and communication mode on teaching effectiveness- Interpersonal neural synchronization as a neural marker.

366 Davidesco, I. *et al.* (2019). Brain-to-brain synchrony predicts long-term memory retention more accurately than individual brain measures.

367 Takeuchi, N. *et al.* (2017). Integration of teaching processes and learning assessment in the prefrontal cortex during a video game teaching–learning task.

368 Pan, Y. *et al.* (2020). Instructor-learner brain coupling discriminates between instructional approaches and predicts learning.

369 Holper, L. *et al.* (2013). The teaching and the learning brain: A cortical hemodynamic marker of teacher–student interactions in the Socratic dialog.
Battro, A. M. *et al.* (2013). The cognitive neuroscience of the teacher–student interaction.

370 Goldin, A. P. (2016). Meno, the whole experiment.

371 Lieberman, M. D. (2012). Education and the social brain.

A interação social sintoniza todos os envolvidos no processo educativo em direção ao objetivo comum, que é aprender.

Transformando o princípio 3 em ação

O cérebro humano é social[372]. Isso significa que manter vínculo com outras pessoas é uma necessidade básica dos seres humanos. Precisamos de interação social para aprender e prosperar, pois o cérebro humano não nasce pronto. O desenvolvimento humano não é predeterminado por um programa genético fixo ou linear[373]. Pelo contrário, o cérebro é altamente maleável e sujeito a alterações durante toda a vida. São exatamente as relações e experiências nos diferentes contextos sociais que, por meio da **neuroplasticidade**, vão impactando tanto a arquitetura quanto o funcionamento cerebral ao longo do desenvolvimento. O ser humano vai sendo moldado a partir da conexão com outros cérebros, dos relacionamentos afetivos, das trocas significativas, dos embates e desafios impostos pelo convívio social.

Segundo a Neurociência, o cérebro social é um mecanismo poderoso de aprendizagem. Quando estamos em grupo, o cérebro responde ativando mecanismos neurais que nos motivam a agir. Existem evidências científicas robustas que indicam que a interação social é importante catalisador da aprendizagem[374]. Contextos de sala de aula que são desenhados com o objetivo de potencializar as relações sociais favorecem a motivação[375], a percepção de autoeficácia[376], a criatividade[377], o pensamento crítico, e a capacidade de resolver problemas[378]. Além disso, as pesquisas indicam que, quando os estudantes têm oportunidades de participar ativa e equitativamente em atividades de aprendizagem colaborativa, eles experimentam sentimentos de bem-estar, satisfação ou até entusiasmo[379]. Diante disso, metodologias de ensino que promovem e valorizam a interação social podem aumentar significativamente o desempenho acadêmico[380], favorecendo que os estudantes se comuniquem, compartilhem e trabalhem colaborativamente para analisar problemas, explorar ideias e compreender conceitos, tornando o aprendizado mais social e atraente. A questão que se coloca é como podemos capitalizar os fatores sociais para ensinar melhor e fomentar nos estudantes o interesse e a motivação necessárias para um engajamento efetivo nos processos de aprendizagem.

372 Mercer, N. (2016). Education and the social brain: Linking language, thinking, teaching and learning.
373 Osher, D. *et al.* (2018). Drivers of human development: How relationships and context shape learning and development.
374 Meltzoff, A. N. *et al.* (2009). Foundations for a new science of learning.
375 Immordino-Yang, M., & Sylvan, L. (2010). Admiration for virtue: Neuroscientific perspectives on a motivating emotion.
376 Blazar, D., & Kraft, M. A. (2017). Teacher and teaching effects on students' attitudes and behaviors.
377 Xue, H. *et al.* (2018). Cooperation makes two less-creative individuals turn into a highly-creative pair.
378 Hurst, B. *et al.* (2013). The impact of social interaction on student learning.
379 Clark, I., & Dumas, G. (2015). Toward a neural basis for peer-interaction: What makes peer-learning tick?
380 Chandra, R. (2015). Collaborative learning for educational achievement.

Promova a aprendizagem colaborativa. No século XXI, a colaboração é identificada como uma habilidade fundamental, que se traduz na capacidade de trabalhar em grupos ou atuar em redes. As interações colaborativas são caracterizadas por objetivos compartilhados e um alto grau de negociação, interatividade e interdependência[381]. Propostas de aprendizagem colaborativa podem ser desenvolvidas com diferentes propósitos, em qualquer disciplina e com estudantes da pré-escola à faculdade[382]. Podem acontecer na sala de aula, *on-line*, em um laboratório ou no pátio da escola. Em situações de colaboração, o estudante é convocado a pensar criticamente e a confrontar a lógica de seu pensamento e a precisão de sua compreensão sobre o tema trabalhado. As atividades colaborativas permitem que ele contribua com a sua visão e também se aproprie da diversidade de respostas do grupo, ampliando a sua perspectiva sobre determinado problema. Ao ter de enfrentar diferenças de opinião ou interpretação, os estudantes precisam desenvolver flexibilidade, capacidade argumentativa e de comunicação. Com o suporte do grupo, é mais provável que os estudantes se arrisquem mais ao erro e experimentem novas maneiras de aprender. Além de favorecer o compartilhamento de referências, recursos e ideias, existem evidências na literatura de que a aprendizagem colaborativa promove habilidades de gerenciamento de tempo e amplia a responsabilização por conta do compromisso com o grupo[383].

Embora as pesquisas[384] indiquem que a aprendizagem cooperativa tem efeitos poderosos no aprendizado, esses benefícios não são automáticos. Planejar uma atividade de aprendizagem colaborativa bem-sucedida não é uma tarefa trivial[385]. É necessário um *design* cuidadoso que assegure alguns aspectos básicos. Por exemplo, os professores precisam garantir que as tarefas de aprendizagem distribuídas aos grupos (problemas, projetos, etc.) sejam de natureza complexa e, portanto, não possam ser facilmente realizadas por apenas um estudante. Devem ser tarefas abertas, baseadas em descobertas, para as quais não haja uma única resposta ou solução, de forma que os participantes tenham de interagir e compartilhar recursos (conhecimentos, estratégias de solução) para ter êxito na tarefa. Quanto maior a complexidade da tarefa, maior a probabilidade de o aprendizado colaborativo levar a melhores resultados[386]. Isso sugere também que os profissionais não devem fazer uma escolha exclusiva entre a aprendizagem colaborativa e a individual, mas que eles devem variar a abordagem, dependendo da complexidade das tarefas a serem desenvolvidas.

381 Lai, E. R. (2011). Collaboration: A literature review.

382 Slavin, R. E. (2014). Cooperative learning and academic achievement: Why does groupwork work?

383 Chandra, R. (2015). Collaborative learning for educational achievement.

384 Warfa, A.-R. M. (2015). Using cooperative learning to teach chemistry: A meta-analytic review.
Kyndt, E. *et al.* (2013). A meta-analysis of the effects of face-to-face cooperative learning. Do recent studies falsify or verify earlier findings?

385 Willey, K., & Gardner, A. (2012). Collaborative learning frameworks to promote a positive learning culture.

386 Kirschner, F. *et al.* (2009). A cognitive load approach to collaborative learning: United brains for complex tasks.

Um ponto primordial levantado pelos pesquisadores[387] é que, embora os professores reconheçam a importância de desenvolver as habilidades colaborativas dos estudantes, na prática, o foco deles tende a recair na avaliação do desempenho na tarefa e do conhecimento adquirido. Quando os professores não prestam muita atenção e não valorizam os aspectos colaborativos, a tendência é que os estudantes negligenciem a importância da interação social. Para alcançar resultados efetivos, os professores devem estruturar as tarefas de maneira a contemplar os objetivos da colaboração, especificando regras básicas para a interação e oferecendo oportunidades para que os estudantes façam uma autoavaliação das próprias habilidades sociais e colaborativas[388]. O *feedback* constante do professor também é fundamental[389]. Ele deve monitorar e regular as interações dos estudantes, circulando ativamente entre os grupos, confirmando ou não se estão avançando na melhor direção para o alcance dos objetivos.

Mantenha altas expectativas. Todo mundo que já frequentou uma sala de aula sabe, por experiência própria, como um professor pode transformar a vivência de aprendizagem em algo memorável ou numa experiência que fazemos questão de esquecer. Com certeza, o vínculo com o professor e a postura deste em sala de aula são importantes aspectos da dimensão social dos processos de ensino e aprendizagem. Especialmente a respeito do tema das expectativas do professor em relação aos estudantes, um amplo conjunto de pesquisas foi desenvolvido nos últimos 50 anos a partir do estudo[390] inaugural, realizado por pesquisadores da Universidade Harvard, que ficou conhecido como "Efeito Pigmaleão". A tese central dos pesquisadores, confirmada por estudos posteriores[391], é de que a expectativa do professor pode afetar os resultados sociopsicológicos, comportamentais e de desempenho dos estudantes. As evidências científicas sugerem que os professores constroem as expectativas sobre os estudantes com base no desempenho acadêmico anterior, no *status* socioeconômico, na etnia, no gênero, na aparência física e em outras características pessoais. Tais expectativas influenciam os padrões de interação professor- estudante e as oportunidades de aprendizagem oferecidas a cada um dos estudantes[392]. Quando os professores nutrem altas expectativas em relação aos estudantes, eles acreditam que todos podem ter e terão sucesso e, portanto, estabelecem metas desafiadoras, oferecem atividades de alto nível para o desenvolvimento de todos, fornecem um *feedback* que é motivador e projetado para aumentar ainda

387 Le, H. *et al.* (2018). Collaborative learning practices: Teacher and student perceived obstacles to effective student collaboration.

388 Falcione, S. *et al.* (2019). Emergence of different perspectives of success in collaborative learning.

389 Lai, E. R. (2011). Collaboration: A literature review.

390 Rosenthal, R., & Jacobson, L. (1968). *Pygmalion in the classroom: Teacher expectation and pupils' intellectual development.*

391 Hornstra, L. *et al.* (2018). Teacher expectation effects on need-supportive teaching, student motivation, and engagement: A self-determination perspective.
Li, Z., & Rubie-Davies, C. M. (2017). Teachers matter: Expectancy effects in Chinese university English-as-a-foreign-language classrooms.

392 Wang, S. *et al.* (2018). A systematic review of the teacher expectation literature over the past 30 years.

mais o aprendizado e comemoram o progresso com seus estudantes[393]. Pesquisas[394] sobre intervenções na formação inicial e continuada de professores, desenvolvidas com o objetivo de ampliar a conscientização do professor sobre o impacto das suas expectativas em relação aos estudantes, indicam efeitos positivos. Ao compreender que suas expectativas podem influenciar a forma como seus estudantes se veem e, também, a perspectiva deles sobre onde acreditam que podem chegar, os professores podem ser mais cautelosos na interação na sala de aula, a fim de oferecer oportunidades iguais de aprendizado e criar um ambiente positivo para todos os estudantes[395]. Especialmente no Brasil é importante que os professores aprendam a evitar os efeitos negativos das baixas expectativas. Dados dos questionários dos professores do Sistema de Avaliação da Educação Básica (Saeb) revelam que as baixas expectativas dos professores da escola pública começam muito cedo: apenas 16,3% dos professores do 5º ano do ensino fundamental acreditam que seus estudantes irão para a universidade[396]. É necessário oferecer oportunidade, nos cursos de formação, para os professores aprenderem a lidar com as baixas expectativas e a encontrar caminhos para superá-las. Esse é um importante passo para que a Educação, no lugar de perpetuar a desigualdade social, possa ser uma via real de oportunidades equitativas para todos os estudantes.

Desenvolva aulas dialogadas. O modelo de aula expositiva tem sido duramente criticado. A crítica é pertinente e está pautada no padrão passivo de interação professor-estudante que se estabelece. No entanto, não precisamos "jogar o bebê fora junto com a água da banheira". Momentos de aula para apresentação de conceitos podem ser importantes. A forma como a aula é desenvolvida é que precisa ser transformada. Primeiro, ela deve ser pautada no diálogo e no compromisso de envolver ativamente o estudante na construção do conhecimento[397]. Além disso, a aula dialogada não pode ser a única estratégia didática do professor. Ela deve estar articulada com outras metodologias ativas que coloquem o estudante no centro do processo educativo. O que define a aula dialogada é o compromisso do professor de não apenas ensinar aos estudantes um novo conceito, mas também ensinar a raciocinar com ideias, a interrogar as alegações dos outros e a

393 Rubie-Davies, C., & Rosenthal, R. (2016). Intervening in teachers' expectations: A random effects meta-analytic approach to examining the effectiveness of an intervention.

394 De Boer, H. *et al.* (2018). The effects of teacher expectation interventions on teachers' expectations and student achievement: Narrative review and meta-analysis.
Rubie-Davies, C. *et al.* (2015). A teacher expectation intervention: Modelling the practices of high expectation teachers.
Jones, J. N. *et al.* (2012). The Kalamazoo promise and perceived changes in teacher beliefs, expectations, and behaviors.
Timperley, H. S., & Phillips, G. (2003). Changing and sustaining teachers' expectations through professional development in literacy.

395 Wang, S. *et al.* (2018). A systematic review of the teacher expectation literature over the past 30 years.

396 Interdisciplinaridade e evidências no debate Educacional - IEDE (2019). Como estão as escolas públicas do Brasil?

397 Howe, C., & Abedi, M. (2013). Classroom dialogue: A systematic review across four decades of research.

justificar as próprias posições[398]. Pesquisas[399] revelam que a qualidade do diálogo na sala de aula está positivamente associada ao desempenho acadêmico dos estudantes e a uma compreensão mais aprofundada de conceitos complexos. Também há evidências científicas[400] de que estudantes com autoconceito mais baixo se beneficiam de um ambiente de comunicação que acolhe e incentiva todos a se expressarem e elaborarem os próprios pensamentos e ideias.

Os pesquisadores destacam que, à medida que os estudantes praticam novos padrões de pensamento e formas de expressão ao se envolverem em diálogos constantes com o professor e colegas, eles gradualmente internalizam essa forma de dialogar até que ela se torne parte de suas mentalidades[401]. Isso significa que, uma vez ocorrida a internalização, a tendência é que os estudantes mantenham a capacidade de reproduzir essas habilidades de argumentação e comunicação em outros contextos. Essa conquista é de grande valor, pois tão importante quanto a construção de um arquivo pessoal de conhecimentos é a capacidade de raciocinar, processar, interpretar e, finalmente, criar algo novo com os próprios conhecimentos[402]. No entanto, esse não é um processo que os estudantes desenvolvem espontaneamente e de forma autônoma. Para que haja êxito no desenvolvimento de aulas dialogadas, o professor precisa explicitar, de forma clara, que tipo de participação espera dos estudantes, e valorizar suas reflexões, comentários e dúvidas com *feedbacks* positivos que fortaleçam a confiança dos estudantes na sua capacidade reflexiva e comunicativa. Ele precisa garantir um clima de sala de aula receptivo e de apoio mútuo entre os estudantes[403]. Nessa direção, é importante que os professores tenham mais acesso às evidências sobre os benefícios concretos da aula dialogada e sobre as estratégias para modelar as interações com o propósito de usar o diálogo como catalisador dos processos de aprendizagem[404]. Pesquisas[405] indicam que é importante que os professores aprendam habilidades específicas de comunicação projetadas para desafiar o pensamento cognitivo e metacognitivo dos estudantes. Ao usarem uma linguagem mais desafiadora, eles conseguem criar uma

398 Goldin, A. P. *et al.* (2017). Producing or reproducing reasoning? Socratic dialog is very effective, but only for a few.

399 Muhonen, H. *et al.* (2018). Quality of educational dialogue and association with student's academic performance.
Topping, K. J., & Trickey, S. (2007). Collaborative philosophical inquiry for school children: Cognitive gains at a 2-year follow-up.

400 Pehmer, A.-K. *et al.* (2015). How teacher professional development regarding classroom dialogue affects students' higher-order learning.

401 Gillies, R. M. (2019). Promoting academically productive student dialogue during collaborative learning.

402 Resnick, L. B., & Schantz, F. (2015). Re-thinking intelligence: Schools that build the mind.

403 Reznitskaya, A. *et al.* (2009). Collaborative reasoning: A dialogic approach to group discussions.

404 Muhonen, H. *et al.* (2018) Quality of educational dialogue and association with students' academic performance.

405 Pehmer, A.-K. *et al.* (2015). How teacher professional development regarding classroom dialogue affects students' higher-order learning.
Gillies, R. M. (2004). The effects of communication training on teachers' and students' verbal behaviours during cooperative learning.

atmosfera dialógica e dinâmica na sala de aula, o que promove uma participação produtiva dos estudantes.

Favoreça a sintonia com os estudantes. Nas últimas décadas, um crescente corpo da pesquisa educacional analisou o sentimento de pertencimento dos estudantes em relação à escola. Foi demonstrado que esse sentimento está positivamente associado ao desempenho escolar, à motivação e ao empenho nos estudos e, negativamente, à delinquência e ao abandono escolar[406]. O sentimento de pertencimento começa na sala de aula, a partir da sintonia que o professor estabelece entre ele e a turma. A Neurociência confirma que, quando o professor consegue envolver os estudantes conjuntamente, recrutando a sua atenção e favorecendo o engajamento coletivo sobre um mesmo objetivo, acontece uma sincronização da atividade cerebral dos estudantes, o que promove melhor retenção da informação[407]. O gerenciamento das emoções pelo professor é um elemento-chave para o alcance da sintonia da turma[408]. O tom de voz do professor, a forma como responde às perguntas e reage aos comportamentos dos estudantes configuram o clima da sala de aula e estabelecem as bases para que surja o sentimento de pertencimento. As emoções e os processos de constituição de sentido sobre o que acontece na turma vão favorecendo ou não a sintonia do grupo. Outro ponto crucial é como o professor organiza a arquitetura da sala de aula para promover um "fluxo de ensino"[409] que promova melhor experiência de aprendizagem. Pesquisas da Neurociência[410] indicam que a interação face a face desempenha papel fundamental para engajamento, proatividade, produtividade, criatividade e felicidade – e, ainda, que esse tipo de interação favorece maior sincronização cerebral do que as interações indiretas sem contato visual, por exemplo[411]. Nesse sentido, o *design* tradicional da sala de aula, com as carteiras organizadas uma atrás da outra, vai na contramão do que as pesquisas estão apontando. Para que haja uma interação social mais efetiva, é indicado uma disposição das carteiras que favoreça a troca, a participação, o compartilhamento e, consequentemente, maior sintonia entre os estudantes e o professor[412].

406 Trujillo, G., & Tanner, K. D. (2014). Considering the role of affect in learning: Monitoring students' self-efficacy, sense of belonging, and science identity.
Van Houtte, M., & Van Maele, D. (2012). Students' sense of belonging in technical/vocational schools versus academic schools: The mediating role of faculty trust in students.

407 Davidesco, I. *et al.* (2019). Brain-to-brain synchrony predicts long-term memory retention more accurately than individual brain measures.
Pan, Y. *et al.* (2020). Instructor-learner brain coupling discriminates between instructional approaches and predicts learning.

408 Kent, A. (2013). Synchronization as a classroom dynamic: A practitioner's perspective.

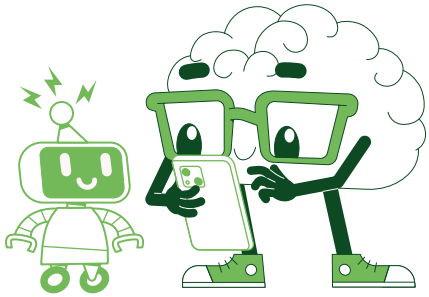
409 Rodriguez, V. (2013). The human nervous system: A framework for teaching and the teaching brain.

410 Yano, K. (2013). The science of human interaction and teaching.

411 Jiang, J. *et al.* (2012). Neural synchronization during face-to-face communication.

412 Park, E., & Choi, B. K. (2014). Transformation of classroom spaces: Traditional versus active learning classroom in colleges.

6.4 O USO DA TECNOLOGIA INFLUENCIA O PROCESSAMENTO E O ARMAZENAMENTO DAS INFORMAÇÕES



O ser humano cria a tecnologia. E a tecnologia molda o ser humano[413]. Ao longo da evolução, as alterações da estrutura e do funcionamento do **cérebro** possibilitaram a criação de recursos tecnológicos como ferramentas primitivas, sistemas aritméticos, linguagem falada e escrita[414] que, por sua vez, levaram a mudanças no cérebro humano. Três décadas atrás, o cenário tecnológico sofreu uma grande revolução com o acesso à internet e a chegada das novas tecnologias de informação e comunicação (TICs) que transformaram profundamente os comportamentos dos seres humanos. Embora ainda seja necessário avançar mais nas pesquisas, a Neurociência já vem revelando as mudanças comportamentais e cerebrais produzidas pelo uso das novas tecnologias, que impactam aspectos da aprendizagem, tais como o processamento e armazenamento de informações, a atenção e a cognição social[415].

Estudos de neuroimagem[416], realizados numa parceria entre pesquisadores da China e dos Estados Unidos, mostraram que o uso da internet leva a uma maior eficiência na busca de informações, o que se correlaciona com alterações na **mielinização** de feixes de **axônios** que interconectam os **lobos frontal**, **parietal**, **temporal** e **occipital**. Todavia, constatou-se também que os participantes, ao tentarem lembrar de informações adquiridas por meio de busca na internet, apresentaram menor ativação cerebral, tanto em regiões envolvidas no processamento da informação, quanto naquelas imprescindíveis para a formação da memória de longa duração, o que dificultou a eles lembrar a informação posteriormente.

Resultados de uma pesquisa da Universidade da Califórnia[417] indicam que a internet se tornou uma forma de memória transitória externa. A pesquisa sugere que os processos da memória humana estão se adaptando ao advento das novas TICs e que os seres humanos estão se tornando cada vez mais simbióticos com as ferramentas digitais. Com base em

413 Osiurak, F. *et al.* (2018). How our cognition shapes and is shaped by technology: A common framework for understanding human tool-use interactions in the past, present, and future.

414 Loh, K. K., & Kanai, R. (2016). How has the internet reshaped human cognition?

415 Firth, J. *et al.* (2019). The "online brain": How the Internet may be changing our cognition.

416 Dong, G. *et al.* (2017) Short-term internet-search training is associated with increased fractional anisotropy in the superior longitudinal fasciculus in the parietal lobe.
Dong, G., & Potenza, M. N. (2015). Behavioural and brain responses related to Internet search and memory.

417 Sparrow, B. *et al.* (2011). Google effects on memory: Cognitive consequences of having information at our fingertips.

uma série de experimentos, foi constatado que as pessoas estão começando a confiar na internet como fonte para recuperação de conhecimento e que esse comportamento pode estar reduzindo a necessidade de processamento e registro de informações na memória. Em outro estudo[418], relacionado aos efeitos da tecnologia digital sobre a memória, foi constatado que fotografar objetos em um museu, em comparação com apenas observá-los atentamente, resultou em maior dificuldade para lembrar deles, de suas características e de sua localização no museu. Ao saber que, posteriormente, as informações dos objetos fotografados poderiam ser facilmente recuperadas através das fotos, os participantes esforçaram-se menos no processamento e no registro deles na memória.

Confiar na tecnologia como fonte de memória externa pode resultar em esforços reduzidos de aprendizado e levar a um processamento superficial das informações[419]. Na internet, isso pode ser atribuído à presença de ambientes com hipertexto, que levam ao acúmulo de telas e à apresentação não linear da informação, gerando uma sobrecarga cognitiva[420] e dificultando o processamento profundo, mais elaborado da informação.

Para a pesquisadora Naomi Baron[421], linguista americana, o formato das tecnologias digitais nos leva a abordar o texto com uma mentalidade diferente daquela com a qual a maioria de nós foi treinada para usar durante a leitura impressa. Ela sugere que esse comportamento de ler e acessar informações, de maneira rápida e superficial, pode se estender também para propósitos de leitura que exigem concentração e imersão.

De acordo com Marianne Wolf, neurocientista e pesquisadora na área de dislexia da Universidade da Califórnia em Los Angeles (UCLA), o processamento superficial de informações pode dificultar a leitura profunda (*deep reading*), habilidade relacionada à reorganização do **circuito neural** de leitura, que requer, entre outros processos cognitivos, atenção, evocação de conhecimentos prévios, raciocínio inferencial, análise crítica, *insight* e reflexão[422].

418 Henkel, L. A. (2014). Point-and-shoot memories: The influence of taking photos on memory for a museum tour.
419 Loh, K. K., & Kanai, R. (2016). How has the internet reshaped human cognition?
420 DeStefano, D., & LeFevre, J.-A. (2007). Cognitive load in hypertext reading: A review.
421 Baron, N. S. (2017). Reading in a digital age.
422 Wolf, M., & Barzillai, M. (2009). The importance of "deep reading" in a digital culture.

À medida que as tecnologias digitais se tornam cada vez mais integradas à vida cotidiana, a internet está se tornando altamente eficaz em capturar a nossa atenção e mobilizar comportamentos multitarefa, cujo impacto é particularmente pronunciado no início da adolescência[423]. Pesquisas[424] indicam que o comportamento multitarefa, que inclui também o uso das mídias sociais em contextos de aprendizagem, pode interferir na capacidade dos estudantes para o processamento cognitivo e afetar negativamente o desempenho acadêmico. Tendo em vista a multiplicidade de estudos sobre essa temática, são apresentados, neste capítulo, dois princípios[425] para esclarecer a importância da atenção e os impactos do comportamento multitarefa no processo de aprendizagem.



O comportamento multitarefa pode interferir na capacidade dos estudantes para o processamento cognitivo e afetar negativamente o desempenho acadêmico.

Outro aspecto que vem sendo estudado pela Neurociência é a relação entre a cognição social e a tecnologia, analisando-se o efeito desta no funcionamento cerebral. As diversas mídias sociais possibilitam compartilhar, comparar e fornecer *feedback* relativos a informações, mensagens, ideias e opiniões[426]. Estudos de neuroimagem têm indicado que os circuitos neurais envolvidos com a cognição social *off-line* – também são recrutados pelas interações sociais *on-line*. Assim, tecnologias educacionais que favoreçam os estudantes a se comunicarem, a compartilharem opiniões e a trabalharem de forma colaborativa – em qualquer lugar e a qualquer momento - para analisar problemas, explorar ideias e compreender conceitos podem maximizar o potencial de aprendizagem individual por meio da interação social[427].

Entretanto existem estudos[428] apontando os efeitos negativos das mídias sociais, principalmente em crianças e adolescentes cujas áreas cerebrais relacionadas ao **sistema de recompensa** e ao controle inibitório ainda estão em desenvolvimento[429]. Entre eles, estão o *cyberbullying*, o comprometimento da autoestima e da saúde mental, a privação de

423 Baumgartener, S. E. *et al.* (2018). The relationship between media multitasking and attention problems in adolescents: Results of two longitudinal studies.
Crone, E. A., & Konijn, E. A. (2018). Media use and brain development during adolescence.

424 Cain, M. S. *et al.* (2016). Media multitasking in adolescence.
Demirbilek, M., & Talan, T. (2018). The effect of social media multitasking on classroom performance.

425 Princípio 7: Atenção é a porta de entrada para a aprendizagem.
Princípio 8: O cérebro não é multitarefa.

426 Meshi, D. *et al.* (2015). The emerging neuroscience of social media.

427 Falk, E. B., & Bassett, D. S. (2017). Brain and social networks: Fundamental building blocks of human experience.

428 Yamamoto, J., & Ananou, S. (2015). Humanity in the digital age: Cognitive, social, emotional, and ethical implications.
Firth, J. *et al.* (2019). The "online brain": How the Internet may be changing our cognition.

429 Giedd, J. N. (2012). The digital revolution and adolescent brain evolution.

sono, a diminuição da empatia pela falta de interações face a face, o excesso de uso e/ou dependência das mídias sociais, o que restringe o tempo dedicado às interações sociais no "mundo real". Todos esses aspectos podem vir a interferir no desenvolvimento das habilidades sociais, emocionais e cognitivas do estudante com reflexo no seu processo de aprendizagem.

As possibilidades das TICs na educação são diversas e crescem a cada dia. A pesquisa em Neurociência a respeito dessa temática ainda está em um estágio inicial. Por isso, as evidências científicas relativas à influência das diversas tecnologias sobre as **funções mentais** imprescindíveis para a aprendizagem, como emoção, motivação, atenção, memória, e **funções executivas** ainda geram controvérsias[430]. O acesso fácil e rápido a uma grande variedade de informações e os estímulos constantes proporcionados pela conectividade ainda estão em debate no contexto científico. A sugestão dos pesquisadores[431] é que precisa haver mais orientação para o uso da tecnologia em benefício da aprendizagem. A educação precisa desenvolver nos estudantes as habilidades de concentração, autocontrole, pensamento crítico, criatividade e interação social saudável para que eles possam fazer o melhor uso da tecnologia para a aprendizagem. Eles precisam ser instruídos em relação a isso para que não haja prejuízo relacionados às suas funções cognitivas, saúde mental e interações sociais em função do uso excessivo ou mal direcionado da tecnologia disponível[432].

Transformando o princípio 4 em ação

Embora a revolução digital já venha ocorrendo há muitos anos, foi na última década que a Educação se tornou mais digital, à medida que as escolas buscaram incorporar as novas tecnologias aos processos de ensino e aprendizagem. Boa parte das escolas, principalmente da rede privada, vem abrindo as portas para *smartphones*, *laptops* e *tablets*, como ferramenta pedagógica, e, assim, crianças e jovens passam cada vez mais tempo usando as telas durante as aulas. A pergunta que se coloca é: qual é a real contribuição da tecnologia para o processo de aprendizagem? Esse é o melhor caminho para os estudantes? A tecnologia é uma realidade na vida contemporânea e não é mais possível dar marcha à ré. Ela chegou para ficar. A questão central é identificar os benefícios e mapear os prejuízos, de forma a encontrar maneiras de potencializar aquilo de bom que a tecnologia oferece e minimizar seus efeitos prejudiciais à aprendizagem.

430 Wilmer, H. H. *et al.* (2017). Smartphones and cognition: A review of research exploring the links between mobile technology habits and cognitive functioning.
Choudhury, S., & McKinney, K. A. (2013). Digital media, the developing brain and the interpretive plasticity of neuroplasticity.
Lodge, J. M., & Harrison, W. J. (2019). The role of attention in learning in the digital age.

431 Hoehe, M. R., & Thibaut, F. (2020). Going digital: How technology use may influence human brains and behavior.

432 Small, G. W. *et al.* (2020). Brain health consequences of digital technology use.

Os experientes professores americanos Joe Clement e Matt Miles[433] observaram uma mudança nos padrões de aprendizagem em salas de aula na última década: uma diferença significativa na capacidade de as crianças e os jovens concentrarem-se, de interagirem socialmente e de pensarem criticamente. Muitos professores fazem eco às palavras de Clement e Miles ao sentirem-se impotentes para conter as distrações provocadas pelos *smartphones*, diminuir os comportamentos multitarefa e exigir esforço e persistência a uma geração cada vez mais imediatista. Estudo[434] desenvolvido na Universidade Zayed, nos Emirados Árabes Unidos, aponta que o excesso de tecnologia pode levar a um possível declínio no desempenho em leitura e escrita. Outros pesquisadores[435] corroboram essa reflexão ao afirmarem que a revolução digital vem mudando a maneira como os estudantes leem, escrevem e acessam informações.

Mas esse é só um lado da história. Vários estudos destacam também aspectos positivos da tecnologia para os processos de ensino e aprendizagem[436]. A tecnologia na sala de aula tem ajudado os professores a personalizar o ensino (plataformas adaptativas), ampliado o horizonte dos estudantes por meio da diversidade de estímulos (imagens, *podcasts*, aplicativos), promovido sua autonomia na busca pela informação (Google), aproximado os componentes curriculares da vida real (Google Earth, vídeos), e envolvido os estudantes em projetos (educação *maker*, *fab labs*, robótica) despertando maior interesse pela aprendizagem. De fato, as novas tecnologias possibilitaram que a inovação tivesse lugar na escola, tornando possíveis novos ambientes e metodologias de ensino.

O problema é que ainda não se sabe em que medida essa inovação está se traduzindo, de forma efetiva, em melhoria da aprendizagem. Relatórios como o elaborado pela OCDE (2015)[437] mostram resultados que indicam que a promessa tecnológica no campo da Educação ainda não foi alcançada[438]. As evidências científicas são o porto seguro que pode ajudar educadores a acertarem o passo e escolherem a melhor forma de utilizar a tecnologia em benefício da aprendizagem. Tendo em vista as evidências que a Neurociência já nos fornece e que foram pontuadas anteriormente, serão apresentadas algumas indicações que podem ajudar no alcance desse objetivo.

433 Clement, J., & Miles, M. (2017). *Screen schooled: Two veteran teachers expose how technology overuse is making our kids dumber.*

434 Alhumaid, K. (2019). Four ways technology has negatively changed education.

435 Baron, N. S. (2017). Reading in a digital age.
Wolf, M., & Barzillai, M. (2009). The importance of "deep reading" in a digital culture.
Greenfield, P. M. (2009). Technology and informal education: What is taught, what is learned.

436 Harper, B., & Milman, N. B. (2016). One-to-one technology in K–12 classrooms: A review of the literature from 2004 through 2014.

437 OCDE. (2015). *Students, computers and learning: Making the connection.*

438 Lorenzo, M. F., & Trujillo, C. M. (2018). Cognitive processes, ICT, and education: A critical analysis.

Ofereça suporte e orientação. Use a tecnologia em favor da aprendizagem. Os estudantes nativos digitais parecem dominar plenamente as ferramentas tecnológicas e navegam com muito mais facilidade pelo mundo digital do que boa parte dos seus professores, que são de outra geração. No entanto, incorremos em erro ao pensar que, ao dominar melhor as novas tecnologias, os estudantes estejam preparados para lidar com os desafios cognitivos que elas impõem[439]. A aprendizagem bem-sucedida é resultado de um conjunto altamente especializado de processos cognitivos que nos permite selecionar, processar, armazenar e recuperar informações com eficiência[440]. As bases neurais desses processos são inatas, mas eles só se desenvolvem por meio da interação. No ambiente escolar, o professor é a peça-chave para promoção desses processos cognitivos necessários à aprendizagem. A seleção de informações *on-line* impõe, pelo menos, dois grandes desafios: o excesso e a confiabilidade. É preciso orientar o estudante sobre como utilizar estratégias de seleção e como se relacionar com as *fake news.* Assim, ele poderá melhorar a navegabilidade em ambientes *on-line* de hipertexto por meio de estratégias de automonitoramento. O sucesso no processamento e armazenamento das informações depende da qualidade das operações cognitivas mobilizadas. As atividades e orientações fornecidas pelo professor devem ser desenhadas com o objetivo de levar o estudante a avançar para além da primeira informação encontrada, buscar múltiplas respostas, aprofundar a reflexão, considerar e avaliar diferentes perspectivas, estabelecer relações, comparar ideias, imaginar possibilidades. É por meio de um posicionamento proativo que o estudante poderá explorar, de forma eficaz, todo o potencial da *web* e ir além de um processamento superficial das informações.

Desenvolva a leitura profunda (*deep reading*). Em um ambiente cada vez mais digital, é provável que os leitores gradualmente passem mais tempo lendo nas diferentes telas do que em material impresso em papel. As pesquisas no campo da Neurociência apresentadas anteriormente indicam que a sobrecarga cognitiva gerada pelos ambientes da internet pode levar ao processamento superficial de informações. Outras pesquisas revelam que os estudantes apresentam escore mais baixo de compreensão de texto na leitura digital do que na leitura impressa[441] e respondem melhor às perguntas abstratas, que exigem raciocínio inferencial, quando se dedicam à leitura impressa[442]. O que lemos e quão profundamente lemos molda o cérebro, mas o leitor experiente raramente se desenvolve sem orientação e instrução[443]. Entra aqui o importante papel da Educação.

439 Kirschner, P. A., & Bruyckere, P. D. (2017). The myths of the digital native and the multitasker.

440 Loh, K. K., & Kanai, R. (2016). How has the internet reshaped human cognition?

441 Ackerman, R., & Goldsmith, M. (2011). Metacognitive regulation of text learning: On screen versus on paper.

442 Kaufman, G. F., & Flanagan, M. (2016). High-low split: Divergent cognitive construal levels triggered by digital and nondigital platforms.

443 Wolf, M., & Barzillai, M. (2009). The importance of "deep reading" in a digital culture.

É preciso que os estudantes utilizem as estratégias cognitivas que permitem uma leitura aprofundada, não apenas nos textos impressos, mas também nas telas.

Pesquisas[444] indicam que, por causa da limitação de tamanho de alguns dispositivos móveis e dos desafios do ambiente da internet, o texto impresso continua sendo importante ferramenta para o desenvolvimento tanto das habilidades básicas de leitura, como também das mais complexas, principalmente no caso de crianças em idade escolar que ainda estão desenvolvendo habilidades de automonitoramento. Em relação aos adolescentes e jovens, é fundamental promover a conscientização sobre como eles leem na tela, por meio do desenvolvimento da metacognição. O professor pode mediar a leitura ajudando o estudante a pensar sobre o quanto entendeu do texto, o quanto se concentrou nele, se o analisou criticamente, se o correlacionou com outras informações, se fez inferências. O professor também pode estimular ações, como tomar notas e realçar partes do texto durante a leitura, estratégias que são comuns no ambiente impresso, mas pouco utilizadas quando as pessoas leem documentos eletrônicos. A questão aqui é garantir que os adolescentes, acostumados a leituras rápidas e superficiais, possam exercitar a concentração e a imersão no texto, de forma a se beneficiarem dos processos cognitivos que a leitura profunda proporciona.

Amplie a motivação pela leitura. Em um contexto de inovações tecnológicas constantes, é fundamental utilizar estratégias para conseguir desenvolver e manter o interesse dos estudantes pela leitura e pelos livros, sejam eles digitais ou impressos, pois as habilidades de leitura só se desenvolvem com a prática. Pesquisa[445] realizada com uma amostra de crianças australianas de 8 a 11 anos de idade revelou que a frequência de leitura diminuía sistematicamente quando elas tinham acesso a uma maior variedade de dispositivos móveis. Apesar do *slogan* "aprender para o futuro" ser frequentemente associado ao aprendizado de habilidades digitais e tecnológicas, as evidências científicas nos dão boas razões para acreditar que, paralela a essa tarefa, a escola tem de investir esforços redobrados na motivação dos estudantes para a leitura e, principalmente, na ampliação das horas de leitura profunda. Ler com profundidade é condição essencial, não apenas para uma navegação mais produtiva na *web* e maior domínio das novas tecnologias, mas, principalmente, para a garantia de uma aprendizagem plena por toda a vida. É crucial que crianças e jovens adquiram o gosto pela leitura e desenvolvam as habilidades para ler de forma profunda na era digital.

444 Delgado, P. *et al.* (2018). Don't throw away your printed books: A meta-analysis on the effects of reading media on reading comprehension.

445 Merga, M. K., & Roni, S. M. (2017). The influence of access to eReaders, computers and mobile phones on children's book reading frequency.

Promova a autoria. A pesquisa[446] *TIC kids online Brasil*, realizada desde 2012, revela que crianças e adolescentes passam cada vez mais tempo usando dispositivos digitais de vários tipos, realidade que se repete em outros países. A pesquisa da Common Sense Media[447], por sua vez, detalhou os hábitos e as preferências de crianças e jovens americanos de 8 a 18 anos e mostrou que, na maior parte do tempo dedicado às telas, eles estão envolvidos em atividades de entretenimento (músicas, vídeos, *games*), socialização (mídias sociais, *chats*) e busca de informações (navegação na internet). Uma das conclusões da pesquisa é que os adolescentes usam apenas 3% desse tempo dedicado à tecnologia explorarando as possibilidades oferecidas pela mídia digital para criar conteúdo por conta própria. A tecnologia pode ser uma ferramenta extraordinária de protagonismo e expressão de autoria. O professor pode contribuir para que os estudantes não apenas consumam, mas também criem conteúdo digital. Atualmente, existem inúmeros aplicativos e ferramentas que permitem aos estudantes escrever, gravar, filmar, criar, projetar e codificar usando mídia digital. Ao estimular atividades que explorem as diferentes possibilidades ofertadas pelas novas tecnologias, o professor gera desafios e oportunidades para o desenvolvimento do pensamento crítico e da criatividade dos estudantes.

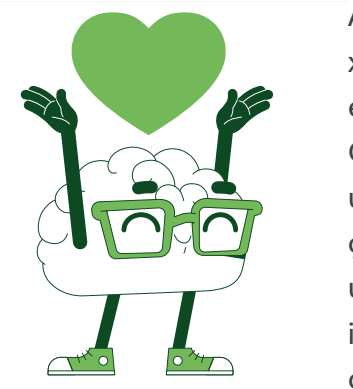


As novas tecnologias têm favorecido a personalização do ensino, a aprendizagem colaborativa e a autonomia dos estudantes na busca pela informação. Mas, sem orientação adequada, o uso da tecnologia pode levar ao comportamento multitarefa e ao processamento rápido e superficial das informações, comprometendo o aprendizado.

446 Comitê Gestor da Internet no Brasil - CGI.br. (2020). Pesquisa sobre o uso da internet por crianças e adolescentes no Brasil: TIC Kids Online Brasil 2019.

447 Common Sense. (2015). The Common Sense Media: Media use by tweens and teen.

6.5 A EMOÇÃO ORIENTA A APRENDIZAGEM



As pesquisas no campo da Neurociência colocaram em xeque a oposição entre cognição e emoção, revelando que essa dualidade não reflete a arquitetura do **cérebro**[448]. O funcionamento da mente humana não se caracteriza por uma batalha de forças opostas: razão deliberada *versus* emoção impulsiva e irracional[449]. Também não se trata apenas de uma influência mútua entre cognição e emoção, mas sim de interdependência entre esses processos, que atuam, de forma cooperativa, no cérebro[450]. Esse trabalho cooperativo nos permite gerenciar as interações cotidianas em contextos sociais e culturais específicos, ao longo da vida, possibilitando nossa melhor adaptação e bem-estar[451]. Emoção e cognição são processos inseparáveis, que resultam da atividade de **redes neurais** com conexões e influências recíprocas[452]. Do ponto de vista neurocientífico, é impossível construir memórias, realizar pensamentos complexos ou tomar decisões significativas sem emoção. As emoções constituem um aspecto crítico de *como*, *o quê* e *por quê* as pessoas pensam, lembram e aprendem[453].

Técnicas de neuroimagem e psicométricas[454] revelaram que regiões cerebrais anteriormente consideradas puramente "emocionais" (por exemplo, **amígdala**) ou "cognitivas" (por exemplo, **córtex pré-frontal**) interagem, estreitamente e de forma dinâmica, para tornar possível processos complexos, tais como aprendizagem. As emoções, entendidas também como um "filtro afetivo" das experiências vividas, são geradas pela atividade conjunta de redes neurais "emocionais" e "cognitivas". Essa atividade cerebral permite ao indivíduo avaliar a relevância e constituir sentido sobre uma experiência vivenciada, por exemplo, sobre uma aula de Matemática. Para fazer essa avaliação, o cérebro do estudante considera as **representações mentais** já armazenadas, relacionadas a suas necessidades, desejos, metas, valores, bem-estar, relações sociais, percepção de si mesmo e da sua capacidade de lidar com a experiência (Figura 5).

448 Pessoa, L. (2008). On the relationship between emotion and cognition.
Lindquist, K. A., & Barrett, L. F. (2012). A functional architecture of the human brain: Emerging insights from the science of emotion.

449 Brosch, T. *et al.* (2013). The impact of emotion on perception, attention, memory, and decision-making.

450 Duncan, S., & Barrett, L. F. (2007). Affect is a form of cognition: A neurobiological analysis.

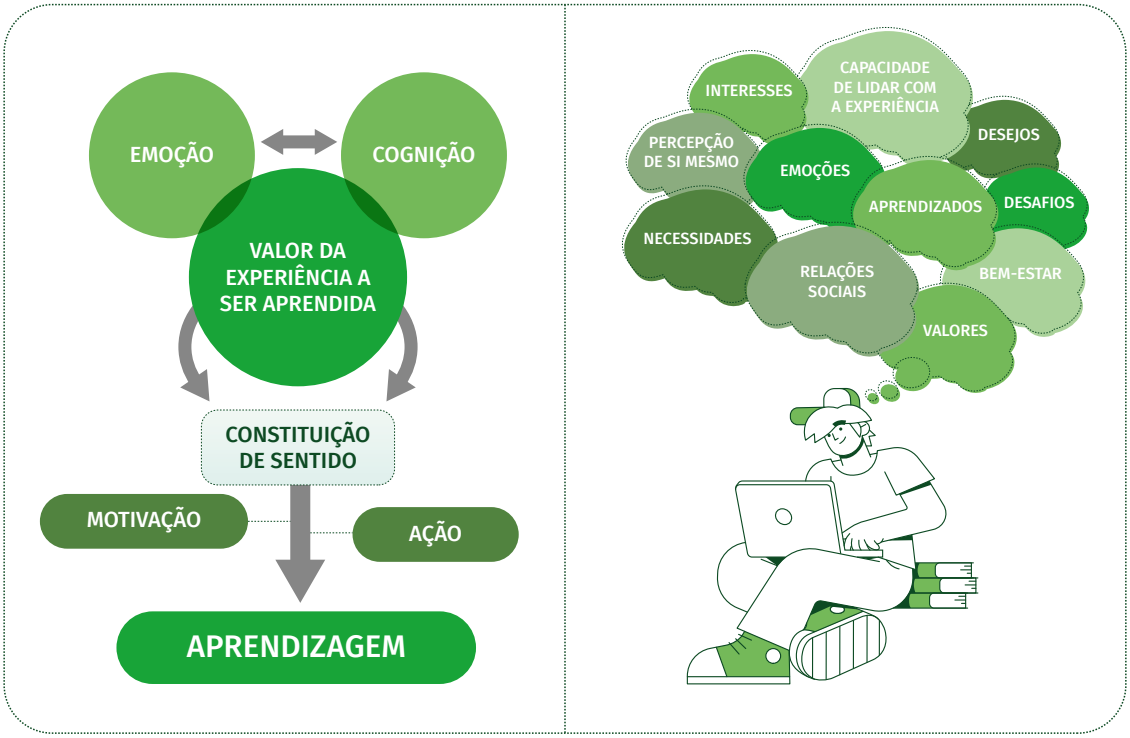
451 Immordino-Yang, M. H., & Damasio, A. (2007). We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education.
Immordino-Yang, M. H., & Gotlieb, R. (2017). Embodied brains, social minds, cultural meaning: Integrating neuroscientific and educational research on social-affective development.

452 Pessoa, L. (2017). A network model of the emotional brain.
Damasio, A., & Carvalho, G. B. (2013). The nature of feelings: Evolutionary and neurobiological origins.

453 Immordino-Yang, M. H. (2015). *Emotions, learning, and the brain: Exploring the educational implications of affective neuroscience.*

454 Barrett, L. F., & Satpute, A. B. (2013). Large-scale brain networks in affective and social neuroscience: Towards an integrative functional architecture of the brain.
Dolcos, F. *et al.* (2011). Neural correlates of emotion-cognition interactions: A review of evidence from brain imaging investigations.

FIGURA 5 – Constituição de sentido na aprendizagem



O resultado dessa avaliação é o "sentimento" do estudante em relação à aula de Matemática, que pode levá-lo a sentir-se interessado, entediado, animado, ansioso, orgulhoso, envergonhado, capaz ou despreparado, por exemplo. As emoções, assim desencadeadas, dependem do contexto, da história de vida e das características pessoais do indivíduo[455]. Como ele se sente influencia *o quê*, *como* e *quão* efetivamente ele aprenderá. A partir dessa resposta emocional à experiência, outros **circuitos neurais** são ativados e promoverão respostas fisiológicas, expressões motoras, maior ou menor motivação, recrutamento de outras **funções mentais**, planejamento e execução de ações. É por meio desses processos internos (cognitivos e emocionais) que o estudante molda o seu aprendizado e reflete sobre ele[456]. Tudo isso impactará o seu posicionamento frente à aprendizagem[457], levando-o, por exemplo, a prestar mais atenção (ou não) ao conteúdo da aula, a fazer (ou não) perguntas, a dedicar-se mais (ou menos) aos estudos. É assim que a emoção orienta a aprendizagem.

455 Immordino-Yang, M. H. *et al.* (2018). *The brain basis for integrated social, emotional, and academic development: How emotions and social relationships drive learning.*

456 Fadel, C. *et al.* (2015). *Four-dimensional education: The competencies learners need to succeed.*

457 Immordino-Yang, M. H. (2009) Our bodies, our minds, our selves: Social neuroscience and its application to education.

Grupos de pesquisa da Malásia[458] e da Suíça[459], em parceria com pesquisadores de Israel e dos Estados Unidos[460] confirmam a interdependência entre as emoções e um conjunto de processos mentais - como atenção, memória, motivação e **funções executivas** - que são nucleares para um processo de aprendizagem bem-sucedido. Emoções podem mobilizar e regular essas funções mentais devido às conexões recíprocas que a amígdala cerebral tem com diversas outras áreas do **sistema nervoso**[461]. Ao processar um estímulo como relevante, a amígdala atua sobre **circuitos frontais** e **parietais** que regulam a atenção, fazendo com que o indivíduo foque sua atenção de forma seletiva nesse estímulo, ignorando outros. O foco da atenção contribuirá para uma melhor percepção do estímulo. Essa percepção, por sua vez, ficará ainda mais precisa porque a amígdala também atua sobre áreas cerebrais que processam as percepções. Em relação à memória, as experiências e as informações que desencadeiam emoções tendem a ser melhores codificadas, consolidadas e mais facilmente lembradas. Os estudos indicam que a amígdala influencia o córtex pré-frontal, que participa da codificação e formação da memória, e atua também sobre o **hipocampo**, imprescindível à retenção da memória de longa duração e ao aprendizado bem-sucedido. É importante destacar que é a relevância dos estímulos e das experiências para o indivíduo que orienta esses efeitos.

As emoções também influenciam a motivação. Os estudos[462] mais recentes da Neurociência indicam que esses processos compartilham **circuitos neurais** e são fortemente interligados. Embora ainda seja necessário esclarecer vários aspectos sobre o funcionamento dessa "rede neural afetiva", sabe-se que esses processos agem juntos, orientando o comportamento do indivíduo. Tendo em vista a importância da motivação para o processo educacional[463], foi elaborado um princípio[464] específico que será apresentado a seguir, neste capítulo, com o objetivo de esclarecer a importância da motivação e os impactos dessa função mental no processo de aprendizagem.

As decisões que tomamos também são orientadas pelas emoções que temos no momento de decidir ou pela antecipação das emoções que a decisão produzirá[465]. A amígdala, que verifica quão ameaçadora é uma situação, tem conexões com o **núcleo acumbente**, que detecta a provável recompensa de uma decisão. Ela também se conecta com diferen-

458 Tyng, C. M. *et al.* (2017). The influences of emotion on learning and memory.

459 Brosch, T. *et al.* (2013) The impact of emotion on perception, attention, memory, and decision-making.

460 Okon-Singer, H. *et al.* (2015). The neurobiology of emotion–cognition interactions: Fundamental questions and strategies for future research.

461 Peterson, D. (2017). Looping circuits: Amygdalar function and interaction with other brain regions.

462 Cromwell, H. C. *et al.* (2020). Mapping the interconnected neural systems underlying motivation and emotion: A key step toward understanding the human affectome.

463 Headen S., & McKay, S. (2015). *Motivation matters: How new research can help* teachers *boost student engagement.*

464 Princípio 6: "A motivação coloca o cérebro em ação na aprendizagem".

465 Phelps, E. A. *et al.* (2014). Emotion and decision making: Multiple modulatory neural circuits.
Brosch, T. *et al.* (2013) The impact of emotion on perception, attention, memory, and decision-making.

tes circuitos do córtex pré-frontal, que elaboram estratégias de comportamento. É a atividade conjunta desses circuitos que orienta a decisão e motiva o indivíduo às ações decorrentes dela[466]. Isso indica que, se mudarmos nossas emoções, podemos alterar nossas decisões e, consequentemente, nossos comportamentos.

Evidências neurocientíficas têm demonstrado que as conexões recíprocas entre o córtex pré-frontal e a amígdala também nos permitem regular as emoções[467]. O controle cognitivo, realizado pelo córtex pré-frontal, permite ao indivíduo inibir as respostas emocionais negativas que interferem nas suas relações sociais e no seu desempenho na aprendizagem. Estudo da Universidade Columbia[468], nos Estados Unidos, esclareceu que as estruturas do sistema nervoso, especialmente o córtex pré-frontal, envolvidas na regulação emocional amadurecem mais tarde, finalizando seu desenvolvimento ao término da adolescência. Isso significa que crianças e pré-adolescentes precisam de apoio para lidar com as próprias emoções. Por isso, os pesquisadores salientam os benefícios de se investir no desenvolvimento de habilidades socioemocionais que, para além dos efeitos mencionados, podem contribuir como fator preventivo para a saúde mental dos estudantes[469] e para seu melhor desempenho acadêmico[470].

É importante ressaltar que emoções desencadeadas por situações que causam estresse e ansiedade podem impactar negativamente a aprendizagem[471]. O cortisol, principal hormônio liberado durante o estresse, modifica estrutural e funcionalmente os neurônios do hipocampo, da amígdala e do córtex pré-frontal[472], estruturas respectivamente relacionadas à memória, à emoção e às funções executivas, imprescindíveis à aprendizagem. Estudos realizados por pesquisadores da Universidade de Hamburgo, na Alemanha[473], mostraram que exames, prazos apertados e conflitos interpessoais são situações desencadeadoras de estresse no contexto escolar que influenciam a consolidação e a recuperação de memórias. No entanto, esse efeito do estresse sobre a memória e a aprendizagem será variável conforme o tipo de estresse, o momento em que ele ocorre e sua duração. A ansiedade também pode "desorientar" a aprendizagem.

---

466 Cosenza, R. M. (2016). *Por que não somos racionais: Como o cérebro faz escolhas e toma decisões.*

467 Morawetz, C. *et al.* (2017). Effective amygdala-prefrontal connectivity predicts individual differences in successful emotion regulation.
Ochsner, K. N. *et al.* (2012). Functional imaging studies of emotion regulation: A synthetic review and evolving model of the cognitive control of emotion.

468 Martin, R. E., & Ochsner, K. N. (2016). The neuroscience of emotion regulation development: Implications for education.

469 Ahmed, S. P. *et al.* (2015). Neurocognitive bases of emotion regulation development in adolescence.

470 Alzahrani, M. *et al.* (2019). The effect of social-emotional competence on children academic achievement and behavioral development.

471 Prokofieva, V. *et al.* (2019). Understanding emotion-related processes in classroom activities through functional measurements.

472 McEwen, B. S. *et al.* (2016). Stress effects on neuronal structure: Hippocampus, amygdala, and prefrontal cortex.

473 Vogel, S., & Schwabe, L. (2016). Learning and memory under stress: Implications for the classroom.
Schwabe, L., & Wolf, O. T. (2010). Learning under stress impairs memory formation.

Um conjunto de estudos[474] indica, por exemplo, que estudantes que se sentem ansiosos em relação à aprendizagem da Matemática, de fato, podem apresentar dificuldades e pior desempenho nas tarefas relacionadas a essa disciplina, o que está correlacionado a alterações em estruturas cerebrais que processam as emoções. Entretanto, há evidências científicas de que intervenções por meio de tutoria, entre outras, promovem diminuição da ansiedade e podem melhorar o desempenho dos estudantes.



Transformando o princípio 5 em ação

Avanços no campo da Neurociência esclarecem que emoção e cognição estão intrinsicamente relacionadas de maneira peculiar, refletida na nossa complexidade como seres humanos[475]. Em particular, as evidências neurocientíficas sugerem que funções mentais recrutadas durante o processo de aprendizagem, como atenção, memória, linguagem e raciocínio lógico, estão profundamente imbricadas com processos emocionais e sociais[476]. Tais evidências aludem à necessidade de transição de um paradigma educacional voltado exclusivamente aos processos cognitivos para outro que reconheça os componentes emocionais e sociais da cognição humana.

Nos sistemas de ensino em todo o mundo, há o reconhecimento crescente da necessidade de incorporar a aprendizagem socioemocional[477] à prática pedagógica, com base em uma concepção mais ampla de educação integral, que considera o estudante em todas as suas dimensões[478]. Qualquer professor comprometido reconhece que as emoções afetam o desempenho dos estudantes[479]. Talvez o que não esteja claro para ele é o que significa trabalhar com as emoções na sala de aula e como ele pode fazer isso.

Para ampliar essa compreensão, o primeiro passo é entender que as emoções repercutem na maneira como os estudantes acessam, processam, consolidam e recuperam informações e experiências[480]. Tudo isso está relacionado a processos de meta-aprendizado[481] que se referem aos processos internos (cognitivos e emocionais) por meio dos quais refletimos sobre nosso aprendizado e o moldamos. Trabalhar com as emoções na sala de

474 Kucian, K. *et al.* (2018). Neurostructural correlate of math anxiety in the brain of children. Dowker, A. *et al.* (2016). Mathematics anxiety: What have we learned in 60 years?

475 Okon-Singer, H. *et al.* (2015). The neurobiology of emotion–cognition interactions: Fundamental questions and strategies for future research.

476 Immordino-Yang, M. H., & Damasio, A. (2007). We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education.

477 Chernyshenko, O. *et al.* (2018), *Social and emotional skills for student success and well-being: Conceptual framework for the OECD study on social and emotional skills.*

478 Barros, R. P., *et al.* (2018). Desenvolvimento socioemocional: Do direito à educação à prática na escola.

479 Mega, C. *et al.* (2014). What makes a good student? How emotions, self-regulated learning, and motivation contribute to academic achievement.

480 Brosch, T. *et al.* (2013) The impact of emotion on perception, attention, memory, and decision-making.

481 Fadel, C. *et al.* (2015). *Four-dimensional education: The competencies learners need to succeed.*

aula significa projetar ambientes e situações de ensino e aprendizagem que favoreçam o manejo intencional dos fatores emocionais que regulam o aprendizado. É ir além do compromisso de ensinar conhecimentos. É assumir a tarefa de propiciar oportunidades para que os estudantes: (i) constituam sentido e transformem a aprendizagem em algo pessoalmente relevante[482]; (ii) internalizem um modelo mental de crescimento que fortaleça a sua autoconfiança[483]; e (iii) desenvolvam habilidades socioemocionais que lhes permitam responder aos desafios para além dos muros da escola. A qualidade do vínculo com o professor e o clima positivo da sala de aula são elementos centrais para o alcance desses objetivos.

Muitos professores, embora acreditem que o investimento no desenvolvimento emocional dos estudantes seja desejável, entendem que este trabalho retira o foco e rouba tempo de sua atividade nuclear, que é o ensino dos componentes curriculares. É preciso que o professor tenha clareza de que o investimento no desenvolvimento emocional, longe de atrapalhar seu trabalho diário, potencializa os resultados do estudante e impacta positivamente o desempenho acadêmico[484]. A Base Nacional Curricular comum (BNCC)[485] preconiza um conjunto de dez competências gerais que devem se inter-relacionar e desdobrar-se no trabalho didático com os diferentes componentes curriculares. O desenvolvimento de tais competências só é possível mediante um compromisso com a integração dos processos cognitivos e emocionais na sala de aula.

Diante de um objetivo educacional aparentemente tão abstrato, é importante que os professores ampliem o entendimento em relação à dimensão emocional da aprendizagem e aos fatores que a integram, sobre os quais devem atuar. As evidências recentes sobre o funcionamento cerebral[486] fornecem *insights* sobre os mecanismos neuropsicológicos que fundamentam o processamento emocional na aprendizagem[487] e permitem indicar um conjunto de sugestões que os professores podem seguir para colocar as emoções a favor de uma aprendizagem significativa.

---

482 Immordino-Yang, M. H. (2016). Emotion, sociality, and the brain's default mode network: Insights for educational practice and policy.

483 Mangels, J. A. *et al.* (2006). Why do beliefs about intelligence influence learning success? A social cognitive neuroscience model.

484 Alzahrani, M. *et al.* (2019). The effect of social-emotional competence on children academic achievement and behavioral development.
Durlak, J. A. *et al* (2011). The impact of enhancing students' social and emotional learning: A meta-analysis of school-based universal interventions.

485 BRASIL. Ministério da Educação. (2017). Base Nacional Comum Curricular: Educação é a base.

486 Immordino-Yang, M. H., & Gotlieb, R. (2017). Embodied brains, social minds, cultural meaning: Integrating neuroscientific and educational research on social-affective development.

487 Immordino-Yang, M. H. (2016). Emotion, sociality, and the brain's default mode network: Insights for educational practice and policy.

Cuide do vínculo com os estudantes. A linguagem emocional é corporal antes de ser verbal. Por isso, a postura, as atitudes e o comportamento do professor assumem importância nuclear para o vínculo com os estudantes e para os processos de ensino e aprendizagem[488]. Ao ensinar, o professor não transmite apenas conteúdos, mas também um conjunto de sentidos que perpassam as suas emoções. Ele transmite para os estudantes se tem paixão pelo que ensina, se gosta de ser professor e de estar ali na sala de aula, se acredita no potencial dos estudantes e na sua capacidade de ajudá-los, se as perguntas são bem-vindas e se todos têm espaço para se manifestar. Enfim, esse conjunto de sentidos do professor acompanha sua prática, impactando diretamente sua abordagem de ensino[489], as emoções que circulam na sala de aula[490] e a qualidade dos vínculos estabelecidos[491]. A aprendizagem só acontece mediante um vínculo de confiança e de abertura no qual o professor cria uma atmosfera de afeto e comprometimento pessoal com cada estudante. Cuidar do vínculo com os estudantes é o primeiro passo para a construção de um trabalho pautado nas emoções.

Desenvolva habilidades socioemocionais. Diante das rápidas mudanças observadas na contemporaneidade e dos desafios que o futuro aponta, preparar os estudantes apenas com habilidades acadêmicas ou técnicas não será suficiente para que eles alcancem êxito na vida pessoal e profissional. As habilidades socioemocionais, como abertura ao novo, empatia, flexibilidade e resiliência, serão cada vez mais necessárias. Elas regulam os pensamentos e comportamentos, pois relacionam-se principalmente com o modo como as pessoas gerenciam suas emoções, percebem a si mesmas e envolvem-se com outras pessoas[492].

O avanço da pesquisa sobre as habilidades socioemocionais[493] levou à inclusão dessas habilidades como parte dos currículos, das práticas e políticas educacionais em muitos sistemas de ensino ao redor do mundo. No Brasil, as habilidades socioemocionais ganharam espaço e visibilidade na BNCC[494] e têm sido objeto de constante debate no campo da Educação. Embora haja um reconhecimento crescente da importância dessas habilidades, ainda há pouca consciência do professor sobre os caminhos necessários para desenvolvê-las e avaliá-las. Já existe literatura abundante sobre o tema e diferentes programas estão sendo desenhados e utilizados com esse propósito. A expectativa é

488 Cosenza, R., & Guerra, L. (2011). *Neurociência e Educação: Como o cérebro aprende.*

489 Chen, J. (2019). Exploring the impact of teacher emotions on their approaches to teaching: A structural equation modelling approach.

490 Hosotani, R., & Imai-Matsumura, K. (2011). Emotional experience, expression, and regulation of high-quality Japanese elementary school teachers.

491 Lei, H. *et al.* (2018). The relationship between teacher support and students' academic emotions: A meta-analysis.

492 OCDE. (2018). Social and emotional skills: Well-being, connectedness and success.

493 Osher, D. *et al.* (2016). Advancing the science and practice of social and emotional learning: Looking back and moving forward.

494 BRASIL. Ministério da Educação. (2017). Base Nacional Comum Curricular: Educação é a base.

de que, ao fazer parte de um documento normativo oficial, o trabalho efetivo com as habilidades socioemocionais comece a se concretizar de fato nas escolas brasileiras.

Crie um clima emocional positivo na sala de aula. O clima da sala de aula pode potencializar emoções positivas ou negativas, por isso a capacidade de manejo dos acontecimentos e das relações sociais pelo professor é essencial[495]. Os professores conhecem bem os fatores que podem ameaçar um clima positivo na sala de aula: falta de motivação dos estudantes, problemas trazidos de casa, bullying, competição, indisciplina, pressões das avaliações e muito mais. Apesar de não poder controlar todos esses fatores, o professor precisa implementar estratégias[496] que ajudem a amortecer seus efeitos negativos, visto que um conjunto de pesquisas[497] indica que as emoções têm efeito direto no desempenho acadêmico. É fundamental criar um ambiente no qual haja forte sentimento de grupo e, simultaneamente, todos tenham espaço para revelar o seu valor e unicidade. O professor pode oferecer oportunidades para que cada estudante possa recorrer às habilidades pessoais para fazer contribuições significativas para a turma, revelando aquilo que ele é capaz de realizar. As emoções mobilizadas pela valorização social são poderosas para o fortalecimento da autoimagem e também favorecem a coesão do grupo. Para tirar proveito daquilo que o professor busca ensinar, os estudantes precisam se sentir seguros, respeitados e valorizados por aqueles que os rodeiam. O professor deve proporcionar momentos de trabalho colaborativo, no qual os estudantes compartilhem interações significativas, em um ambiente não competitivo. Estar cercado por uma comunidade de apoio, que permite ao estudante nutrir relacionamentos verdadeiros com os colegas[498], é preditivo de motivação e engajamento no processo de aprendizagem. Estudantes com maior senso de pertencimento à escola experimentam emoções positivas, o que contribui para o seu sucesso acadêmico[499].

Fique atento às emoções negativas. Evidências da Neurociência[500] indicam que o estresse e as emoções negativas (ansiedade, apatia, medo, frustração) podem impactar a capacidade de prestar atenção e de processar informações. As situações que mais frequentemente mobilizam essas emoções são aquelas em que o estudante encontra

495 Kashy-Rosenbaum, G. *et al* (2018). Predicting academic achievement by class-level emotions and perceived homeroom teachers' emotional support.

496 Pekrun, R. (2014). Emotions and learning.

497 Pekrun, R. *et al.* (2017). Achievement emotions and academic performance: Longitudinal models of reciprocal effects. Sainio, P. J. *et al.* (2019). The role of learning difficulties in adolescents' academic emotions and academic achievement. Villavicencio, F. T., & Bernardo, A. B. (2013). Positive academic emotions moderate the relationship between self-regulation and academic achievement.

498 Reindl, M. *et al.* (2018). Associations between friends, academic emotions and achievement: Individual differences in enjoyment and boredom.

499 Lam, U. F. *et al.* (2015). It feels good to learn where I belong: School belonging, academic emotions, and academic achievement in adolescents.

500 Prokofieva, V. *et al.* (2019). Understanding emotion-related processes in classroom activities through functional measurements. Klein, E. *et al.* (2019). Anticipation of difficult tasks: Neural correlates of negative emotions and emotion regulation.

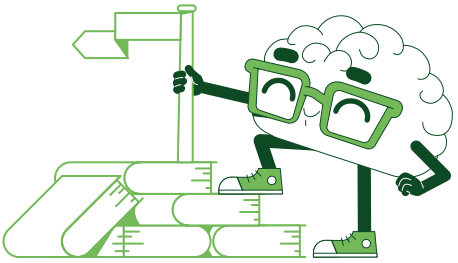
dificuldades que não consegue superar, sente-se desamparado, recebe ameaças ou chacotas, sente-se aprisionado pelo excesso de disciplina ou pressionado pelas avaliações[501]. O professor deve ficar atento a essas situações para tentar contorná-las com apoio e orientação. A origem das emoções negativas que se expressam na escola pode estar relacionada também com problemas externos vinculados ao contexto familiar ou social. Nesse caso, cabe ao professor dialogar com a coordenação e com a família para encontrar os melhores caminhos para dar suporte ao estudante.



A emoção sinaliza o valor da experiência, promove constituição de sentido e gera motivação para a aprendizagem. Emoção e cognição são indissociáveis. Sem emoção é impossível construir memórias, realizar pensamentos complexos, tomar decisões significativas e gerenciar interações sociais para aprender.

501 Cosenza, R., & Guerra, L. (2011). *Neurociência e Educação: Como o cérebro aprende.*

6.6 A MOTIVAÇÃO COLOCA O CÉREBRO EM AÇÃO PARA A APRENDIZAGEM



A motivação intrínseca refere-se à tendência espontânea de as pessoas mobilizarem-se para determinada ação mesmo na ausência de recompensas ou incentivos[502]. Esses comportamentos intrinsecamente motivados geram experiências de satisfação e sentimentos de prazer que mobilizam o envolvimento voluntário em atividades no momento presente ou no futuro[503]. No campo da Psicologia, já existe um conjunto sólido de pesquisas sobre motivação intrínseca na aprendizagem, sendo a maioria baseada em métodos comportamentais e autorrelatos de experiências[504]. Tais pesquisas indicam uma correlação positiva entre estudantes intrinsecamente motivados e desempenho na aprendizagem[505]. A Neurociência, por sua vez, vem desvendando os substratos neurobiológicos da motivação por meio da avaliação da atividade elétrica cerebral (eletroencefalograma), dos estudos de neuroimagem **(fNIRS)** e dos modelos computacionais[506]. Os resultados das pesquisas revelam que a motivação está associada à atividade de áreas cerebrais que analisam o valor de determinada experiência e, também, se ela é suficientemente gratificante ou recompensadora para ser repetida e mantida ao longo do tempo.

Estudos da Neurociência esclarecem que a motivação intrínseca pode ser desencadeada por um estímulo prazeroso, mas que não é apenas o prazer que sustenta a motivação[507]. Boas notas ou aulas divertidas podem ser importantes para gerar motivação, mas não são suficientes para manter a motivação necessária ao processo de aprendizagem. Motivação intrínseca tem relação com a satisfação desencadeada pelo engajamento com as atividades[508] e com os sentidos constituídos que levam ao interesse pessoal pela aprendizagem.

502 Di Domenico, S. I., & Ryan, R. M. (2017). The emerging neuroscience of intrinsic motivation: A new frontier in self-determination research.

503 Reeve, J. (2019). Neuroscience of intrinsic motivation.

504 Kruglanski, A. W. *et al.* (2015). Motivation science.
Cook, D., & Artino, A. (2016). Motivation to learn: An overview of contemporary theories.

505 Cerasoli, C. P. *et al.* (2014). Intrinsic motivation and extrinsic incentives jointly predict performance: A 40-year meta-analysis.
Taylor, G. *et al.* (2014). A self-determination theory approach to predicting school achievement over time: The unique role of intrinsic motivation.

506 Murayama, K. (2018). The science of motivation.

507 Berridge, K. C. *et al.* (2009). Dissecting components of reward: 'Liking', 'wanting', and learning.

508 Lee, W. *et al.* (2012). Neural differences between intrinsic reasons for doing versus extrinsic reasons for doing: An fMRI study.

Quando vivenciamos uma experiência, o **sistema de recompensa** e as estruturas que regulam as emoções são ativadas, produzindo maior ou menor satisfação ou até uma sensação desagradável, o que faz o **cérebro** atribuir um "valor" para a experiência vivida. O indivíduo faz uma memória dessa experiência e, assim, consegue prever a satisfação que ela poderá proporcionar numa próxima oportunidade. É essa capacidade de antecipar a satisfação de uma determinada experiência que gera motivação[509].

Para a manutenção da motivação, sinais vindos do sistema de recompensa e das áreas cerebrais que processam as emoções, informações sobre os estados fisiológicos e as percepções afetivas são todos integrados na **área pré-frontal**, mais especificamente no **córtex orbitofrontal**. Essa área cerebral analisa o valor de determinada experiência, considerando o esforço necessário para alcançá-la, a satisfação que ela proporciona, a percepção que temos de nós mesmos e as memórias de vivências anteriores. Ela também registra os valores das diversas situações que vivenciamos. É assim que se formam nossas preferências, que podem mudar a cada experiência, influenciando nossas escolhas[510].

A chance de realizar uma escolha pessoal tem sido considerada uma necessidade biológica e psicológica[511] e um fator importante no processo motivacional[512]. Ao fazermos uma escolha baseada no valor da experiência, o córtex orbitofrontal ativa o **córtex dorsolateral**, envolvido com as **funções executivas**, e juntos promovem o conjunto de ações que nos mantêm envolvidos com a atividade, por exemplo, com o processo de aprendizagem. Um estudo realizado por pesquisadores japoneses e americanos[513] demonstrou que a oportunidade de escolha contribui para melhor desempenho em determinada tarefa. Ter oportunidade de fazer escolhas é um aspecto central na motivação, pois ela permite a seleção da experiência que tem mais valor, entre outras alternativas.

O processo de regulação da motivação acontece quando decidimos nos dedicar mais intensamente a uma experiência e por um tempo maior. Esse processo de regulação nos permite exercer um controle cognitivo sobre o nosso comportamento, orientado pelo objetivo a que nos propusemos[514]. Ao estabelecermos uma meta, estamos antecipando os resultados futuros e a satisfação que ela nos proporcionará. É necessário resistir a desejos, necessidades, impulsos e emoções que competem com a meta estabelecida. A autorregulação da motivação está relacionada a áreas cerebrais que atuam para manter

509 Kim, S.-I. (2013). Neuroscientific model of motivational process.

510 Kim, S.-I. *et al.* (2017). Introduction to motivational neuroscience.

511 Leotti, L. A. *et al.* (2010). Born to choose: The origins and value of the need for control.

512 Lee, W., & Reeve, J. (2013). Self-determined, but not non-self-determined, motivation predicts activations in the anterior insular cortex: An fMRI study of personal agency.
Meng, L., & Ma, Q. (2015). Live as we choose: The role of autonomy support in facilitating intrinsic motivation.

513 Murayama, K. *et al.* (2015). How self-determined choice facilitates performance: A key role of the ventromedial prefrontal cortex.

514 Kim, S-I. *et al.* (2017). Introduction to motivational neuroscience.

a meta como prioridade, recrutando as funções executivas para o planejamento de estratégias, manutenção da atenção, detecção de erros, monitoramento do desempenho e flexibilidade para selecionar outras estratégias[515].

Essa autorregulação[516] é uma característica de estudantes que têm um modelo mental de crescimento, isto é, que acreditam que suas habilidades e talentos podem ser desenvolvidos por meio de esforço constante e persistência. A literatura no campo da Psicologia[517] indica que eles apresentam maior grau de motivação, autoconfiança e autorregulação para a aprendizagem do que aqueles que apresentam um modelo mental fixo, que não reconhecem que suas capacidades são passíveis de desenvolvimento. Pesquisadores americanos[518] confirmaram, por meio de medidas da atividade cerebral (eletroencefalograma), que a mentalidade de crescimento influencia a atividade de áreas relacionadas a aspectos do controle cognitivo. Além disso, estudos de neuroimagem[519] revelaram que essas áreas cerebrais, tipicamente mais ativadas em indivíduos com mentalidade de crescimento, são áreas que também participam do processo motivacional, indicando uma provável relação entre mentalidade de crescimento e motivação.

Estudos neurocientíficos[520] demonstram também uma forte relação entre curiosidade e motivação intrínseca. Pesquisa realizada na Universidade da Califórnia[521] mostrou que novidades e situações que geram curiosidade ativam o sistema de recompensa e suas conexões com o **hipocampo**, possibilitando melhor recuperação da memória em relação a esses estímulos. Portanto, curiosidade gera motivação intrínseca que, por sua vez, influencia o processamento da memória, o que pode contribuir para um aprendizado mais efetivo.

Embora a Neurociência venha fazendo várias outras descobertas importantes em relação à motivação[522], ainda há muito a se desvendar considerando a necessidade de se realizar investigações mais voltadas à aprendizagem e ao contexto escolar.

515 Kim, S-I. (2013). Neuroscientific model of motivational process.

516 Duckworth, A., & Gross, J. (2014). Self-control and grit: Related but separable determinants of success.

517 Mangels, J. *et al.* (2006). Why do beliefs about intelligence influence learning success? A social cognitive neuroscience model.
Zeng, G. *et al.* (2016). Effect of growth mindset on school engagement and psychological well-being of Chinese primary and middle school students: The mediating role of resilience.

518 Schroder, H. S. *et al.* (2014). Mindset induction effects on cognitive control: A neurobehavioral investigation.
Schroder, H. S. *et al.* (2017). Neural evidence for enhanced attention to mistakes among school-aged children with a growth mindset.

519 Wang, S. *et al.* (2018). Neuroanatomical correlates of grit: Growth mindset mediates the association between gray matter structure and trait grit in late adolescence.

520 Oudeyer, P-Y *et al.* (2016). Intrinsic motivation, curiosity, and learning: Theory and applications in educational technologies.
Siddique, N. *et al.* (2017). A review of the relationship between novelty, intrinsic motivation and reinforcement learning.

521 Gruber, M. *et al.* (2014). States of curiosity modulate hippocampus-dependent learning via the dopaminergic circuit.

522 Murayama, K. (2018). The science of motivation.

Transformando o princípio 6 em ação

Não podemos prever o que vai acontecer no futuro, mas uma certeza nós temos: a necessidade de aprender será para toda a vida. O ciclo de aprendizagem não vai se encerrar no ensino médio ou mesmo na pós-graduação, pois a necessidade de novas aprendizagens será uma constante devido à velocidade das mudanças do mundo contemporâneo. Por isso, compreender as evidências neurocientíficas sobre como fomentar e manter a motivação para aprender em todas as fases do desenvolvimento humano é absolutamente essencial.

A motivação é a força que impulsiona os estudantes a buscar informações, a empenhar-se nas tarefas, a envolver-se em projetos desafiadores, a interessar-se pela pesquisa, a experimentar novas situações e, principalmente, a manter o desejo de aprender. O modelo neurocientífico[523] do processo motivacional revela que a motivação é um processo complexo que envolve três subprocessos intrinsecamente relacionados. O primeiro é responsável pela geração, o segundo pela manutenção e o terceiro pela regulação da motivação. Tal complexidade indica que mobilizar a motivação para aprendizagem não se resume a propor atividades prazerosas e divertidas, mas requer uma prática pedagógica alinhada a um conjunto de aspectos que possibilitam otimizar as funções cerebrais relacionadas à motivação. Tradicionalmente, a escola não tem tido êxito em motivar os estudantes por meio da motivação intrínseca que lhes permite criar um envolvimento pessoal com a aprendizagem. Como resultado, muitos estudantes respondem à aprendizagem de forma automática, com o objetivo de conseguir nota suficiente para garantir a aprovação. Como mudar esse quadro? A pesquisa em Neurociência nos permite indicar alguns caminhos.

Promova a motivação intrínseca. A literatura indica que estudantes intrinsecamente motivados alcançam melhor desempenho acadêmico[524]. A motivação intrínseca refere-se ao comportamento que é impulsionado pela satisfação própria[525], pelo envolvimento pessoal na aprendizagem[526]. Ela se manifesta quando o estudante busca aprender porque constitui sentido e encontra valor e relevância nas situações de aprendizagem. Ele desfruta das atividades ou as vê como oportunidade para explorar, aprender e atualizar seu potencial. Suas motivações para envolver-se nas atividades surgem de um sentimento de realização e não simplesmente do desejo de obter algum tipo de recompensa externa,

523 Kim, S-I. (2013). Neuroscientific model of motivational process.

524 Pascoe, L. *et al.* (2018). Intrinsic motivation and academic performance in school-age children born extremely preterm: The contribution of working memory.

525 Lee, W., & Reeve, J. (2017). Identifying the neural substrates of intrinsic motivation during task performance.

526 Mega, C. *et al.* (2014). What makes a good student? How emotions, self-regulated learning, and motivation contribute to academic achievement.

como tirar uma nota, ser aprovado ou ganhar elogios. Evidentemente, isso não quer dizer que comportamentos intrinsecamente motivados não venham com as próprias recompensas, mas significa que não são essas recompensas que dirigem o comportamento do estudante. O fato é que, muitas vezes, os professores tentam motivar os estudantes destacando que o que devem aprender será importante para passar de ano, entrar na universidade ou mesmo para conseguir um trabalho mais tarde. Entretanto, para sentirem-se motivados e engajados com a escola, os estudantes precisam encontrar relevância no que estão fazendo agora e não no futuro. Para motivá-los, o processo de aprendizagem deve ser gratificante e interessante[527]. É exatamente aí que reside o problema: a escola geralmente coloca todas as "recompensas" no final do processo: notas, elogios, aprovação. Os estudantes são orientados para chegar nessa meta. O processo de aprendizagem em si não é valorizado, de forma que o estudante não tem oportunidade de gerar motivação intrínseca ao longo desse processo, o que dificulta um real engajamento. Evidências científicas revelam um conjunto de estratégias efetivas para mobilizar a motivação intrínseca para a aprendizagem: estimular um modelo mental de crescimento, gerar autoeficácia, promover a autonomia, favorecer a escolha e cultivar a curiosidade. Essas estratégias serão explicitadas a seguir.

Estimule um modelo mental de crescimento. Evidências neurocientíficas[528] revelam que o modelo mental que cada um constrói sobre as próprias capacidades é um ponto crítico para a regulação e manutenção da motivação intrínseca ao longo do tempo. Confiar ou não na capacidade de se desenvolver impacta o posicionamento do estudante diante da própria aprendizagem e, ao final, reflete no seu desempenho acadêmico[529]. Ao longo do desenvolvimento, os estudantes absorvem da família, da comunidade e da sociedade uma combinação de mensagens sobre seus erros e acertos, talentos e fragilidades, possibilidades e limitações. Para a pesquisadora americana Carol Dweck[530], a forma como cada um processa emocionalmente essas mensagens conforma um modelo mental que orienta o comportamento em direção à aprendizagem. Estudantes com modelo mental de crescimento acreditam que podem se desenvolver, têm tendência a abraçar desafios, persistem mediante contratempos, entendem que o esforço é necessário para o sucesso na aprendizagem, lidam melhor com a crítica e aprendem com os erros. Já os estudantes com modelo mental fixo têm tendência a funcionar impulsionados pelo professor, evitam desafios, desistem facilmente, veem o esforço como algo negativo, ignoram o *feedback* e, consequentemente, realizam menos do que o seu potencial permite.

527 Kim, S-I. (2013). Neuroscientific model of motivational process.

528 Ng, B. (2018). The neuroscience of growth mindset and intrinsic motivation.
Schroder, H. *et al.* (2017). Neural evidence for enhanced attention to mistakes among school-aged children with a growth mindset.

529 Blackwell, L. S. *et al.* (2007). Implicit theories of intelligence predict achievement across an adolescent transition: A longitudinal study and an intervention.

530 Dweck, C. S. (2017). *Mindset: a nova psicologia do sucesso.*

Um conjunto de pesquisas[531] indica que os professores desempenham papel fundamental na formação e modificação do modelo mental dos estudantes. A chave para a mudança está na qualidade do vínculo e no tipo de *feedback*[532] que os professores oferecem. Embora o senso comum possa sugerir que os estudantes desmotivados ou com falta de confiança possam se beneficiar de elogios sobre a sua capacidade ou inteligência, os resultados das pesquisas[533] indicam que é o reconhecimento da dedicação e do esforço que leva os estudantes a investir nos estudos e prosperar diante dos desafios. Além disso, os professores devem demonstrar confiança nos estudantes e propor atividades que promovam a autoeficácia[534], de forma que eles possam fortalecer a crença de que o investimento que fazem na escola vale a pena e que seus esforços dão resultado. Por um lado, pesquisas[535] indicam que, quando um estudante desenvolve a autoeficácia por meio de conquistas e experiências de sucesso, ele recebe um impulso na motivação para continuar aprendendo e progredindo. Por outro lado, as pesquisas indicam também que o sentimento de fracasso e a sensação de não contar com uma rede de apoio minam a motivação intrínseca[536]. Os estudantes precisam desenvolver um senso de competência – um sentimento de que estão equipados para enfrentar desafios e avaliações. O fundamental é fazer com que eles acreditem que seu potencial é passível de desenvolvimento com empenho, prática, persistência e aprendizagem constante.

Favoreça a escolha. O movimento autônomo na aprendizagem envolve a possibilidade de fazer escolhas. Estudos recentes de neuroimagem demonstram que o processo de fazer escolhas mobiliza circuitos neurais envolvidos no processamento da motivação[537]. Isso explica porque as atividades volitivas geram sentimentos de interesse e satisfação que incentivam o envolvimento voluntário na atividade ou no ambiente[538]. Nesse sentido, a possibilidade de escolha desempenha papel crítico na promoção da motivação intrínseca[539], pois permite entrelaçar os interesses dos estudantes ao currículo escolar. Tradicionalmente, os estudantes não têm tido muita oportunidade de exercer a escolha na sala de aula. De forma geral, as mesmas atividades são desenhadas, igualmente, para todos os estudantes. Eles não são convidados a buscar tópicos que lhes interessem, não há possibilidade de escolher os

531 Boaler, J. (2013). Ability and mathematics: The mindset revolution that is reshaping education.
Zeng, G. *et al.* (2016). Effect of growth mindset on school engagement and psychological well-being of Chinese primary and middle school students: The mediating role of resilience.

532 Bondarenko, I. (2017). The role of positive emotions and type of feedback in self-regulation of learning goals achievement: Experimental research.

533 Dweck, C. S. (2008). *Mindsets and Math/Science achievement.*

534 Komarraju, M., & Nadler, D. (2013). Self-efficacy and academic achievement: Why do implicit beliefs, goals, and effort regulation matter?

535 Joet, G. *et al.* (2011). Sources of self-efficacy: An investigation of elementary school students in France.

536 Au, R. C. P. *et al.* (2010). Academic risk factors and deficits of learned hopelessness: A longitudinal study of Hong Kong secondary school students.

537 Leotti, L. A. *et al.* (2010). Born to choose: The origins and value of the need for control.

538 Reeve, J. (2019). Neuroscience of intrinsic motivation.

539 Meng, L., & Ma, Q. (2015). Live as we choose: The role of autonomy support in facilitating intrinsic motivation.

livros de literatura que devem ser lidos e, muitas vezes, os temas das redações que serão escritas são pré-definidos pelo professor. Ao promover a escolha, o professor abre espaço para que o estudante se responsabilize pela própria aprendizagem, se comprometa com atividades autodirigidas e encontre valor para o próprio aprendizado, despertando sua motivação intrínseca para aquilo que se processa na sala de aula[540].

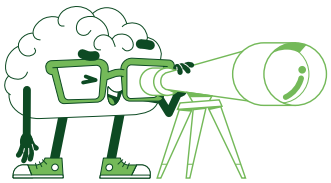
Desperte a curiosidade. Pesquisas[541] indicam que, quando algo desperta verdadeiramente a curiosidade, as regiões do cérebro associadas à motivação e à memória são ativadas. Em outras palavras, a curiosidade pode ser um grande motivador que faz o cérebro querer aprender. Nessa direção, as perguntas podem ser ferramentas extraordinárias de aprendizado. Uma boa pergunta pode *abrir a mente*, mudar paradigmas, mobilizar conexões e gerar novas ideias. Na educação, existe uma tendência a valorizar mais a capacidade de responder do que a de elaborar perguntas. Mas, quando se trata de curiosidade, é a pergunta, e não a resposta, que envolve os estudantes. As evidências da Neurociência indicam que aguçar a curiosidade do estudante e desenvolver a sua capacidade de elaborar perguntas deve ser um objetivo educacional a ser perseguido. Para atrair os estudantes, o professor pode fazer perguntas abertas que os incentivem a explorar o tema – perguntas que não possam ser respondidas com um sim ou um não, mas que precisem de investigação, exploração e ampliação dos horizontes para serem respondidas. Entretanto, o caminho inverso também é válido: antes de começar um novo conteúdo, o professor pode pedir para os estudantes pesquisarem curiosidades sobre o tema e elaborarem as próprias perguntas.

O mais importante nesse processo é a capacidade de escuta do professor. Quando ele ouve atentamente e demonstra interesse pelas perguntas dos estudantes, ele passa duas mensagens importantes. Por um lado, ele reafirma que as perguntas são bem-vindas na sala de aula e, por outro, ele valoriza o estudante curioso. Esse segundo ponto é de extrema importância numa cultura escolar onde ainda impera a ideia de quem pergunta "é burro" ou "é aquele que não entendeu". A valorização da pergunta pelo professor quebra com esse estigma e fortalece a ideia de que quem pergunta é inteligente e está interessado em saber mais. Para concluir, vale destacar uma meta-análise realizada por pesquisadores da Inglaterra e da Suíça[542] que reuniram dados de cerca de 200 estudos, com um total de mais de 50.000 estudantes. Eles descobriram que a curiosidade tem um efeito tão grande no desempenho acadêmico quanto a inteligência, pois ela impulsiona a aprendizagem. Para os pesquisadores, estimular uma "mente faminta" é determinante central das diferenças individuais nos resultados acadêmicos.

---

540 Patall, E. *et al.* (2008). The effects of choice on intrinsic motivation and related outcomes: A meta-analysis of research findings.
541 Gruber, M. J. *et al.* (2014). States of curiosity modulate hippocampus: Dependent learning via the dopaminergic circuit.
542 von Stumm, S. *et al.* (2011). The hungry mind: Intellectual curiosity is the third pillar of academic performance.

6.7 A ATENÇÃO É A PORTA DE ENTRADA PARA A APRENDIZAGEM



Estamos expostos, o tempo todo, a uma multiplicidade de estímulos que podem ser captados pelos órgãos dos sentidos. Nosso **cérebro**, mesmo com seus bilhões de **neurônios**, não tem a capacidade de examinar tudo ao mesmo tempo. A atenção é que nos permite selecionar o estímulo a ser processado, filtrando aquele que é mais relevante e mantendo consistentemente o foco. Por isso, ela é a porta de entrada para a aprendizagem. É ela quem dá o acesso às informações que serão processadas e armazenadas. Se não prestamos atenção, nosso cérebro não registra a informação e, consequentemente, ela não pode ser arquivada e, assim, aprendida.

Uma vez que um estímulo passou pela "porta" da atenção, o desafio é manter a concentração, ou seja, sustentar a atenção seletiva, nesse determinado estímulo, por um tempo mais prolongado. Estudo do Instituto de Neurociência da Universidade de Princeton mostrou que o cérebro tem ciclos de atenção, alternando entre maior ou menor atenção a cada três segundos[543]. Mas a ideia propagada de que a atenção se sustenta por poucos minutos – 10 a 15 minutos – ainda não tem evidência científica – o que os estudos[544] já conseguiram demonstrar é que, quanto maior o tempo de exposição, mais frequentes são os momentos de distração, desencadeados por outros estímulos ou mesmo pelo próprio pensamento do indivíduo, que comprometem o processamento e a retenção de informação.

A atenção proporciona capacidade de seleção, foco e direcionamento, propriedades que a tornam imprescindível para a formação de memórias e, portanto, para o processo de aprendizagem.

A Neurociência tem mostrado que a atenção é modulada pela emoção. Áreas que processam as emoções atuam sobre parte do **córtex pré-frontal** responsável pela atenção sustentada. O foco atencional, cujo funcionamento depende de circuitos pré-frontais e parietais, também é regulado por outros circuitos neurais relacionados às áreas que processam as emoções e a motivação.

543 Fiebelkorn, I. C. *et al.* (2018). A dynamic interplay within the frontoparietal network underlies rhythmic spatial attention.
544 Farley, J. *et al.* (2013). Everyday attention and lecture retention: The effects of time, fidgeting, and mind wandering.

Pesquisadores americanos[545], utilizando técnicas de eletrofisiologia, observaram que quando adolescentes eram apresentados a estímulos considerados por eles mais "interessantes", áreas relacionadas à atenção seletiva eram influenciadas por áreas cerebrais relacionadas à motivação. Dessa forma, o estudo demonstrou que estímulos mais interessantes aumentam o foco atencional.

Outro estudo[546], feito em colaboração entre pesquisadores da Suíça e da Itália, demonstra que estímulos que ativam emoções (envolvendo **amígdala cerebral**) e a motivação (envolvendo o **sistema de recompensa** e a liberação de **dopamina**) podem guiar a atenção e modificar a nossa percepção, inclusive sem tomarmos consciência disso.

Técnicas de neuroimagem demonstram que estruturas cerebrais relacionadas à motricidade, como o **cerebelo** e **núcleos da base**, que têm conexões com áreas como o córtex pré-frontal, participam da regulação da atenção, entre outras funções cognitivas[547]. Diferentes estudos vêm comprovando também que momentos de atividade física que geram movimento e mantêm os estudantes ativos durante as aulas podem melhorar a atenção seletiva[548]. Para além da contribuição direta sobre o foco atencional, a atividade física e o movimento contribuem também para o desenvolvimento de autocontrole e maior engajamento acadêmico[549].

Transformando o princípio 7 em ação

O primeiro desafio de qualquer educador é conseguir que seus estudantes "prestem atenção", pois a capacidade de manter o foco é um pré-requisito para a gestão da sala de aula e para o sucesso na aprendizagem. No cenário atual, esse desafio torna-se ainda maior, pois, diante do excesso de informação, as distrações e a dificuldade de guardar registros na memória tendem a ser maiores. De fato, em nossa cultura acelerada, a desatenção tornou-se endêmica. As descobertas da Neurociência sobre como o cérebro processa a atenção permitem indicar um conjunto de estratégias que favorecem a manutenção do foco do estudante na aprendizagem.

545 Banerjee, S. *et al.* (2015). Interests shape how adolescents pay attention: The interaction of motivation and top-down attentional processes in biasing sensory activations to anticipated events.

546 Bourgeois, A. *et al.* (2016). How motivation and reward learning modulate selective attention.

547 Leisman, G. *et al.* (2016). Thinking, walking, talking: Integratory motor and cognitive brain function.

548 Mazzoli, E. *et al.* (2019). Associations of class-time sitting, stepping and sit-to-stand transitions with cognitive functions and brain activity in children.

549 McClelland, E. *et al.* (2015). Enhanced academic performance using a novel classroom physical activity intervention to increase awareness, attention and self-control: Putting embodied cognition into practice.

Seja receptivo. Como você inicia a sua aula? Se você respondeu "fazendo chamada", está indo na contramão do que a Neurociência preconiza para um bom manejo da atenção. É preciso colocar o estudante em um estado mental receptivo para aquilo que será apresentado. Do mesmo modo que nosso corpo precisa de energia física para correr, nosso cérebro precisa de uma boa razão ou motivo no qual focar sua energia mental, seu pensamento. Para ouvir alguém ou fazer alguma coisa, o aprendiz precisa estar em um estado de ativação mental maior e, para "carregar a sua bateria", é interessante pensar em algo mais dinâmico para o início da aula. Um estudo da San Francisco State University[550] mostrou que iniciar a aula com uma novidade, algo inesperado, como um jogo, um quebra-cabeça ou a leitura de um poema, que desperte a vontade de aprender o tema que será abordado, tem maior chance de recrutar a atenção do aprendiz.

Promova o engajamento. O cérebro tem uma tendência natural a prestar atenção, pois sua transformação, ao longo da evolução, resultou em características estruturais e funcionais que o tornaram especializado em perceber o que está acontecendo à sua volta. O desafio do professor é conseguir abrir a "porta da atenção" do estudante para aquilo que é importante no seu processo de aprendizagem. A chave dessa porta é a motivação. Dificilmente um estudante prestará atenção em informações que ele não compreende, que não sejam significativas para ele e que não tenham alguma relação com o seu arquivo de experiências ou com seu cotidiano. Então, o caminho mais efetivo para motivar o estudante é colocá-lo no centro desse processo e desenvolver estratégias que possibilitem a constituição de sentido sobre o que ele está aprendendo. Assim sendo, ofereça espaço para escolha e estimule a curiosidade apresentando aspectos inusitados do conteúdo. Coloque desafios que despertem o interesse dos estudantes e promova seu engajamento em projetos que aproximem o conteúdo às questões do dia a dia. Estudos[551] revelam que os estudantes apresentam menos lapsos de atenção quando estão ativos numa tarefa, portanto, envolva-os em atividades nas quais eles assumam papel ativo e não sejam meros expectadores. Eles devem ser incentivados a falar, expressar-se e emitir opiniões, pois o protagonismo promove engajamento e aumenta o nível de atenção. Incentive o estudante a propor problemas, a desenhar projetos, a imaginar soluções, a criar metas a serem atingidas. Tais estratégias são compatíveis com o funcionamento dos processos atencionais, pois ampliam o envolvimento e a capacidade dos estudantes de manterem o foco.

550 Rosegard, E., & Wilson, J. (2013). Capturing students' attention: An empirical study.

551 Bunce, D. M. *et al.* (2010). How long can students pay attention in class? A study of student attention decline using clickers.

Garanta um ambiente propício a aprendizagem. O cérebro responde a estímulos, mas não é tanto a quantidade de estímulos que importa e, sim, a sua qualidade. Por um lado, é preciso eleger os estímulos mais adequados e, por outro, diminuir os elementos distraidores. Acústica, luminosidade e temperatura inadequadas, barulhos, cadeiras sem conforto, muitos cartazes ou materiais expostos na sala, enfim, o excesso ou a inadequação dos estímulos podem gerar distração, tornando mais difícil sustentar o foco atencional[552]. Outro ponto importante: manter os estudantes na carteira durante todo o período não é uma boa ideia. Movimentos simples podem proporcionar o estímulo necessário para ajudá-los a sustentar a atenção. Atividades em grupo, em locais diferentes da escola, jogos ou mesmo dinâmicas, que os façam se levantar por algum tempo, podem ajudar a relaxar e resgatar a atenção[553].

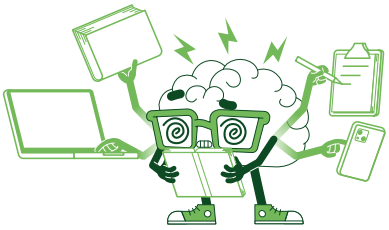
Ajuste o tempo de exposição. A capacidade de sustentar a atenção por um período prolongado requer a ativação de circuitos neurais específicos[554]. Após algum tempo, a tendência é que haja distração para outros estímulos externos ou internos[555]. O professor deve evitar exposições muito extensas, dividindo o tempo da aula com atividades diversificadas, fazendo pausas para descanso, ou mesmo pequenos intervalos por intermédio do humor, de modo a provocar relaxamento[556]. O fato é que os seres humanos rapidamente se habituam ao contexto. Quando algo em nosso ambiente muda, no entanto, voltamos a prestar atenção novamente. Por isso, a ideia de gerar um novo estímulo de tempos em tempos pode trazer os estudantes de volta para a aula.



A atenção seleciona a informação e é imprescindível para a formação de memórias. Se não prestamos atenção, nosso cérebro não processa a informação e, consequentemente, ela não pode ser registrada e aprendida.

552 Barrett, P. S. *et al.* (2015). Clever classrooms: Summary report of the HEAD project.
553 Lengel, T. *et al.* (2010*). The kinesthetic classroom: Teaching and learning through movement.*
554 Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2014). Attention to learning of school subjects.
555 Szpunar, K. K. *et al.* (2013). Mind wandering and education.
556 Rosegard, E., & Wilson. J. (2013). Capturing students' attention: An empirical study.

6.8 O CÉREBRO NÃO É MULTITAREFA



Ser multitarefa é visto como uma necessidade no mundo moderno. Em tempos de internet, de novas tecnologias e mídias diversas, a capacidade de fazer várias coisas ao mesmo tempo e de assimilar todos os estímulos simultaneamente está cada vez mais valorizada. No entanto, contrariamente ao que muitos acreditam, a Neurociência já comprovou que o **cérebro** só consegue se concentrar e realizar, com eficiência, uma tarefa de cada vez. Mesmo algo aparentemente simples, como ouvir música enquanto se faz a lição de casa, pode fazer os estudantes perderem o foco de atenção. O fato é que o cérebro não processa dois estímulos simultaneamente e, sim, alterna sua atenção entre um estímulo e outro, perdendo parte da informação, o que compromete a memória.

Estudo recente[557], desenvolvido por pesquisadores da Universidade da Califórnia e da Universidade Stanford, revelou que indivíduos multitarefa apresentam um desempenho pior nos testes de atenção e de memória de trabalho, o que parece estar ligado à menor capacidade de manter o foco e ignorar as distrações. Como o registro de memórias depende da atenção, o resultado é uma menor taxa de retenção daquilo que se busca aprender.

Ao realizarmos duas tarefas ao mesmo tempo, como ouvir uma palestra e enviar mensagens de texto, não vamos lembrar integralmente do que ouvimos. As duas tarefas são muito exigentes na perspectiva do funcionamento mental e utilizam recursos de uma mesma área cerebral, como o **córtex pré-frontal**, responsável pela memória de trabalho. A realização de múltiplas tarefas, durante uma aula ou em momentos de estudo, compromete o desempenho acadêmico, a compreensão de leitura, a capacidade de fazer anotações precisas e a capacidade de autorregular o comportamento, o que é imprescindível para uma aprendizagem efetiva.

Os circuitos cerebrais de atenção processam um estímulo de cada vez. Isso significa que não conseguimos manter foco atencional efetivo em dois estímulos simultaneamente.

557 Uncapher, M. R., & Wagner, A. D. (2018). Minds and brains of media multitaskers: Current findings and future directions.

A crença de que ser multitarefa nos torna mais produtivos é um mito. Em vez de economizar tempo, os multitarefas demoram mais para concluir as atividades e cometem mais erros do que aqueles que se concentram em uma tarefa por vez. Pesquisa realizada na Universidade Stanford[558] confirmou que aqueles que realizam multitarefas não conseguem filtrar informações irrelevantes, o que retarda a conclusão da tarefa cognitiva em questão.

A descoberta da Neurociência de que ser multitarefa prejudica o desempenho cognitivo vai na contramão da realidade da maioria dos jovens que estão na escola hoje. Uma pesquisa da *Common Sense Media*[559] constatou que metade dos adolescentes americanos costuma assistir TV ou usa a mídia social enquanto faz a lição de casa; 60% deles mandam mensagens de texto e 76% ouvem música no mesmo momento em que realizam as lições. Outro ponto importante destacado pela pesquisa é que dois terços dos estudantes não acreditam que realizar multitarefas, enquanto fazem as lições, faz alguma diferença na qualidade de suas tarefas escolares. O desafio está posto para pais e professores.

Transformando o princípio 8 em ação

Pais e professores constatam diariamente que o cérebro de crianças e adolescentes vive uma batalha constante, na qual estímulos competem a cada momento por sua atenção. Com tanta estimulação externa, concentrar-se nas atividades escolares tornou-se um grande desafio. As evidências científicas[560] mostram que crianças e jovens estão pagando um grande "preço mental" nesse novo contexto e revelam os efeitos negativos do comportamento multitarefa para o processo de aprendizagem:

- Dificuldade para priorizar e manter o foco, sendo mais suscetível à interferência de estímulos irrelevantes.
- Distrações que levam a um tempo maior para conclusão de uma tarefa.
- Cansaço mental que leva a uma maior chance de cometer erros.
- Sobrecarga da memória de trabalho em função da carga cognitiva excessiva.
- Aprendizagem superficial (compreensão menos elaborada das informações).
- Dificuldade de retenção do conteúdo estudado, devido à atenção dividida.
- Impacto negativo no desempenho acadêmico.

558 Ophir, E. *et al.* (2009). Cognitive control in media multitaskers.

559 Common Sense. (2015). The Common Sense Media: Media use by tweens and teen.

560 Foerde, K. *et al.* (2006). Modulation of competing memory systems by distraction.
Demirbilek, M., & Talan, T. (2018). The effect of social media multitasking on classroom performance.
Junco, R. (2012). In-class multitasking and academic performance.
Bellur, S. *et al.* (2015). Make it our time: In class multitaskers have lower academic performance.
Lee, J. *et al.* (2011). The impact of media multitasking on learning.

Crianças e jovens estão em pleno processo de desenvolvimento e, quanto mais eles reforçam o comportamento multitarefa, mais vão perdendo a capacidade de pensar profundamente. O risco reside na possibilidade de desenvolverem um modelo mental no qual atividades que não envolvam alternância rápida entre tarefas, com estímulos novos a cada momento, tornem-se entediantes. A boa notícia é que a capacidade de resistir à tentação da tecnologia pode ser conscientemente cultivada. A seguir, são apresentadas algumas sugestões que podem ajudar o professor a alcançar esse objetivo.

Amplie a consciência. É fundamental fazer os estudantes compreenderem os prejuízos do comportamento multitarefa para o funcionamento do nosso cérebro durante a aprendizagem. Professores podem ajudar os estudantes a tomar consciência de que fazer muitas coisas ao mesmo tempo pode não ser o melhor caminho, pois a divisão da atenção gera distração e, muitas vezes, é preciso recomeçar do zero, aumentando o tempo necessário para a conclusão da tarefa. Na prática, significa conscientizar os estudantes que misturar Facebook e Matemática não é uma boa ideia. Ter consciência das consequências do comportamento multitarefa para o próprio aprendizado pode ajudar os estudantes a seguirem por outro caminho, distribuindo melhor o tempo dedicado à tecnologia e à aprendizagem, no lugar de fazer as duas coisas simultaneamente. Se o estudante não ampliar a consciência sobre esse processo, ele provavelmente terá muita dificuldade para desenvolver a autorregulação necessária para lidar com a insistente tentação das novas mídias.

Estimule pausas tecnológicas. Pesquisadores[561] sinalizam a importância de ensinar aos estudantes fazer uso equilibrado dos recursos tecnonológicos. É importante possibilitar que eles façam "pausas tecnológicas" para satisfazer sua necessidade de comunicação digital, depois de trabalharem ininterruptamente em suas tarefas escolares por um tempo determinado. A ideia é fornecer aos estudantes oportunidades para enviar ou verificar mensagens e postagens com o objetivo de diminuir a necessidade de estar conectado o tempo todo. Promover uma "pausa tecnológica" significa, por exemplo, permitir aos estudantes começar a aula ou um período de estudo verificando brevemente suas redes sociais para depois silenciar os dispositivos enquanto se dedicam a uma atividade. O telefone no modo silencioso impede que o estudante seja interrompido por alertas auditivos e visuais e fornece um estímulo que informa que eles poderão se conectar na próxima "pausa tecnológica". Pesquisas[562] revelam que esse tipo de estratégia aumenta a atenção, o foco e aprimora o aprendizado.

561 Rosen, L. D. *et al.* (2011). An empirical examination of the educational impact of text message-induced task switching in the classroom: Educational implications and strategies to enhance learning.

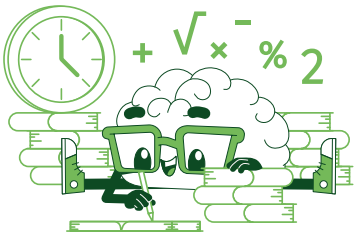
562 Rosen, L. D. *et al.* (2013). Facebook and texting made me do it: Media-induced task-switching while studying.

Faça mapa de prioridades. O comportamento multitarefa, muitas vezes, leva a distrações. A perda de foco acaba por impactar a execução das tarefas fazendo com que o estudante precise de um tempo maior para concluir as atividades. O professor pode ajudar ensinando os estudantes a fazer um mapa de prioridades e de organização de horários para que eles tenham clareza dos prazos de entrega das atividades escolares e do tempo necessário para elaboração. Isso pode contribuir para a conscientização de que é necessário otimizar o tempo disponível, adequando o número de horas dedicadas ao uso das mídias digitais.

Avalie o grau de motivação. Outra indicação relevante é avaliar o grau de motivação dos estudantes em relação às atividades solicitadas, observando o seu nível de engajamento. Ser multitarefa, muitas vezes, pode ser uma válvula de escape para atividades que não motivam o estudante, pois não despertam o seu interesse. Nesse caso, é preciso mudar a rota e encontrar novos caminhos que mobilizem o estudante e promovam o seu protagonismo.

O cérebro não processa adequadamente dois estímulos simultaneamente. O comportamento multitarefa diminui a atenção, compromete a memória de trabalho, leva à perda de foco, dificulta a compreensão da leitura e a capacidade de fazer anotações precisas, comprometendo a aprendizagem.

6.9 APRENDIZAGEM ATIVA REQUER ELABORAÇÃO E TEMPO PARA CONSOLIDAÇÃO NA MEMÓRIA



As evidências científicas indicam que a aprendizagem promove mudanças na arquitetura funcional do **cérebro**[563]. Para que essas alterações aconteçam e persistam por mais tempo, é necessário que os **circuitos neurais** de quem aprende sejam ativados repetidamente pela exposição a estímulos diversificados e progressivamente mais complexos, que ativem mais e distintas **redes neurais**[564]. Nessa direção, a aprendizagem ativa é imprescindível para o aprendizado ser duradouro, pois leva o estudante a um maior engajamento cognitivo e emocional em comparação com processos passivos de aprendizagem. Pesquisadores[565] constataram, consistentemente, que os estudantes que empregam estratégias ativas para o planejamento, monitoramento e avaliação de seu progresso na aprendizagem superam os colegas que não desenvolvem essas habilidades.

Nessa perspectiva, a aprendizagem ativa requer um conjunto de fatores que são abordados em vários princípios apresentados ao longo deste capítulo, como atenção seletiva, envolvimento emocional, motivação, autorregulação, metacognição, relacionamento social e criatividade. Especialmente, neste princípio 9, vamos explicitar como a aprendizagem ativa contribui de forma mais efetiva para a elaboração das informações e sua consolidação na memória de longa duração.

A memória é uma **função mental** imprescindível à aprendizagem[566]. Por meio dela, tornamos mais definitivas as **representações mentais** que construímos a partir das experiências vividas. Esses registros mentais internos que mantemos nos dão acesso instantâneo ao nosso passado pessoal, com todos os conhecimentos que construímos e as habilidades que desenvolvemos. Eles nos permitem relembrar, compreender, aplicar, analisar, avaliar e criar informações, situações, problemas e ideias[567].

563 Owens, M. T., & Tanner, K. D. (2017). Teaching as brain changing: Exploring connections between neuroscience and innovative teaching.
Zatorre, R. J. *et al.* (2012) Plasticity in gray and white: Neuroimaging changes in brain structure during learning.

564 Eichenbaum, H. (2017). Memory: Organization and control.

565 Freeman, S. *et al.* (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics.
Markant, D. *et al.* (2016). Enhanced memory as a common effect of active learning.
Theobald, E. *et al.* (2020). Active learning narrows achievement gaps for underrepresented students in undergraduate science, technology, engineering, and math.

566 Fandakova, Y., & Bunge, S. (2016). What connections can we draw between research on long-term memory and student learning?

567 Stern, E. (2017). Individual differences in the learning potential of human beings.

A Neurociência tem esclarecido os mecanismos e os fatores que influenciam a formação de memórias, salientando as diferenças entre memórias que duram pouco tempo e aquelas que são armazenadas de forma mais definitiva no cérebro, sustentando o aprendizado duradouro[568]. A formação de memórias se inicia quando informações novas são processadas pelo **hipocampo**. Ele gerencia o armazenamento dessas informações, na forma de memória, em redes neurais no **córtex cerebral**[569]. Para construir memórias, o cérebro realiza os processos de codificação, repetição, elaboração e recordação das informações recebidas, e, como consequência, as consolida, por meio de reorganização e fortalecimento de sinapses, tornando-as mais permanentes[570]. Pesquisas que utilizam medidas comportamentais e de atividade cerebral demonstram que a diversidade de estímulos[571] contribui para melhor formação de memórias e desempenho na aprendizagem[572]. Daí a importância da repetição, de forma diversificada[573], para elaboração e consolidação de informações e experiências na memória[574]. As evidências neurocientíficas indicam que a ativação de distintos circuitos neurais que processam informações sensoriais diversificadas de visão, olfato, forma, sabor, entre outras, resulta em um número maior de representações mentais da experiência vivida, abrangendo os seus diversos aspectos[575]. Todo esse processamento multissensorial contribui para a formação de uma rede de memória mais robusta[576].

Estudo realizado por pesquisadores americanos[577], com universitários aprendendo conceitos de física, constatou que a experiência com objetos, como uma roda de bicicleta, possibilitando aos estudantes experimentarem as forças associadas ao movimento da roda, contribuiu para o aprendizado dos conceitos científicos de torque e momento angular. A melhor compreensão dos estudantes teve relação com a ativação de regiões cerebrais sensoriais e motoras quando eles raciocinaram, posteriormente, sobre o momento angular. O contato físico com o objeto acrescentou detalhes e significados cinéticos ao pensamento dos estudantes. O estudo esclarece como uma aprendizagem multissensorial contribui para melhor codificação, compreensão e fixação dos conceitos na memória.

568 Roediger, H. L., & McDermott, K. B. (2018). Remembering what we learn.
Soderstrom, N.C., & Bjork, R. A (2015). Learning versus performance: An integrative review.

569 Sekeres, M. J. *et al.* (2018). The hippocampus and related neocortical structures in memory transformation.

570 van Kesteren, M. T. R., & Meeter, M. (2020). How to optimize knowledge construction in the brain.
Squire, L. *et al.* (2015). Memory consolidation.

571 Thelen, A., & Murray, M. (2013). The efficacy of single-trial multisensory memories.
Shams, L., & Seitz, A. (2008). Benefits of multisensory learning.

572 Denervaud, S. *et al.* (2020). Multisensory gains in simple detection predict global cognition in schoolchildren.

573 Chi, M.T. (2009). Active-constructive-interactive: A conceptual framework for differentiating learning activities.

574 Clewett, D. *et al.* (2019). Transcending time in the brain: How event memories are constructed from experience.

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

576 van Atteveldt, N. *et al.* (2014). Multisensory integration: Flexible use of general operations.

577 Kontra, C. *et al.* (2015). Physical experience enhances science learning.

Um conjunto de evidências[578] esclarece que a elaboração de uma informação nova ocorre quando ela se relaciona com uma informação já registrada na memória[579]. Na perspectiva neural, a nova informação ativa neurônios de circuitos neurais já estabelecidos como memória[580] e isso facilita a compreensão da nova informação, dando sentido a ela, favorecendo seu registro[581] e ampliando a representação da informação já armazenada[582]. Dessa forma, incorporamos mais facilmente novas informações quando elas estão relacionadas a um conhecimento já arquivado[583].

Estudo realizado por pesquisadores da Holanda, da França e dos Estados Unidos[584] demonstrou que áreas cerebrais que processam a memória (hipocampo) e o conhecimento prévio (**córtex pré-frontal**) são ativadas em uma situação em que um novo estímulo, relacionado a um conhecimento prévio, é apresentado. Várias pesquisas reforçam a participação do conhecimento prévio na formação de novas memórias[585] e na consolidação de memórias já estabelecidas[586] e, também, o seu papel no contexto educacional[587], indicando que a construção do conhecimento ocorre pela reintegração de conhecimento prévio durante a nova aprendizagem[588], integrando o que o estudante está aprendendo com o que já foi aprendido.

A elaboração gera novas representações mentais a partir de representações já armazenadas. Esse conjunto de representações mentais que vão se formando e se reorganizando resultam no aprendizado ao longo da vida e são imprescindíveis para processos mentais mais complexos, como a aprendizagem de conceitos[589], aspecto crítico da cognição. Evidências neurocientíficas[590], obtidas pela combinação de medidas neurais e modelos computacionais, demonstram que a aprendizagem de conceitos depende da atividade integrada de vários circuitos neurais, não apenas os de memórias, mas também os de atenção, percepção e motivação.

578 Brod, G. *et al.* (2013). The influence of prior knowledge on memory: A developmental cognitive neuroscience perspective.

579 Schlichting, M. L., & Preston, A. R. (2015). Memory integration: Neural mechanisms and implications for behavior.

580 Brod, G. *et al.* (2015). Differences in the neural signature of remembering schema-congruent and schema-incongruent events.

581 Danker, J. F., & Anderson, J. R. (2010). The ghosts of brain states past: Remembering reactivates the brain regions engaged during encoding.

582 Gilboa, A., & Marlatt, H. (2017). Neurobiology of schemas and schema-mediated memory.

583 Greve, A. *et al.* (2019). Knowledge is power: Prior knowledge aids memory for both congruent and incongruent events, but in different ways.

584 van Kesteren, M. T. R. *et al.* (2020). Congruency and reactivation aid memory integration through reinstatement of prior knowledge.

585 van Kesteren, M. T. R. *et al.* (2016). Interactions between memory and new learning: Insights from fMRI multivoxel pattern analysis.

586 McKenzie, S., & Eichenbaum, H. (2011). Consolidation and reconsolidation: Two lives of memories?

587 Shing, Y. L, & Brod, G. (2016). Effects of prior knowledge on memory: Implications for education.

588 van Kesteren, M. T. R. *et al.* (2018). Integrating educational knowledge: Reactivation of prior knowledge during educational learning enhances memory integration.

589 Cetron, J. *et al.* (2020). Using the force: STEM knowledge and experience construct shared neural representations of engineering concepts.

590 Zeithamova, D. *et al.* (2019). Brain mechanisms of concept learning.

Há evidências da Neurociência de que a participação ativa do indivíduo no processamento da informação influencia seu registro na memória[591]. Pesquisadores da Universidade de Illinois [592] demonstraram que a memorização de figuras apresentadas na tela de um computador foi maior quando os próprios participantes utilizavam o mouse para fazer a figura aparecer do que quando elas apareciam sob comando do computador. Os dados de neuroimagem indicaram que esse aprendizado mais efetivo, sob controle voluntário do participante, envolve a ativação coordenada do hipocampo e de outras distintas áreas cerebrais relacionadas às memórias registradas, ao controle da atenção e ao planejamento de estratégias[593].

A oportunidade de o indivíduo explorar ativamente o que aprende permite melhor direcionamento da sua atenção para informações que devem ser obtidas com base no que ele já tem registrado na memória. Durante essa aprendizagem mais ativa, o cérebro também registra as estratégias mentais utilizadas nesse processo, o que otimiza a aprendizagem. Na prática, isso significa dizer que aprendizagem ativa é sinônimo de cérebro ativo.

Para além da conexão da nova informação com o conhecimento prévio, a elaboração mais efetiva de uma informação requer que sua representação mental seja utilizada de diversas maneiras pelo cérebro[594], por meio de processos cognitivos que envolvam uma complexidade maior, como analisar, avaliar e criar. Estudo realizado por pesquisadores americanos[595] demonstrou que estudantes universitários, ao resolverem problemas de física que exigiam um raciocínio mais complexo, ativavam não apenas áreas cerebrais relacionadas aos conceitos de física, armazenados como memória, mas também aquelas que processam percepção visual de movimentos, atenção e funções executivas. A ativação dessas áreas contribuiu para o sucesso na resolução do problema. Durante esses processos cognitivos mais complexos, a representação mental da informação estabelece associações com outros circuitos neurais, resultando em novas representações mentais, o que gera diferentes ideias e formas de pensar[596]. Essas novas associações tornam o registro da informação mais robusto.

591 Markant, D. B, & Gureckis, T. M. (2014). Is it better to select or to receive? Learning via active and passive hypothesis testing. Ruggeri, A., *et al.* (2019). Memory enhancements from active control of learning emerge across development.

592 Voss, J. L. *et al.* (2011). Hippocampal brain-network coordination during volitional exploratory behavior enhances learning.

593 Voss, J. L. *et al.* (2011). Cortical regions recruited for complex active-learning strategies and action planning exhibit rapid reactivation during memory retrieval.

594 Rosner, Z. A. *et al.* (2013). The generation effect: Activating broad neural circuits during memory encoding.

595 Bartley, J. E. *et al.* (2019). Brain activity links performance in science reasoning with conceptual approach.

596 Guerra-Carillo, B., & Buge, S. (2018). Eye gaze patterns reveal how reasoning skills improve with experience.

Para que novas representações mentais sejam consolidadas como memória de longa duração, é necessário que ocorra neuroplasticidade, o que leva à reorganização e ao fortalecimento das conexões entre os neurônios[597]. Por isso, a aprendizagem requer tempo[598]. O estudante precisa codificar as informações, repeti-las de forma ativa em situações diferenciadas e elaborá-las por meio de diferentes processos cognitivos. Além disso, é imprescindível que o estudante tenha oportunidades para recordar a informação[599]. A recordação corresponde à recuperação de uma informação da memória, o que ativa novamente os circuitos neurais relacionados àquela representação mental[600]. A cada oportunidade de reexposição e de recordação da informação armazenada, ocorre uma nova elaboração, consolidando, ainda mais, essa informação na memória. Memórias que não são reativadas ao longo do tempo tendem a ser perdidas[601]. Por isso, quando pensamos em aprendizado mais duradouro é preciso ter em mente a importância da recordação. Um conjunto de estudos neurocientíficos[602] ressalta o efeito benéfico da recordação de informações[603] e do consequente fortalecimento de seu registro[604].

Os processos de codificação, repetição, elaboração e recordação dependem de mecanismos celulares[605] desencadeados pela reativação dos circuitos neurais e influenciados por fatores diversos, especialmente pelos períodos de sono[606]. É durante o sono que ocorre a consolidação do que foi aprendido ao longo do dia[607]. Por isso, o sono é fundamental para a aprendizagem[608].

O conjunto de nossas memórias nos torna quem somos, modela nossas ideias, impacta a forma como nos sentimos e nos relacionamos. Elas são como peças de um caleidoscópio que, a depender das funções mentais que recrutamos, podem ser reorganizadas, gerando novos padrões de conhecimentos, habilidades e atitudes. A cada nova oportunidade de aprendizagem, os estudantes têm a possibilidade de acrescentar, mudar e tornar mais coloridas as peças do seu caleidoscópio, possibilitando a produção de infinitas novas combinações.

---

597 Schaefer, N. *et al.* (2017). The malleable brain: Plasticity of neural circuits and behavior – A review from students to students.

598 San Martin, A. *et al.* (2017). The spacing effect for structural synaptic plasticity provides specificity and precision in plastic changes.

599 Buhry, L. *et al.* (2011). Reactivation, replay, and preplay: How it might all fit together.

600 Robertson, E. M. & Genzel, L. (2020). Memories replayed: Reactivating past successes and new dilemmas.

601 MacLeod, S. *et al.* (2018). The mitigating effect of repeated memory reactivations on forgetting.

602 Feng, K. *et al.* (2019). Spaced learning enhances episodic memory by increasing neural pattern similarity across repetitions.
Zhao, X. *et al.* (2015). Neural mechanisms of the spacing effect in episodic memory: A parallel EEG and fMRI study.

603 Roediger, H., & Butler, A. (2011). The critical role of retrieval practice in long-term retention.

604 Tambini, A., & Davachi, L. (2019). Awake reactivation of prior experiences consolidates memories and biases cognition.

605 Korte, M., & Schmitz, D. (2016). Cellular and system biology of memory: Timing, molecules, and beyond.
Sekeres, M. *et al.* (2017). Mechanisms of memory consolidation and transformation.

606 Lewis, P., & Durrant, S. (2011). Overlapping memory replay during sleep builds cognitive schemata.

607 Ribeiro, S., & Stickgold, R. (2014). Sleep and school education.

608 Okano, K. *et al.* (2019). Sleep quality, duration, and consistency are associated with better academic performance in college students.



Transformando o princípio 9 em ação

O tema da aprendizagem ativa tem sido constante na pesquisa científica nos campos da Psicologia Cognitiva e da Educação. A Neurociência, por sua vez, esclarece que, na perspectiva do funcionamento cerebral, a aprendizagem ativa mobiliza circuitos neurais envolvidos com muitos e distintos processos cognitivos e emocionais, o que leva a mudanças físicas cerebrais mais significativas e de mais longa duração no cérebro[609]. Na sala de aula, isso se traduz na escolha de metodologias de ensino e no desenho de atividades que favoreçam o engajamento efetivo do estudante, por meio da motivação e dos processos de constituição de sentido durante a aprendizagem, temas que já foram abordados anteriormente neste capítulo.

A memória tem importância nuclear para a aprendizagem, mas não deve ser confundida com a aprendizagem. A Neurociência esclarece que, enquanto a aprendizagem diz respeito ao processo de aquisição de novos conhecimentos, habilidades e atitudes, a memória refere-se ao nível de persistência desses registros no sistema nervoso[610]. Alguns registros não se consolidam na memória de longa duração e não chegam a se constituir numa aprendizagem efetiva, pois são logo esquecidos[611]. Aprendizagem duradoura depende da formação e estabilização de novas conexões sinápticas, o que requer repetição diversificada e tempo para elaboração, recordação e consolidação na memória de longa duração[612].

O foco excessivo da pedagogia tradicional nos processos de memorização promoveu uma "condenação" à memória. Porém, o debate no campo da educação não pode estar centrado no antagonismo "memorizar *versus* não memorizar", pois a importância da memória para a aprendizagem é inquestionável. O que deve estar no centro do debate da Educação do século XXI é como potencializar os processos de memória de longa duração que levam a uma aprendizagem efetiva sem utilizar as estratégias pedagógicas repetitivas, enfadonhas e sem sentido baseadas em metodologias de transmissão passiva de informações. O avanço da pesquisa no campo da Neurociência[613] nos permite, hoje, compreender quais são os fatores que precisam ser considerados para promover uma

609 Owens, M. T., & Tanner, K. D. (2017). Teaching as brain changing: Exploring connections between neuroscience and innovative teaching.
Markant, D. *et al.* (2016). Enhanced memory as a common effect of active learning.
Voss, J. L. *et al.* (2011). Cortical regions recruited for complex active-learning strategies and action planning exhibit rapid reactivation during memory retrieval.

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

611 Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory?
Richards, B. A., & Frankland, P. W. (2017). The persistence and transience of memory.

612 van Kesteren, M. T. R., & Meeter, M. (2020). How to optimize knowledge construction in the brain.
Eichenbaum, H. (2017). Memory: Organization and control.

613 Mayer, R. E. (2017). How can brain research inform academic learning and instruction?
Dubinsky, J. *et al.* (2019). Contributions of neuroscience knowledge to teachers and their practice.

educação inovadora, na qual os estudantes possam ir além da "decoreba" e alcançar uma aprendizagem duradoura e plena de sentido, que se traduza em um acervo pessoal sólido de conhecimentos e habilidades.

A seguir, será apresentado um conjunto de sugestões que favorecem a aprendizagem ativa, especialmente no que diz respeito ao processamento cognitivo das informações e à sua consolidação na memória de longa duração.

Favoreça a repetição diversificada. Evidências científicas revelam que o aprendizado começa quando o cérebro processa informações e não quando ele tem acesso a informações[614]. O estudante pode ter acesso a muitas informações ao longo do dia pela internet, por meio da leitura de um livro ou da transmissão pelo professor, mas apenas o acesso não garante que essas informações sejam aprendidas. Para que uma informação seja registrada de forma mais definitiva no cérebro, é necessário um trabalho adicional. Depois que ela passa pelo filtro da atenção, essa informação precisa passar pelos processos de repetição, elaboração, recordação e consolidação para que seja registrada na memória de longa duração. Em relação à repetição, o fundamental é que ela seja diversificada[615] e relevante. Daí a importância da diversidade no processo educativo. O professor deve criar oportunidades para que o mesmo conteúdo seja trabalhado de formas diferentes, em níveis crescentes de complexidade e em atividades significativas para os estudantes. É fundamental utilizar os variados canais sensoriais de acesso ao cérebro e de processamento da informação[616]. Escutar e escrever, ver e rever vídeos, ler e discutir, levantar hipóteses, tirar dúvidas, fazer apontamentos, errar e buscar outros caminhos, explicar para os colegas, fazer mapa mental, ter experiências sensoriais, tudo isso favorece o estabelecimento e o fortalecimento de sinapses e dá oportunidade para que os circuitos neurais envolvidos com aquela informação sejam ativados com mais frequência, formando uma rede de memória mais robusta[617]. Ver um conteúdo de maneira superficial, passar rapidamente para outro e só voltar a resgatá-lo no momento da avaliação não permite o processamento neural necessário para uma aprendizagem efetiva. Em contrapartida, informações repetidas, de forma diferenciada e relevante, resultarão em novas conexões nervosas, estabilizadas no cérebro[618]. Elas se constituirão em registros fortes, que tendem a resistir ao tempo.

614 Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2008). Learning by viewing versus learning by doing: Evidence-based guidelines for principled learning environments.

615 Denervaud, S. *et al.* (2020). Multisensory gains in simple detection predict global cognition in schoolchildren.
Chi, M. T. (2009). Active-constructive-interactive: A conceptual framework for differentiating learning activities

616 Shams, L., & Seitz, A. R. (2008). Benefits of multisensory learning.
Broadbent, H. *et al.* (2018). Withstanding the test of time: Multisensory cues improve the delayed retention of incidental learning.

617 van Atteveldt, N. *et al.* (2014). Multisensory integration: Flexible use of general operations.

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

Promova a elaboração. Pesquisas[619] indicam que a recuperação da informação será mais eficiente dependendo da maneira como ela foi armazenada. Quando se estuda apenas às vésperas da prova, acumulando grande número de informações sem muita elaboração, o resultado é um rápido esquecimento. A elaboração diz respeito ao processo crescente de compreensão de uma informação, relacionado à ativação de um conjunto de processos cognitivos e de constituição de sentido. Um primeiro ponto a ser destacado é que a elaboração corresponde à associação da nova informação com registros já existentes no cérebro[620]. Nessa direção, as descobertas da Neurociência coincidem com a ideia proposta pelo psicólogo americano David Ausubel, segundo a qual a aprendizagem significativa ocorre quando o estudante conecta uma nova informação a um conhecimento prévio[621]. Quanto mais associações ou "ganchos" o estudante estabelecer com as informações que já tem arquivadas[622], melhor será, pois ele poderá entender o novo aprendizado com base no que sabe sobre o mundo[623]. São essas conexões que o estudante faz que favorecem a vinculação de uma nova informação ao seu acervo singular de memórias, contribuindo para a constituição de sentido em relação ao que está aprendendo. Constituir sentido significa ir além do significado de uma informação. O significado é universal e comum para todos. O sentido, por sua vez, é único, particular e está vinculado à história pessoal de cada estudante[624].

A elaboração também ocorre quando o cérebro trabalha a nova informação usando diferentes tipos de processamento cognitivo. O nível de complexidade dos processos de elaboração[625] contribui para que a nova informação vá se estabilizando cada vez mais no cérebro. Para isso, é importante que os estudantes processem as novas informações utilizando processos cognitivos diversos, como os propostos na taxonomia de Bloom[626] (lembrar, compreender, aplicar, analisar, avaliar e criar). Os três primeiros verbos da taxonomia de Bloom (lembrar, compreender, aplicar) descrevem processos cognitivos nos quais o estudante se lembra e se concentra naquilo que é conhecido e compreendido por ele. Já nos três seguintes (analisar, avaliar e criar), o estudante mobiliza processos cognitivos que geram novas relações, descobertas ou ideias que não

619 Klein-Flügge, M. *et al.* (2019). Multiple associative structures created by reinforcement and incidental statistical learning mechanisms.

620 van Kesteren, M. T. R. *et al.* (2018). Integrating educational knowledge: Reactivation of prior knowledge during educational learning enhances memory integration.
Shing, Y. L., & Brod, G. (2016). Effects of prior knowledge on memory: Implications for education.

621 Agra, G. *et al.* (2019). Analysis of the concept of meaningful learning in light of the Ausubel's theory.

622 van Kesteren, M. T. R. *et al.* (2020). Congruency and reactivation aid memory integration through reinstatement of prior knowledge.
Tambini, A., & Davachi, L. (2019). Awake reactivation of prior experiences consolidates memories and biases cognition.

623 Watagodakumbura, C. (2015). Some useful pedagogical practices: Educational Neuroscience perspective.

624 Vygotsky, L. V. (2001). *A construção do pensamento e da linguagem.*

625 Bartley, J. *et al.* (2019). Brain activity links performance in science reasoning with conceptual approach.

626 Agarwal, P. K. (2019). Retrieval practice & Bloom's taxonomy: Do students need fact knowledge before higher order learning?

faziam parte da informação original[627]. Para mobilizar todos esses processos cognitivos, é fundamental que o professor promova a aprendizagem ativa fazendo perguntas, gerando situações-problema, mobilizando a imaginação, pois cada vez que o estudante tem oportunidades para recordar e elaborar a informação em um nível maior de complexidade cognitiva, mais ele fortalece o seu registro na memória de longa duração[628].

Dê tempo ao cérebro. Não aprendemos de um dia para o outro. Aprendizagem requer tempo, esforço e investimento cognitivo e emocional do estudante. Por isso, as escolas devem contribuir para esse investimento, definindo o currículo e escolhendo metodologias de ensino. Esses são passos definitivos para o sucesso da aprendizagem. Um currículo enciclopédico não oferece tempo para a repetição diversificada e a elaboração complexa dos conteúdos escolares. Os estudantes ficam na superfície das informações. Eles decoram fatos, datas e fórmulas, mas não conseguem ir além, pois ficam presos no compromisso de repetir informações. Metodologias passivas, por sua vez, não favorecem a aprendizagem significativa e duradoura, pois retiram o estudante do centro do processo educativo. O estudante precisa de tempo e incentivo do professor para pensar, conectar informações e constituir sentido sobre o que aprende. Prática e repetição espaçada por um período de tempo facilitam a consolidação da informação na memória de longa duração. As mudanças cerebrais que promovem a aprendizagem também exigem períodos de sono[629]. Enquanto dormimos, o cérebro passa a limpo as experiências vividas e as informações recebidas durante o dia, tornando mais estáveis e definitivas aquelas que são mais significativas. Nesse sentido, é importante ampliar a compreensão dos estudantes e dos pais sobre a importância do sono para a aprendizagem[630]. O cérebro também precisa de descanso, de momentos de repouso e de lazer para fazer uma "higiene mental" e depois voltar renovado para retomar as tarefas[631].

Utilize metodologias ativas. As metodologias ativas propiciam ao estudante aprender por meio de uma construção ativa do próprio conhecimento, por isso se concentram mais no desenvolvimento das habilidades cognitivas e socioemocionais dos estudantes do que na transmissão passiva de informações[632]. Elas exigem um engajamento cognitivo e emocional ao colocar o estudante em ação, favorecendo a exploração das próprias ideias, experiências, atitudes e valores. Geralmente envolvem trabalho em equipe,

627 Watagodakumbura, C. (2015). Some useful pedagogical practices: Educational Neuroscience perspective.

628 MacLeod, S. *et al.* (2018). The mitigating effect of repeated memory reactivations on forgetting.
Roediger, H., L. & Butler, A. C. (2011). The critical role of retrieval practice in long-term retention.

629 Abel, T. *et al.* (2013). Sleep, plasticity and memory from molecules to whole-brain networks.
Acosta, M. T. (2019). Sueño, memoria y aprendizaje.
Lemos, N. *et al.* (2014). Naps in school can enhance the duration of declarative memories learned by adolescents.

630 Ribeiro, S., & Stickgold, R. (2014). Sleep and school education.

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

632 Konopka, C. *et al.* (2015). Active teaching and learning methodologies: Some considerations.

propiciando a aprendizagem colaborativa por meio da interação entre os estudantes[633]. Essas estratégias são idealmente usadas para ampliar a motivação e a autonomia dos estudantes e estimulá-los a pensar de forma crítica e criativa[634]. As evidências sugerem que as metodologias ativas ajudam os estudantes a aprender com mais eficácia[635] ao oferecer maior autonomia e responsabilização pelo próprio processo de aprendizagem. Uma série de atividades e propostas podem se enquadrar dentro do espectro das metodologias ativas, variando desde algo simples e que requer pouco tempo (por exemplo, fazer pausas na aula para permitir que os estudantes esclareçam e organizem suas ideias discutindo com os colegas) até algo mais complexo (por exemplo, trabalhar com situações-problema) que requer um tempo maior para desenvolvimento. As metodologias ativas mais utilizadas atualmente são: aprendizagem baseada em problemas, aprendizagem baseada em projetos, sala de aula invertida, estudos de caso, aprendizagem em pares, rotação por estações. Não vamos especificar aqui todas as metodologias ativas, pois foge ao propósito deste estudo, mas existe vasta literatura sobre cada uma delas[636].

Estudar às vésperas da prova, acumulando informações sem muita elaboração, resulta em rápido esquecimento. Para uma informação ser registrada de forma mais definitiva no cérebro, ela precisa passar pelos processos de repetição, elaboração, recordação e consolidação. Isso requer tempo e a utilização de metodologias ativas.

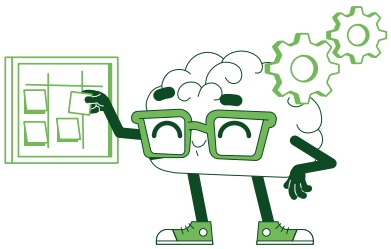
633 Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research.

634 Coil, D. *et al.* (2010). Teaching the process of science: Faculty perceptions and an effective methodology.

635 Freeman, S. *et al.* (2014). Active learning increases students' performance in science, engineering, and mathematics.
Michael, J. (2006). Where's the evidence that active learning works?
Beichner, R. J. (2014). History and evolution of active learning spaces.
Ruiz-Primo, M. *et al.* (2011). Impact of undergraduate science course innovations on learning.

636 Paiva, M. *et al.* (2016). Metodologias ativas de ensino-aprendizagem: Revisão integrativa.

6.10 A AUTORREGULAÇÃO E A METACOGNIÇÃO POTENCIALIZAM A APRENDIZAGEM



A complexidade inerente à vida contemporânea exige, cada vez mais, a capacidade de autodirigir a própria aprendizagem, não apenas durante a escolaridade formal para realizações acadêmicas, mas também para o desenvolvimento profissional futuro e a aprendizagem ao longo da vida[637]. As evidências científicas indicam que aprender a direcionar tempo e energia para as formas mais produtivas de estudar e aprender resulta em uma experiência de aprendizado mais efetiva e gratificante que, por sua vez, pode aumentar a autoeficácia e a motivação[638]. A chave é aprender a monitorar e refletir sobre o próprio processo de aprendizagem, mas isso não é algo que vem naturalmente para a maioria dos estudantes. É aqui que o professor pode fazer a diferença.

O primeiro passo para que o professor tenha êxito nessa tarefa é compreender quais são os processos relacionados à aprendizagem autorregulada. A partir desse entendimento, ele pode desenhar estratégias para ajudar os estudantes a desenvolverem rotinas de aprendizado que gerem melhores resultados. A aprendizagem autorregulada é a aplicação da metacognição e da autorregulação à aprendizagem[639].

A autorregulação[640] refere-se à capacidade de monitorar e controlar as próprias emoções e comportamentos. Ela modula as expressões emocionais (positivas ou negativas), possibilitando a interação com os outros de maneiras cada vez mais complexas, de acordo com as regras sociais. Ela está atrelada, também, à capacidade de direcionar comportamentos para resolução de tarefas e de orientar ações para o alcance de metas. A metacognição, por sua vez, refere-se ao processo de tomada de consciência e monitoramento das etapas de pensamento[641]. É importante destacar que, na perspectiva da Neurociência, a autorregulação e a metacognição[642] são integradas pois, no **cérebro**, esses processos estão intrinsecamente inter-relacionados e envolvem alguns substratos neurais comuns e interdependentes[643].

637 Wride, M. (2017). *Guide to self-assessment.*

638 Education Endowment Foundation (2018). *Metacognition and self-regulated learning.*

639 Mannion J. (2018) *Metacognition, self-regulation, oracy: A mixed methods case study of a complex, whole-school learning to learn intervention.*

640 Kelley, W. M. *et al.* (2015). In search of a human self-regulation system.

641 Metcalfe, J., & Schwartz, B. L. (2016). The ghost in the machine: Self-reflective consciousness and the neuroscience of metacognition.

642 Ardila, A. (2016). Is "self-consciousness" equivalent to "executive function"?

643 Roebers, C. M. (2017) Executive function and metacognition: Towards a unifying framework of cognitive self-regulation.

As **funções executivas** constituem a base da autorregulação[644]. Na perspectiva do funcionamento cerebral, as funções executivas são essenciais à aprendizagem autorregulada, pois possibilitam ao estudante monitorar pensamentos; inibir comportamentos que podem interferir no desempenho de uma tarefa; tomar decisões; gerenciar o tempo; armazenar e manipular informações necessárias à realização da tarefa durante um período curto de tempo; detectar "erros", sinalizando necessidade de ajustes; e, ainda, alternar de maneira flexível entre as ideias sobre como realizar a tarefa[645]. O papel das funções executivas não se limita apenas aos aspectos cognitivos. O **córtex pré-frontal** tem conexões com as áreas cerebrais que processam emoção e motivação e, por isso, ele também monitora e regula as emoções[646] que o estudante vivencia e favorece o manejo de habilidades socioemocionais[647].

Com o suporte das funções executivas[648], a metacognição[649] possibilita ao estudante monitorar o processamento das informações em andamento[650] (*"estou fazendo progresso suficiente na tarefa?"*); avaliar o domínio atual sobre a tarefa e o uso da estratégia (*"existe uma maneira melhor de resolver a tarefa?"*); experimentar e relatar diferentes níveis de certeza ou incerteza (*"não tenho certeza se lembrarei disso mais tarde"*). Esse monitoramento depende da capacidade do cérebro de tomar consciência e refletir sobre a experiência de aprendizagem considerando emoções, memórias e crenças construídas ao longo da história de vida do indivíduo[651].

Analisar e aprender com os próprios erros é um dos importantes processos metacognitivos. A Neurociência revela que os erros cometidos durante o processo de aprendizagem podem ser oportunidades para um desempenho mais efetivo[652]. Pesquisadores americanos desenvolveram um estudo[653] com escolares com idade em torno de 7 anos e demonstraram que eles, ao perceberem ter cometido um erro em determinada tarefa, apresentavam aumento da atividade cerebral em área relacionada ao monitoramento de erros. Essa ativação levava as crianças a prestar mais atenção ao erro cometido, contribuindo para que tivessem mais acertos em tarefas subsequentes.

644 Heatherton, T. F. (2011). Neuroscience of self and self-regulation.
Hofmann, W. *et al.* (2012) Executive functions and self-regulation.

645 Zelazo, P. D. et al. (2016*). Executive function: Implications for education.*
Roebers, C. M., & Feurer, E. (2016). Linking executive functions and procedural metacognition.

646 Moriguchi, Y. (2014). The early development of executive function and its relation to social interaction: A brief review.

647 Liew, J. (2012). Effortful control, executive functions, and education: Bringing self-regulatory and social-emotional competencies to the table.

648 Kim, N. Y. *et al.* (2017). Behavioral and neural correlates of executive function: Interplay between inhibition and updating processes.

649 Vaccaro, A. G., & Fleming, S. M. (2018). Thinking about thinking: A coordinate-based meta-analysis of neuroimaging studies of metacognitive judgements.

650 Lyons, K. E., & Zelazo, P. D. (2011). Monitoring, metacognition, and executive function: Elucidating the role of self-reflection in the development of self-regulation.

651 Metcalfe, J., & Schwartz, B. L. (2016). The ghost in the machine: Self-reflective consciousness and the neuroscience of metacognition.

652 Metcalfe, J. (2017). Learning from errors.

653 Schroder, H. S. *et al.* (2017). Neural evidence for enhanced attention to mistakes among school-aged children with a growth mindset.

Estudos de neuroimagem confirmam que os circuitos neurais relacionados à metacognição e às funções executivas estão presentes ao nascimento[654], mas só se desenvolvem a partir das interações promovidas pelas experiências[655] num ambiente de aprendizagem, seja na escola, na família ou na comunidade[656]. Desde os primeiros anos de vida, as crianças já apresentam manifestações dessas funções[657], que podem e devem ser aprimoradas ao longo dos anos[658]. Assim, as capacidades de monitorar o comportamento, planejar estratégias e solucionar problemas aumentam gradativamente, o que possibilita exercitar a aprendizagem autorregulada desde o início da escolarização e aperfeiçoá-la durante os anos subsequentes[659].

Estudo realizado por pesquisadores do Instituto Max Planck na Alemanha e da Universidade da Califórnia nos Estados Unidos[660], que acompanhou crianças entre 5 e 6 anos ao longo de um ano escolar, revelou que, ao estimular a realização de tarefas cognitivamente mais exigentes, o ambiente escolar contribuiu para o desenvolvimento de regiões cerebrais que participam da rede neural relacionada às funções executivas, responsáveis pela aprendizagem autorregulada. Tal conclusão reforça a importância nuclear de o professor desenvolver, com intencionalidade, estratégias que favoreçam processos metacognitivos e de autorregulação da aprendizagem[661].

Transformando o princípio 10 em ação

Para que os estudantes possam desenvolver os processos de metacognição e autorregulação, o professor precisa criar oportunidades para que eles, de forma ativa e sistemática, planejem e se organizem para realização das tarefas, monitorem seu desempenho e depois reflitam sobre o resultado[662]. Pesquisas indicam que há uma relação positiva entre aprendizagem autorregulada e desempenho acadêmico[663], o que reforça a necessidade de investimento de esforços dos professores nessa direção. O tema da autorregulação das emoções foi abordado anteriormente neste capítulo no princípio 5

654 Fiske, A., & Holmboe, K. (2019). Neural substrates of early executive function development.
Engelhardt, L. E. *et al.* (2019). The neural architecture of executive functions is established by middle childhood.

655 Diamond, A. (2014). Want to optimize executive functions and academic outcomes? Simple, just nourish the human spirit.

656 Diamond, A., & Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not.

657 Roebers, C. M. (2017). Executive function and metacognition: Towards a unifying framework of cognitive self-regulation.

658 Zelazo, P. D., & Carlson, S. M. (2012). Hot and cool executive function in childhood and adolescence: development and plasticity.

659 Blair, C. (2016). Executive function and early childhood education.

660 Brod, G. *et al.* (2017). Does one year of schooling improve children's cognitive control and alter associated brain activation?

661 Son, L. K. *et al.* (2020). *Metacognition: How to improve students' reflections on learning.*

662 Zimmerman, B. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview.

663 Mega, C. *et al.* (2014). What makes a good student? How emotions, self-regulated learning, and motivation contribute to academic achievement.
Dent, A. L., & Koenka, A. C (2016). The relation between self-regulated learning and academic achievement across childhood and adolescence: A meta-analysis.

– *A emoção orienta a aprendizagem*. Aqui vamos destacar, especialmente, estratégias pedagógicas voltadas para outros aspectos da aprendizagem autorregulada, como o desenvolvimento da autonomia e da metacognição.

Desenvolva a autonomia. A aprendizagem autorregulada está relacionada à capacidade do estudante de autodirigir o processo de aprendizado, planejando seu tempo, desenvolvendo estratégias de estudo, buscando informações por conta própria, resolvendo problemas de forma proativa, tomando decisões e fazendo escolhas consistentes com seus projetos de vida. Tudo isso se traduz em autonomia, capacidade que se desenvolve paulatinamente desde o início da vida escolar, mas que requer estímulos específicos, tendo em vista o potencial e as características de cada fase do desenvolvimento. Para avançar nessa direção, é preciso que os estudantes tenham oportunidades para incorporar a ideia de que aprender não se limita a seguir as lições indicadas pelo professor, fazer os exercícios e realizar as provas previstas no calendário escolar. Para mudar essa concepção de aprendizagem, a escola precisa trabalhar com metodologias ativas que coloquem o estudante no centro do processo educativo e ofereçam espaço para que ele exercite a sua autonomia, fazendo escolhas de tópicos, exercitando o pensamento crítico, gerando ideias de forma independente, desenvolvendo projetos com temas de interesse próprio, refletindo e autoavaliando a sua aprendizagem. Pesquisas[664] revelam que o papel do professor é primordial no desenvolvimento da autonomia e que esse objetivo deve estar no centro da prática pedagógica, pois a autorregulação da aprendizagem é preditora de maior motivação e autoconfiança[665].

Oriente a metacognição. No mundo da educação, a metacognição foi atrelada a termos como "pensar sobre o pensar", "aprender a aprender" e "aprender a estudar". Pesquisas indicam que a metacognição é uma alavanca poderosa para impulsionar a aprendizagem autorregulada[666] e que ela pode começar a ser desenvolvida desde a pré-escola[667], mas esse processo costuma ser pouco estimulado em qualquer estágio da educação[668]. No contexto da aprendizagem, a metacognição corresponde à capacidade de os estudantes planejarem, monitorarem e avaliarem o próprio progresso acadêmico[669]. A maioria dos estudantes não desenvolve estratégias metacognitivas espontaneamente. Portanto, é fundamental que o professor forneça instruções explícitas para que eles possam

664 Nguyen, C. T. (2012). The roles of teachers in fostering autonomous learning at the university level. Sierens, E. *et al.* (2008). The synergistic relationship of perceived autonomy support and structure in the prediction of self-regulated learning.

665 Guay, F. *et al.* (2010). Academic self-concept, autonomous academic motivation, and academic achievement: Mediating and additive effects.

666 Zepeda, C. *et al.* (2015). Direct instruction of metacognition benefits adolescent science learning, transfer, and motivation: An in vivo study.

667 Destan, N. *et al.* (2014). Early metacognitive abilities: The interplay of monitoring and control processes in 5- to 7-year-old children.

668 Watkins, C. *et al.* (2001). Learning about learning enhances performance.

669 Education Endowment Foundation (2018). *Metacognition and self-regulated learning.*

desenvolver a capacidade de gerenciar seu aprendizado de forma independente. O professor pode criar uma cultura de sala de aula mais reflexiva, incentivando o diálogo, fazendo perguntas desafiadoras e orientando os estudantes com *feedback* constante, para que eles possam reconhecer seus pontos fortes e fracos, identificar lacunas de conhecimentos e, principalmente, reconhecer no próprio erro uma oportunidade de avançar na aprendizagem[670]. O fundamental é levar os estudantes a criar o hábito de fazerem perguntas a si mesmos: *"obtive os resultados que esperava?", "existe algo que eu ainda não compreendi?", "em quais pontos preciso avançar?", "qual estratégia de estudo seria mais eficiente?", "consegui identificar os conceitos mais relevantes?", "me esforcei o suficiente?", "quanto tempo vou precisar para fazer essa tarefa?", "revi os meus erros?", "o que eu poderia fazer diferente da próxima vez para ter melhores resultados?"*. Essas reflexões são fundamentais para que os estudantes aprendam a autodirigir a aprendizagem e ganhem autonomia para superar problemas complexos ou inesperados. A seguir, serão apresentadas duas importantes estratégias que favorecem a metacognição no processo de aprendizagem: tornar o pensamento visível e realizar a autoavaliação.

Torne o pensamento visível. Uma importante estratégia de metacognição é tornar o próprio pensamento visível. Embora os estudantes possam supor como chegaram a uma conclusão, a possibilidade de registrar ou comunicar aquilo que pensam favorece sua compreensão e fortalece o aprendizado. De fato, quando os estudantes falam, escrevem ou desenham suas ideias, eles aprofundam sua cognição[671]. O Projeto Zero[672], da Universidade Harvard, criou a iniciativa chamada de Pensamento Visível (*Visible Thinking*[673]) com o propósito de desenvolver metodologias para transformar os estudantes em melhores pensadores. Os pesquisadores desenvolveram mais de 100 Rotinas de Pensamento, para as diferentes disciplinas, em colaboração com professores do ensino fundamental e médio de escolas nos Estados Unidos, na Holanda, na Suécia, na Bélgica e na Austrália. O objetivo das Rotinas de Pensamento é impulsionar, orientar e tornar visível os processos de pensamento dos estudantes, incentivando a aprendizagem ativa. A ideia dos pesquisadores é que, ao introduzir e praticar as rotinas de pensamento, os professores estimulam padrões de pensamento nos estudantes que tendem a se tornar um hábito e a extrapolar o contexto escolar. Foram elaboradas rotinas de pensamento para todas as disciplinas e elas estão disponíveis gratuitamente no *site* do Projeto Zero[674].

670 Metcalfe, J. (2017). Learning from errors.

671 Ritchhart, R., & Perkins, D. (2008). Making thinking visible: How to promote engagement, understanding, and independence for all learners.

672 http://www.pz.harvard.edu/

673 https://pz.harvard.edu/projects/visible-thinking

674 https://pz.harvard.edu/thinking-routines#CoreThinkingRoutines

Outra estratégia que contribui para o estudante tornar o pensamento visível é a elaboração de representações gráficas de conceitos e ideias por meio de mapas mentais[675] ou mapas conceituais[676]. O mapa mental é utilizado para organizar visualmente conceitos e ideias. Ele é construído partindo-se de um conceito principal que fica no centro do diagrama, do qual ramificam outros conceitos a ele associados. São utilizadas palavras-chave, imagens, desenhos e cores diferentes para destacar informações. Uma característica desse tipo de mapa é que ele permite uma marca pessoal, pois o estudante organiza as informações e cria ramificações da maneira como ele entende o conteúdo, facilitando sua compreensão e aprendizagem. As palavras-chave e imagens desencadeiam lembranças específicas e estimulam novas reflexões e ideias, favorecendo a criatividade e a associação com conhecimentos prévios. O mapa conceitual, por sua vez, é um diagrama que representa uma rede de conceitos interconectados. Nesse tipo de mapa, os conceitos são dispostos em caixas e são utilizadas flechas para demonstrar as relações entre eles. A elaboração de mapas conceituais favorece a aprendizagem, pois permite ao estudante resumir ou destrinchar conceitos, analisar problemas complexos e identificar soluções.

Abra espaço para autoavaliação. A autoavaliação é um processo que mobiliza tanto a metacognição quanto a autorregulação das emoções e do comportamento, pois convoca o estudante a refletir sobre o próprio aprendizado[677]. Ao promover a autoavaliação, o professor pode aumentar o nível de interesse e engajamento, levando a melhor desempenho acadêmico[678], por meio da compreensão dos estudantes das suas possibilidades e dificuldades e da identificação das estratégias que mais favorecem a sua aprendizagem. Os pesquisadores[679] argumentam que a autoavaliação deve ser um tipo formativo de avaliação, que ocorra ao longo do processo de aprendizagem, permitindo ao estudante mudar a estratégia ou o próprio comportamento na busca de melhores resultados[680]. Para favorecer processos de autoavaliação, o professor precisa desenhar instrumentos e utilizá-los de forma estruturada e sistemática. É fundamental também que, antes de implementar uma abordagem de autoavaliação, o professor ofereça instruções explícitas para que os estudantes entendam o que fazer e também dialogue com eles construindo decisões conjuntas sobre os critérios da autoavaliação[681].

675 Edwards, S., & Cooper, N. (2010). Mind mapping as a teaching resource.

676 Schroeder, N. L. *et al.* (2018). Studying and constructing concept maps: A meta-analysis.

677 Sharma, R. *et al.* (2016). Impact of self-assessment by students on their learning.

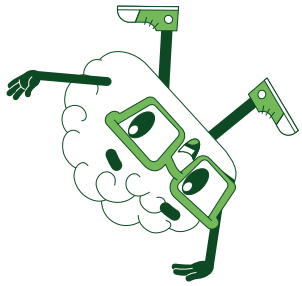
678 Yan, Z. (2020). Self-assessment in the process of self-regulated learning and its relationship with academic achievement. Chen, P. *et al* (2017). Strategic resource use for learning: A self-administered intervention that guides self-reflection on effective resource use enhances academic performance.

679 Andrade, H. G., & Anna Valtcheva, A. V. (2009). Promoting learning and achievement through self-assessment.

680 Pandero, E. *et al.* (2017). Effects of self-assessment on self-regulated learning and self-efficacy: Four meta-analyses.

681 Wride, M. (2017). *Guide to self-assessment.*

6.11 QUANDO O CORPO PARTICIPA, A APRENDIZAGEM É MAIS EFETIVA



O **cérebro** é parte do nosso corpo. Se, por um lado, o cérebro parece controlar o corpo, por outro, são as diversas partes do corpo que ativam o cérebro. É por meio do corpo como um todo que o aprendiz vivencia, processa e registra experiências que mudam o cérebro, ao promoverem conexões neurais por meio da **neuroplasticidade**. Além disso, o corpo é o palco das nossas emoções. Ao agir e interagir, experienciamos emoções que exercem papel central nos processos de atenção, motivação e memória[682]. As pesquisas neurocientíficas[683] indicam que a aprendizagem depende da troca mútua entre o cérebro e todas as partes do corpo. Tais evidências contrastam com a passividade dos estudantes na maioria dos sistemas escolares.

Pesquisadores da Universidade de Cambridge[684] esclarecem que nenhuma **representação mental** complexa pode estar localizada em uma única parte do cérebro e que, de fato, processos complexos são codificados pela interação de vários **circuitos neurais** interconectados[685]. As descobertas no campo da Neurociência[686] mostram que os processos complexos característicos da aprendizagem, como raciocínio, tomada de decisão, linguagem, leitura e raciocínio matemático, ocorrem de forma integrada com as emoções, as sensações e os movimentos, isto é, com o corpo inteiro. A aprendizagem emerge da interação dinâmica entre o corpo e o ambiente que se modificam reciprocamente.

O impacto do movimento na estrutura e no funcionamento cerebrais vai muito além do condicionamento físico e do desenvolvimento das habilidades motoras. O movimento promove a saúde do cérebro, aumentando o fluxo sanguíneo e o aporte de oxigênio, glicose e nutrientes, o que leva a uma melhor atividade dos neurônios. O movimento leva à ativação de genes e à produção de **fatores neurotróficos**, envolvidos com a neuroplasticidade, e também à produção de **neurotransmissores**, como a **dopamina**, que está associada à motivação, ao aumento do foco atencional e ao aprendizado; a **serotonina**, que melhora o humor; e a **noradrenalina**, que melhora a atenção, a percepção e a motivação[687].

682 Immordino-Yang, M. H., & Damasio, A. (2007). We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education.

683 Shapiro, L., & Stolz, S. A. (2019). Embodied cognition and its significance for education.

684 Szucs, D., & Goswami, U. (2007). Educational Neuroscience: Defining a new discipline for the study of mental representations.

685 Pessoa, L. (2014). Understanding brain networks and brain organization.

686 Dijkerman, C., & Lenggenhager, B. (2018). The body and cognition: The relation between body representations and higher level cognitive and social processes.

687 Basso, J. C., & Suzuki, W. A. (2017). The effects of acute exercise on mood, cognition, neurophysiology, and neurochemical pathways: A review.

Além disso, alguns dos circuitos neurais ativados durante o planejamento e a execução dos movimentos, entre os quais os do **cerebelo**, os dos **núcleos da base** e os da região frontal do cérebro, também estão envolvidos com **funções mentais** importantes para a aprendizagem[688], como a atenção e as **funções executivas**[689].

Diversos estudos têm indicado que o movimento tem impacto positivo sobre a cognição[690] e, de forma geral, sobre a aprendizagem[691]. Pesquisadores da Austrália, da Holanda e da Suíça[692] e também da Alemanha[693] enfatizaram que a integração do movimento à tarefa cognitiva influencia a aprendizagem. Por exemplo, quando se aprende a palavra "dançar" em inglês, o ato de dançar concomitante ao aprender integra, temporalmente, a atividade cognitiva ao movimento, dando-lhe relevância[694]. Isto atribui significado ao que se está aprendendo. A atividade física extracurricular[695] pode influenciar a aprendizagem, mas nem sempre possibilita a mesma integração e concomitante relevância para o aprendizado. A escrita manual, por sua vez, pode facilitar a aquisição da leitura, de acordo com estudos de pesquisadoras americanas[696]. Crianças de 5 anos, ainda não alfabetizadas, escreveram, digitaram ou preencheram o traçado correspondendo a diferentes letras. Quando foram expostas novamente à imagem de uma determinada letra, áreas cerebrais relacionadas ao reconhecimento daquela letra foram ativadas apenas quando a letra havia sido previamente escrita (e não digitada ou tracejada) pela criança. Assim, o movimento da mão ao escrever a letra contribuiu para a ativação de áreas cerebrais necessárias ao desenvolvimento da habilidade de leitura.

Mas a participação do corpo na aprendizagem vai além desses efeitos relacionados exclusivamente ao movimento. Estudos[697] relacionados à chamada *embodied cognition* (cognição corporificada) reforçam a crescente compreensão de que o movimento, a emoção e a cognição estão intrinsecamente interligados, impactando e coativando

688 Leisman, G. *et al.* (2016). Thinking, walking, talking: Integratory motor and cognitive brain function.

689 Greeff, J. W. *et al.* (2018). Effects of physical activity on executive functions, attention and academic performance in preadolescent children: A meta-analysis.

690 Bidzam-Bluma, I., & Lipowska, M. (2018). Physical activity and cognitive functioning of children: A systematic review.
Esteban-Cornejo, I. *et al.* (2015). Physical activity and cognition in adolescents: A systematic review.

691 Meeusen, R. *et al.* (2017). *Physical activity and educational achievement: Insights from exercise neuroscience.*
Donnelly, J. E., *et al.* (2016). Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: A systematic review.
Savina, E. *et al.* (2016). The benefits of movement for youth: A whole child approach.

692 Mavilidi, M. F. *et al.* (2018). A narrative review of school-based physical activity for enhancing cognition and learning: The importance of relevancy and integration.

693 Skulmowski, A., & Rey, G. D. (2018). Embodied learning: Introducing a taxonomy based on bodily engagement and task integration.

694 Mavilidi, M. F. *et al.* (2015). Effects of integrated physical exercises and gestures on preschool children's foreign language vocabulary learning.

695 Coe, D. P., *et al.* (2006). Effect of physical education and activity levels on academic achievement in children.

696 James, K. H. (2017). The importance of handwriting experience on the development of the literate brain.
James, K. H., & Berninger, V. W. B. (2019). Brain research shows why handwriting should be taught in the computer age.

697 Kiverstein, J., & Miller, M. (2015). The embodied brain: Towards a radical embodied cognitive neuroscience.
Cardona, J. F. (2017). Embodied cognition: A challenging road for clinical neuropsychology.

um ao outro. Essa linha de pesquisa demonstra que a cognição se baseia em interações corporais com o ambiente e a cultura, e que conceitos abstratos são construídos de forma integrada com as representações sensório-motoras[698], emocionais[699] e sociais [700] constituídas a partir de experiências concretas. Portanto, quanto mais rica e diferenciada for a experiência corporal no processo de aprendizagem, mais rica e diferenciada será a codificação das informações e sua posterior recuperação[701].

A cognição integrada ao corpo (*embodied cognition*) tem sido considerada uma abordagem relevante no contexto educacional favorecendo processos de aprendizagem mais efetivos[702]. Diversos estudos já demonstram a importância da realização de projetos e atividades que integrem estímulos multissensoriais, ação motora, emoção e interação social ao processo cognitivo do estudante[703] contribuindo para a aprendizagem em diversas disciplinas, como ciência, tecnologia, matemática[704] e linguagem[705].

Transformando o princípio 11 em ação

Sentar, ver e ouvir durante quatro horas ou mais. De forma geral, essa tem sido a modalidade de comportamento imposta aos estudantes desde que a escola foi inventada, como se a aprendizagem acontecesse "do pescoço para cima" e o resto do corpo não tivesse qualquer importância nesse processo. As pesquisas atuais em Neurociência confirmam as ideias de grandes pensadores educacionais, como John Dewey e Maria Montessori, que defendiam o pressuposto de que o pensamento não existe isolado da ação. Ambos reconheciam a importância do corpo e da prática para uma aprendizagem plena. Fundamentado por essas teorias e também pelas evidências neurocientíficas que preconizam a importância de colocar o corpo do estudante em ação, o professor pode lançar mão de um conjunto de estratégias, como, por exemplo, as apresentadas a seguir.

698 Kiefer, M., & Trumpp, N. M. (2012). Embodiment theory and education: The foundations of cognition in perception and action.

699 Price, T. F. *et al.* (2012). The emotive neuroscience of embodiment.

700 Leung, A. K. Y. *et al.* (2011). Embodied cultural cognition: Situating the study of embodied cognition in socio-cultural contexts.

701 Macedonia, M. (2019). Embodied learning: Why at school the mind needs the body.

702 Shapiro, L., & Stolz, S. A. (2019). Embodied cognition and its significance for education.

703 Fugate, J. M. B. *et al.* (2018). The role of embodied cognition for transforming learning.

704 Weisberg, S. N., & Newcombe, N. S. (2017). Embodied cognition and STEM learning: Overview of a topical collection in CR-PI.
Kontra, C. *et al.* (2015). Physical experience enhances science learning.
Bahnmueller, J. *et al.* (2014). NIRS in motion: Unraveling the neurocognitive underpinnings of embodied numerical cognition.

705 Kosmas, P., & Zaphiris, P. (2018). Implementing embodied learning in the classroom: Effects on children's memory and language skills.
Schmidt, M. *et al.* (2019). Embodied learning in the classroom: Effects on primary school children's attention and foreign language vocabulary learning.

Promova o aprender fazendo. Propostas de "aprendizagem mão na massa" (*hands-on*) ou de "*educação maker*"[706] reconhecem o corpo como elemento-chave no processamento cognitivo-afetivo. Por meio da experimentação, o estudante compreende a indissociável relação entre teoria e prática e o aprendizado ganha um novo sentido. A cultura *maker* tem como princípio propiciar ao estudante o espaço e o tempo necessários para que ele possa dar vazão a sua curiosidade, levantar problemas, desenvolver o pensamento crítico e a criatividade na busca de soluções para atividades e projetos[707]. Ela favorece o engajamento do estudante, desenvolve as funções executivas (como planejamento e flexibilidade cognitiva) e aproxima os conhecimentos científicos do mundo real, facilitando a aprendizagem de conceitos.

Favoreça a concretização. Concretizar a própria aprendizagem é uma experiência que coloca o corpo em ação, mobiliza diferentes sentidos, enriquece e dá sentido ao conhecimento. A concretização pode ocorrer de forma simples, como fazer uma célula usando massinha de modelar, construir maquetes ou fazer um fóssil de argila ou de forma mais complexa envolvendo materiais e ferramentas mais elaboradas. O que importa é oferecer ao estudante a oportunidade de usar outros canais sensoriais para concretizar conceitos atrelados aos componentes curriculares. Por meio dos sentidos e da motricidade, o estudante organiza representações diversas do mesmo objeto de aprendizagem e amplia sua compreensão sobre ele.

Desenvolva atividades que envolvam o corpo todo. A pesquisa em Neurociência nos últimos 10 anos produziu evidências significativas de que movimento e cognição estão fortemente relacionados[708]. Quando mantemos os estudantes ativos, mantemos seus níveis de alerta e atenção elevados. O ato de se movimentar fornece ao cérebro sangue rico em oxigênio, necessário às funções mentais importantes para a aprendizagem. Professores que insistem em manter os estudantes sentados durante todo o período da aula não estão promovendo condições ideais para o aprendizado. Não é uma boa ideia reduzir os momentos de intervalos ou abandonar as aulas de educação física. No entanto, o fundamental é trazer o movimento para o contexto da aprendizagem promovendo atividades que envolvem todo o corpo[709] – projetos, oficinas, teatro, dança, música, jogos, dinâmicas – e que potencialmente promovem estados de humor positivos, diminuindo o estresse e favorecendo a aprendizagem e a memória[710]. Vários estudos[711] estão sendo desenvolvidos sobre atividades que envol-

706 Roffey, T. *et al.* (2016). The making of a makerspace: Pedagogical and physical transformations of teaching and learning.
707 Halverson, E. R., & Sheridan, K. (2014). The maker movement in education.
708 Doherty, A., & Miravalles, A. F. (2019). Physical activity and cognition: Inseparable in the classroom.
709 Yoo, J., & Loch, S. (2016). Learning bodies: What do teachers learn from embodied practice?
710 Montes, J. L. (2012). *El cerebro y la educación. Neurobiología del aprendizaje.*
711 van der Kamp, J. *et al.* (2019). On the education about/of radical embodied cognition.

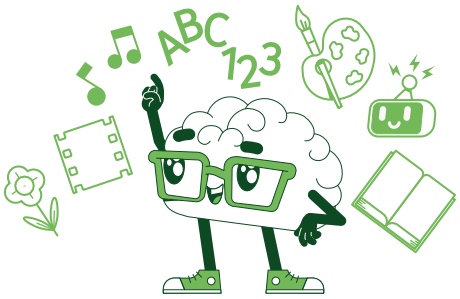
vem movimento e são integradas a tarefas cognitivas com o objetivo de favorecer o processo de aprendizagem (*embodied cognition*[712] ou cognição incorporada). Evidências empíricas[713] mostram que o corpo – via ação e gesto[714] – é uma ferramenta poderosa para contribuir na compreensão e aprendizagem dos componentes curriculares, entre eles, Matemática[715] e Ciências[716].

Estimule a escrita manual. Um conjunto de estudos neurocientíficos demonstram que a escrita manual, ou seja, o ato físico e tátil de mover o lápis ou a caneta, fornece mais estímulos e maior precisão para o cérebro capturar e recuperar informações do que a escrita digital, que envolve apenas o pressionamento de teclas (em computadores, *tablets* ou celulares)[717]. A caligrafia, comparada à digitação, requer maior quantidade de movimentos que geram maior ativação cerebral e leva os estudantes a estarem mais atentos e comprometidos, melhorando a comunicação escrita e a compreensão posterior da leitura[718]. Enfatizar o poder da caneta para a aprendizagem, numa época em que a tecnologia se faz cada vez mais presente na escola traz muitos questionamentos. Ainda não temos todas as respostas e, com certeza, muitas pesquisas ainda virão para nos ajudar a compreender os impactos da tecnologia. Mas, se já temos evidências científicas[719] que enfatizam o poder da escrita manual, vale reconsiderar, por enquanto, a aposentadoria da caneta. Alguns estados americanos, por exemplo, que abandonaram a caligrafia depois dos anos iniciais escolares, agora voltaram a restabelecê-la em seu currículo[720].

Movimento e cognição estão fortemente relacionados. Atividades práticas que integram o movimento nas situações de aprendizagem possibilitam ao estudante vivenciar, processar e registrar experiências que mudam o cérebro de forma mais efetiva. Manter os estudantes sentados e passivos não favorece as condições ideais para o aprendizado.

712 Kosmas, P., & Zaphiris, P. (2018). Embodied cognition and its implications in education: An overview of recent literature.
713 Macedonia, M. (2019). Embodied Learning: Why at school the mind needs the body.
714 Goldin-Meadow, S. (2017). Using our hands to change our minds.
715 Abrahamson, D., & Bakker, A. (2016). Making sense of movement in embodied design for mathematics learning.
716 Kontra, C. *et al.* (2015). Physical experience enhances science learning.
717 Mueller, P. A., & Oppenheimer, D. M. (2014). The pen is mightier than the keyboard: Advantages of longhand over laptop note taking.
718 Santangelo, T., & Graham, S. (2016). A comprehensive meta-analysis of handwriting instruction.
719 van der Meer, A. L. H., & Van der Weel, F. R. (2017). Only three fingers write, but the whole brain works: A high-density EEG study showing advantages of drawing over typing for learning.
720 Hochman, J., & MacDermott-Duffy, B. (2015). Effective writing instruction: Time for a revolution.

6.12 A CRIATIVIDADE REORGANIZA MÚLTIPLAS CONEXÕES CEREBRAIS E EXERCITA O CÉREBRO APRENDIZ



A criatividade é o processo de combinar e recombinar informações já existentes para gerar ideias originais e encontrar novos caminhos de realização e atuação no mundo. Esse processo genuinamente humano permitiu grandes inovações em todos os campos, desde a ciência e a tecnologia até a arte e a cultura[721], gerando prosperidade econômica e social[722]. A imensa capacidade do ser humano de ser criativo pode ser percebida em praticamente todos os domínios de nossas vidas, sempre que geramos ideias inusitadas, desenvolvemos novas soluções para problemas ou nos expressamos de maneira singular[723]. Apesar da complexidade do estudo da criatividade[724], a Neurociência[725] e a Psicologia Cognitiva[726] avançam sistematicamente na compreensão desse importante processo mental que define a humanidade.

Os pesquisadores entendem que a criatividade não é uma característica congênita, que alguns trazem em sua bagagem genética e outros não, mas sim uma habilidade que pode[727] e deve ser desenvolvida[728], considerando o potencial que o **cérebro** tem[729] e as características individuais que nos tornam singulares[730]. Ela é resultado da atividade de diversos **circuitos neurais,** modulados por **neurotransmissores,**[731] que se reorganizam e se modificam[732] a partir das interações sociais e experiências que vivenciamos[733]. Nessa perspectiva, nascemos com o potencial de sermos criativos, mas precisamos desenvolver essa importante habilidade. Afirmar que a criatividade é passível de desenvolvimento significa dizer que a Educação tem importante papel nesse processo[734].

721 Zaidel, D. W. (2014). Creativity, brain, and art: Biological and neurological considerations.
722 Abraham, A. (2013). The promises and perils of the neuroscience of creativity.
723 Fogarty, L. *et al.* (2015). Cultural evolutionary perspectives on creativity and human innovation.
724 Dietrich, A., & Haider, H. (2017). A neurocognitive framework for human creative though.
725 Raymond, S. (2017). Neural foundations of creativity: A systematic review.
726 Abrahan, V. D., & Justel, N. (2019). Creatividad. Una revisión descriptiva sobre nuestra capacidad de invención e innovación.
727 Ritter, S. M. *et al.* (2020). Fostering students' creative thinking skills by means of a one-year creativity training program.
728 Runco, M. A. (2003). Education for creative potential.
729 Saggar, M. *et al.* (2019). Creativity slumps and bumps: Examining the neurobehavioral basis of creativity development during middle childhood.
730 Ren, Z. *et al.* (2018). Neural and genetic mechanisms of creative potential.
731 Zabelina, D. L. *et al.* (2016). Dopamine and the creative mind: Individual differences in creativity are predicted by interactions between dopamine genes DAT and COMT.
732 Sun, J. *et al.* (2016). Training your brain to be more creative.
733 Barbot, B. *et al.* (2015) Creative potential in educational settings: Its nature, measure, and nurture.
734 Bloom, L., & Dole, S. (2018). Creativity in education: A global concern.
Zhou, Z. (2018). What cognitive neuroscience tells us about creativity education: A literature review.

A criatividade é essencial à aprendizagem, pois permite que o estudante vá além da simples cópia ou "decoreba" de conteúdos e elabore perguntas originais, resolva problemas de diferentes formas, realize projetos inusitados e escreva reflexões e textos criativos. Ao exercitar a criatividade na aprendizagem, ele se apropria do conhecimento de forma singular e usa o que aprende para criar novas formas de se expressar e se realizar.

De onde vêm as ideias criativas, isto é, ideias originais e que sirvam a um propósito? Como alguém consegue escrever um livro sobre uma aventura que nunca aconteceu ou compor uma música nunca ouvida? Ou mesmo inventar receitas culinárias inusitadas, resolver um problema que nunca enfrentou ou idealizar um método para testar uma hipótese? Como funciona o cérebro criativo[735]?

Nos últimos 10 anos, numerosos estudos[736] vêm contribuindo para esclarecer as bases neurais do pensamento criativo por meio de técnicas de neuroimagem[737], medidas da atividade cerebral[738] e testes psicométricos[739] que avaliam, por exemplo, a originalidade, a fluência e a diversidade das ideias, o que permite ter uma noção sobre o quão criativo é o indivíduo participante de determinada pesquisa. A Neurociência revelou que a criatividade é o resultado notável da atuação conjunta de distintas áreas cerebrais que se dedicam a outras **funções mentais**, como memória, atenção e **funções executivas**[740]. Ela não depende de um único processo mental ou área cerebral[741], não está associada especialmente ao lado direito do cérebro e tampouco apenas à divagação mental, aos sonhos, aos estados de relaxamento, ao acaso ou à inspiração súbita[742]. As evidências esclarecem que a criatividade ativa o cérebro todo e que algumas áreas cerebrais são mais recrutadas do que outras, dependendo das características da atividade criativa em desenvolvimento, se verbal, visual, musical ou científica[743], por exemplo. A criatividade é um fenômeno complexo e dinâmico relacionado a distintos processos mentais que cotidianamente são acionados e influenciados pelas interações sociais, emoções, descobertas, problemas e desafios do mundo real que chegam à nossa mente[744].

735 Beaty, R. E. (2020). The creative brain.

736 Khalil, R. *et al.* (2019). The link between creativity, cognition, and creative drives and underlying neural mechanisms.

737 Boccia, M. *et al.* (2015). Where do bright ideas occur in our brain? Meta-analytic evidence from neuroimaging studies of domain-specific creativity.

738 Zabelina, D. L., & Ganis, G. (2018). Creativity and cognitive control: Behavioral and ERP evidence that divergent thinking, but not real-life creative achievement, relates to better cognitive control.

739 Fink, A. *et al.* (2007). Creativity meets neuroscience: Experimental tasks for the neuroscientific study of creative thinking.

740 Benedek, M., & Fink, A. (2019). Toward a neurocognitive framework of creative cognition: The role of memory, attention, and cognitive control.

741 Sawyer, K. (2011). The cognitive neuroscience of creativity: A critical review.

742 Kounios, J., & Beeman. M. (2014). The cognitive neuroscience of insight.
Ritter, S. M., & Dijksterhuis, A. (2014). Creativity: The unconscious foundations of the incubation period.

743 Feng, Q. *et al.* (2019). Verbal creativity is correlated with the dynamic reconfiguration of brain networks in the resting state.

744 Chakravarty, A. (2010). The creative brain: Revisiting concepts.

Para ter uma ideia criativa, o cérebro busca diversas memórias já registradas, faz combinações diferentes entre elas, imagina novas possibilidades, verifica qual das novas combinações podem servir ao objetivo que se pretende alcançar e seleciona a ideia mais criativa. Durante esse processo, é necessário que o cérebro alterne a sua atenção entre as memórias já registradas e as novas informações externas que chegam. É necessário que ele consiga manter, na memória de trabalho, as ideias que já fazem parte do seu repertório, as informações que chegam e as novas combinações, imaginando possibilidades e analisando se elas fazem sentido ou não. É necessário que ele seja flexível para se desapegar de ideias que já fazem parte de sua memória, considerando as novas ideias e combinações que surgem. É preciso, ainda, que ele verifique se a nova combinação atende ao seu propósito.

Para realizar esse processo criativo, o cérebro recruta circuitos neurais de distintas regiões cerebrais – **córtices frontal**, **pré-frontal**, **parietal** e **temporal** (**hipocampo**), porções anterior e posterior do **giro do cíngulo** e **ínsula** – que constituem três **redes neurais**: (i) **rede de controle cognitivo** (**executivo**)[745]; (ii) **rede de modo padrão** (***default***)"[746]; e (iii) **rede de saliência**[747]. A primeira está envolvida com os diversos aspectos das funções executivas e das memórias armazenadas[748], a segunda com a imaginação das novas possibilidades[749] e a terceira com a verificação do sentido e da validade das novas ideias. É a interação dinâmica entre essas três redes neurais[750] que propicia a geração, a avaliação[751] e a expressão das ideias criativas.

No entanto, apenas a "cognição criativa" não é suficiente para a manifestação da criatividade. Ela depende também do chamado "impulso criativo" relacionado a um conjunto de fatores – emoções, motivação, estados de humor, recompensas, interações sociais – que podem favorecer ou dificultar o processo criativo[752]. As áreas cerebrais, que processam as emoções e a motivação, e os neurotransmissores, que regulam os estados de humor e os aspectos das funções executivas, influenciam as redes neurais da cognição criativa[753]. Em geral, motivação intrínseca, emoções e estados de humor positivos – como otimismo, alegria, exaltação, relaxamento, serenidade – favorecem a criatividade. Já o medo, a raiva, a ansiedade, a tristeza, a depressão e o estresse tendem a dificultá-la.

745 Beaty, R., *et al.* (2015). Default and executive network coupling supports creative idea production.
746 Buckner, R. L. *et al.* (2008). The brain's default network: Anatomy, function, and relevance to disease.
747 Seeley, W. W. (2019). The salience network: A neural system for perceiving and responding to homeostatic demands.
748 Madore, K. P. *et al.* (2019). Neural mechanisms of episodic retrieval support divergent creative thinking.
749 Beaty, R. E. *et al.* (2014). Creativity and the default network: A functional connectivity analysis of the creative brain at rest.
750 Beaty, R.E. *et al.* (2018). Robust prediction of individual creative ability from brain functional connectivity.
751 Ellamil, M. *et al.* (2012). Evaluative and generative modes of thought during the creative process.
752 Khalil, R. *et al.* (2019). The link between creativity, cognition, and creative drives and underlying neural mechanisms.
753 Gu, S. *et al.* (2018). The neural mechanism underlying cognitive and emotional processes in creativity.

No entanto, esses efeitos sobre a criatividade são variáveis, dependendo do contexto e das características individuais de cada um[754].

O mito de que o lado esquerdo do cérebro é exclusivamente racional e lógico e que o lado direito é apenas emocional e criativo já foi superado pela Neurociência[755]. É possível demonstrar, por meio de neuroimagens, que as tarefas e os pensamentos criativos envolvem os dois **hemisférios cerebrais**, ativando circuitos neurais distintos num e noutro e que é exatamente a comunicação inter-hemisférica que gera a criatividade[756]. A maior participação dos hemisférios[757] direito ou esquerdo na criatividade varia também conforme o tipo de atividade criativa[758]. A criatividade, portanto, resulta da eficácia do cérebro em integrar diferentes funções mentais fazendo com que regiões cerebrais que trabalham separadamente passem a funcionar em conjunto, gerando respostas criativas distintas daquelas que cada uma das funções, isoladamente, pode gerar[759].

O cérebro humano evoluiu de tal forma, que é capaz de sustentar e promover o pensamento criativo[760]. Contudo, a criatividade só se manifestará se esses circuitos neurais que nos possibilitam sermos criativos forem ativados. Vários estudos[761] demonstram que intervenções que estimulam os participantes a "pensarem fora da caixa", tais como, propor usos alternativos e originais para objetos comuns, formar frases com palavras não associadas, propor explicações e consequências sobre situações, inventar melhoria para produtos, levam a modificações cerebrais e ao aumento da criatividade, sendo a adolescência um período especialmente sensível a essas intervenções, devido ao maior desenvolvimento do córtex pré-frontal e das funções executivas[762].

A imaginação também ativa circuitos neurais de criatividade[763]. Ela é gerada pela evocação do passado. Para imaginarmos o que pode acontecer ou algo que pode vir a ser ou existir, o cérebro, por meio da rede de modo-padrão (*default*), ativa o hipocampo e o orienta na recuperação e reunião dos detalhes das experiências vividas – pessoas, lugares, objetos, ações – para reconstrução de eventos passados e construção de eventos

754 Khalil, R. *et al.* (2019). The link between creativity, cognition, and creative drives and underlying neural mechanisms.

755 Corballis, M. C., & Häberling, I. S. (2017). The many sides of hemispheric asymmetry: A selective review and outlook.
Wang, D. *et al.* (2014). Functional specialization in the human brain estimated by intrinsic hemispheric interaction.

756 Lindell, A. K. (2011). Lateral thinkers are not so laterally minded: Hemispheric asymmetry, interaction, and creativity.

757 Aberg, K. C. *et al.* (2017). The "creative right brain" revisited: Individual creativity and associative priming in the right hemisphere relate to hemispheric asymmetries in reward brain function.

758 Blazhenkova, O., & Kozhevnikov, M. (2016). Types of creativity and visualization in teams of different educational specialization.

759 Beaty, R. E. *et al.* (2016). Creative cognition and brain network dynamics.

760 Baas, M. *et al.* (2015). Editorial: The cognitive, emotional and neural correlates of creativity.

761 Fink, A. *et al.* (2018). Modulation of resting-state network connectivity by verbal divergent thinking training.
Kleibeuker, S. W. *et al.* (2017). Training in the adolescent brain: An fMRI training study on divergent thinking.

762 Stevenson, C. E. *et al.* (2014). Training creative cognition: Adolescence as a flexible period for improving creativity.

763 Beaty, R. E. *et al.* (2018). Core network contributions to remembering the past, imagining the future, and thinking creatively.

possíveis no futuro[764]. As regiões cerebrais ativadas quando lembramos experiências passadas coincidem com as que são ativadas ao imaginarmos uma experiência futura[765]. Para os pesquisadores, a imaginação é a semente da criatividade, mas ela por si só não é suficiente. O contexto sociocultural e os traços de personalidade (por exemplo, abertura ao novo e flexibilidade) são o solo fértil que determina em que medida a árvore da criatividade vai poder produzir frutos[766].

A Neurociência ajuda a explicar por que o processo de compartilhar ideias pode nos ajudar a sermos mais criativos. Estudo[767] realizado por pesquisadores da Áustria e da Suíça demonstrou que a reflexão sobre as ideias de outras pessoas ativa áreas cerebrais envolvidas com a atenção, com a integração dos sentidos das palavras (semântica) e com a recuperação de memórias. Assim, os participantes do estudo processaram as ideias dos outros, integrando-as com as próprias memórias, o que levou a novas associações, isto é, a ideias mais originais e inovadoras. Quando pensamos novas ideias sem interagir com outras pessoas ou com novos conhecimentos, o processo criativo fica limitado àquilo que já está registrado na nossa memória. Quando interagimos e fazemos trocas, ampliamos o nosso horizonte para além daquilo que já conhecemos.

Pesquisadores chineses[768] também confirmaram que a interação social potencializa a criatividade. Eles compararam o desempenho de duplas, constituídas por estudantes universitários menos criativos e altamente criativos, na resolução criativa de um problema e verificaram a atividade cerebral desencadeada por essa interação cooperativa. Os resultados revelaram que indivíduos menos criativos, ao trabalharem juntos, foram mais cooperativos e apresentaram soluções tão criativas quanto aquelas apresentadas pelas duplas formadas por indivíduos altamente criativos. A atividade cooperativa levou à sincronização e à maior atividade cerebral em regiões relacionadas à interação social. Isso indica que habilidades sociais são necessárias para melhor integração dos recursos cognitivos individuais, o que pode promover a geração de novas ideias. A cooperação efetiva beneficia o desempenho criativo.

A criatividade exercita o cérebro aprendiz. Ela reativa memórias, reorganizando e reforçando múltiplas conexões neurais, recruta atenção e funções executivas, requer reflexão e avaliação das novas ideias geradas e ocorre a partir de emoções e estados de humor que impulsionam toda essa atividade cerebral. Imaginar, aprender assuntos diferentes,

764 Beaty, R. E. *et al.* (2017). Brain networks of the imaginative mind: Dynamic functional connectivity of default and cognitive control networks relates to openness to experience.

765 Schacter, D. L. (2012). The future of memory: Remembering, imagining, and the brain.

766 Gotlieb, R. J. M. *et al.* (2018). Imagination is the seed of creativity.

767 Fink, A. *et al.* (2010). Enhancing creativity by means of cognitive stimulation: Evidence from an fMRI study.

768 Xue, H. *et al.* (2018). Cooperation makes two less-creative individuals turn into a highly-creative pair.

enfrentar novas experiências e seus desafios são processos que ativam o cérebro criativo e nos fazem descobrir o quanto podemos ser além do que podíamos supor.

Transformando o princípio 12 em ação

Aprendizagem e criatividade são os processos que mais nos diferenciam dos outros animais. Conseguimos evoluir ao longo do tempo porque, além de termos a capacidade de aprender o legado das gerações anteriores, conseguimos criar e transformar o que aprendemos fazendo inovações surpreendentes[769]. A Neurociência confirma que a criatividade não é um dom herdado, mas uma habilidade passível de desenvolvimento[770]. Essa importante evidência científica coloca em relevo a ideia de que a criatividade pode ser ensinada e reforça o papel das instituições de ensino no fomento do pensamento criativo e da sua expressão na aprendizagem. O argumento para se trabalhar com a criatividade no contexto escolar transcende em muito a necessidade de se desenvolver essa habilidade crucial para o século XXI. Em primeiro lugar, a criatividade precisa ter lugar na sala de aula para que os estudantes possam aprender criativamente, ou seja, possam usar a sua capacidade criativa para ir além da mera repetição de conceitos e fórmulas[771]. Nessa perspectiva, a criatividade não pode ser algo adicional ao processo educativo, mas algo intrínseco, que defina e permeie continuamente os processos de ensino e aprendizagem.

Pesquisas no campo da Neurociência indicam que a criatividade depende da atividade integrada de distintas redes neurais relacionadas à cognição e à emoção[772]. Isso significa que as habilidades cognitivas, por si só, não garantem o pensamento e a expressão da criatividade na aprendizagem. É preciso que haja também motivação, engajamento, iniciativa e mente aberta para o novo, pois o verdadeiro motor da criatividade é o gosto pela descoberta e a paixão e encantamento pelo que se faz. Para Einstein, "a criatividade é a inteligência se divertindo". Traduzindo isso para a sala de aula, significa dizer que o professor deve estimular os estudantes a usarem a criatividade, instigando-os a estabelecer conexões entre os conteúdos, a elaborar perguntas inusitadas, a integrar teoria e prática, a descobrir diferentes respostas para o mesmo problema, imaginando possibilidades, resolvendo desafios e compartilhando ideias. Em outras palavras, podemos dizer que, para promover a criatividade, é preciso ensinar criativamente, lançando mão de metodologias de ensino que convoquem o protagonismo do estudante em ambientes de aprendizagem que estimulem a troca e a colaboração.

769 Abraham, A. (2013). The promises and perils of the neuroscience of creativity.
770 Ritter, S. M. *et al.* (2020). Fostering students' creative thinking skills by means of a one-year creativity training program.
771 Amaral, A. L. (2011). A constituição da aprendizagem criativa no processo de desenvolvimento da subjetividade.
772 Khalil, R. (2019). The link between creativity, cognition, and creative drives and underlying neural mechanisms.

Nessa direção, todos os princípios e indicações abordados anteriormente neste capítulo 6 são fundamentais para o fomento da criatividade na sala de aula, entre eles: mobilizar a atenção, trabalhar com as emoções, gerar motivação, promover autonomia, estimular a curiosidade, favorecer a interação social, colocar o corpo em ação, orientar a metacognição e a autorregulação. Especialmente neste princípio 12, vamos destacar quatro indicações complementares que não foram abordadas anteriormente e que são cruciais à promoção da criatividade.

Estimule a imaginação. Para a Neurociência, a imaginação é a semente da criatividade[773], mas ela tem tido pouco espaço na educação. Talvez porque a imaginação esteja comumente associada à "fantasia" ou ao "faz de conta", o que leva muitos professores a entenderem que ela deva ser trabalhada apenas na educação infantil ou nas aulas de artes. Afinal quem tem tempo para *dar asas* à imaginação com demandas curriculares tão desafiadoras? No entanto, a ideia de que o trabalho com a imaginação se contrapõe à realidade e à construção do conhecimento é um grande equívoco[774]. Na verdade, o conhecimento é a mola propulsora da imaginação. Os grandes pensadores e inventores do passado já mostraram a relevância da imaginação, de pensar em outras perspectivas, de imaginar o que ainda não existe. A imaginação é um processo mental que nos permite expandir as possibilidades de uma situação ou problema olhando a partir de uma nova visão, considerando outras alternativas, combinando e recombinando ideias. Por isso, para Lev Vygotsky[775], a imaginação e os processos de pensamento formam uma unidade especial que nos ajuda a constituir sentido sobre o mundo. Ela nos dá a possibilidade de entender o mundo a partir de uma compreensão particular, por meio da qual vamos combinando, de forma única, os conhecimentos que vamos reunindo ao longo da vida. Para que a imaginação seja parte integrante do processo de aprendizagem, o professor precisa gerar situações que mobilizem o estudante a agitar a sua "caixa de conhecimentos e experiências" para conectar conteúdos de diferentes disciplinas, gerar novas ideias, criar novos problemas de pesquisa, encontrar soluções criativas para projetos, bem como para apresentar trabalhos de forma inusitada.

Favoreça a interdisciplinaridade. Segundo a Neurociência, a criatividade resulta da integração funcional de diferentes circuitos neurais, relacionados a diversos processos mentais que são influenciados pelas interações sociais e pelas informações que recebemos do mundo[776]. Na prática, isso significa que a essência da criatividade está em fazer novas

773 Gotlieb, R. J. M. *et al.* (2018). Imagination is the seed of creativity.

774 Lindqvist, G. (2003). Vygotsky's theory of creativity.

775 Gajdamaschko, N. (2005). Vygotsky on imagination: Why an understanding of the imagination is an important issue for schoolteachers.

776 Sawyer, K. (2011). The cognitive neuroscience of creativity: A critical review.

associações, combinar imagens, mesclar conhecimentos e cruzar dados. Mas a mensagem da escola tem sido oposta a essa. Ao invés de convidar os estudantes a estabelecer relações entre elementos, a escola vem ensinando a pensar de forma fragmentada, o que dificulta sobremaneira a expressão da criatividade na aprendizagem[777]. Ao trabalhar de maneira isolada com as disciplinas, a escola limita o acesso dos estudantes a significados mais amplos da vida e dos conhecimentos. Como consequência, há risco de os estudantes não conseguirem construir uma rede de conhecimentos interconectados que lhes permita fazer transferências e aplicações de conhecimentos em diferentes áreas[778]. Nessa direção, os pesquisadores entendem que a prática pedagógica baseada na interdisciplinaridade é catalisadora do pensamento criativo[779]. Há evidências de que a abordagem interdisciplinar valoriza a diversidade, incentiva a resolução criativa de problemas, promove a flexibilidade cognitiva e aprimora processos de metacognição[780]. Além disso, informações adquiridas de maneira holística são mais facilmente conectadas com conhecimentos prévios e também podem ser recuperadas mais rapidamente[781]. Tendo em vista o que a literatura aponta, se a escola deseja investir no desenvolvimento da criatividade dos estudantes, ela precisa desenhar um currículo e metodologias de ensino que favoreçam a interdisciplinaridade e a integração dos conhecimentos e das experiências vivenciadas pelos estudantes.

Integre teoria e prática. Teoria e prática são duas faces de uma mesma moeda: o conhecimento. A nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC) propõe uma formação integral dos estudantes, que vai além do conhecimento teórico e os prepara para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo. Segundo a BNCC[782], o currículo por competências baseia-se na mobilização dos saberes construídos para resolver demandas da vida cotidiana, do exercício da cidadania e do mundo do trabalho. Nessa perspectiva, o professor não pode enfatizar a teorização em detrimento da prática. Ser criativo não é apenas ter ideias "fora da caixa" e deixar sua imaginação correr livre. Envolve também refinar, testar, avaliar e reformular ideias com base na experiência prática. A criatividade surge exatamente da possibilidade de colocar em ação conhecimentos, habilidades, atitudes e valores. É na prática que tudo isso ganha sentido e pode se expressar[783]. A aprendizagem baseada na prática, com atividades "mão na massa", possibilita a integração de diferentes habilidades cognitivas e socioemocionais e promove uma compreensão mais aprofundada dos conceitos teóricos. Para além das atividades que

777 Amaral, A. L. (2011). A constituição da aprendizagem criativa no processo de desenvolvimento da subjetividade.
778 Sicherl-Kafola, B., & Denacb, O. (2010). The importance of interdisciplinary planning of the learning process.
779 Darbellay, F. *et al.* (2017). *Creativity, design thinking and interdisciplinarity.*
780 Plucker, J., & Zabelina, D. (2009). Creativity and interdisciplinarity: One creativity or many creativities?
781 Sicherl-Kafol, B., & Denac, O. (2010). The importance of interdisciplinary planning of the learning process.
782 BRASIL. Ministério da Educação. (2017). Base Nacional Comum Curricular: Educação é a base.
783 Raravi, P. (2016). *Enhancing constructive learning by integrating theory and practice.*

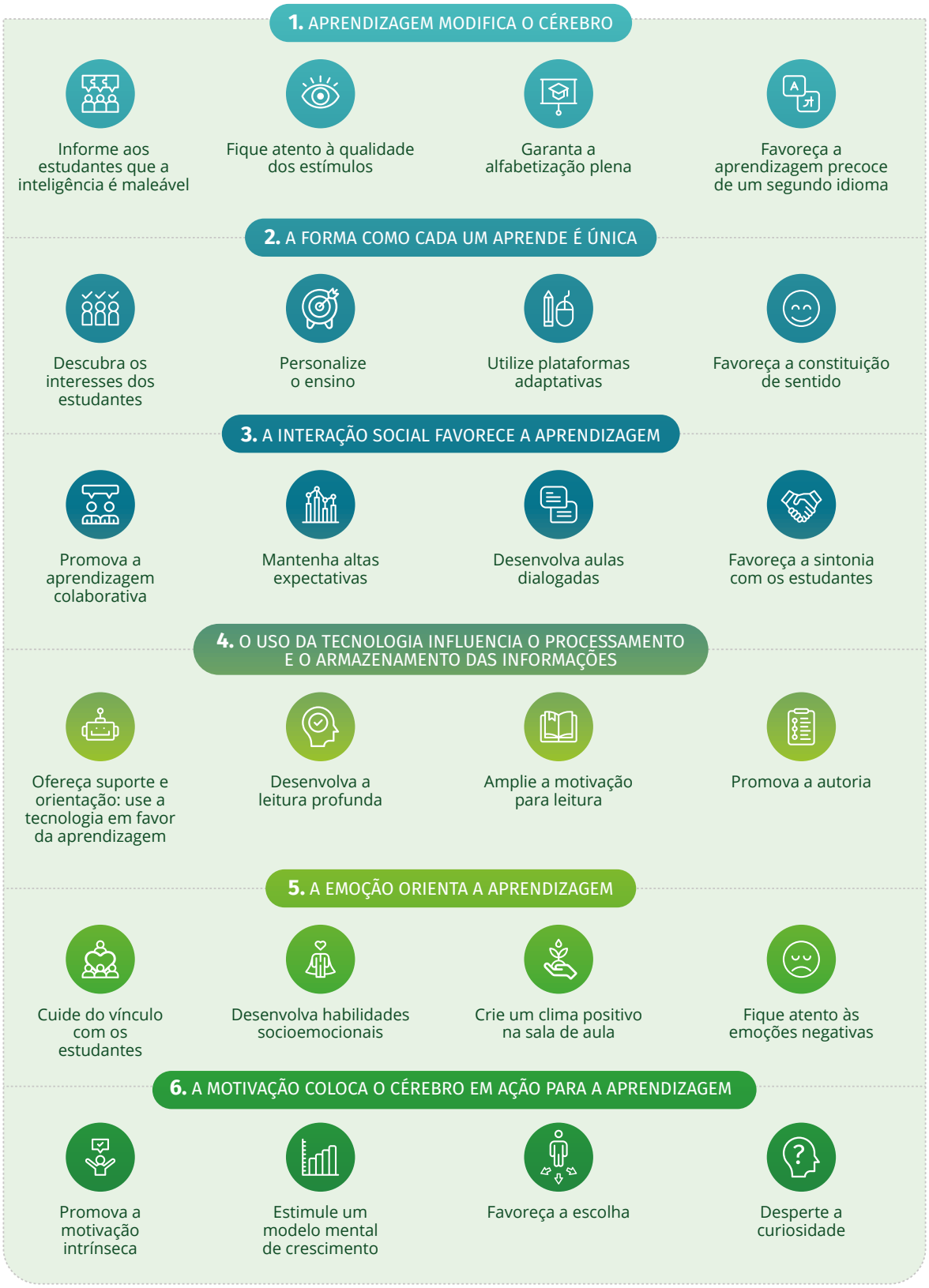
favorecem o "aprender fazendo", o professor possibilita a integração entre teoria e prática quando utiliza exemplos e estabelece relações com situações do dia a dia. Essas associações contribuem para a emergência da criatividade ao aproximar os conceitos teóricos da experiência de vida do estudante.

Reconheça os talentos de cada um. A criatividade tem uma base motivacional. Ela se expressa nas atividades que despertam o nosso interesse e nos impulsionam a criar. Todas as crianças e jovens têm talentos e interesses especiais que precisam ser notados e nutridos para que se desenvolvam bem na escola e em momentos posteriores de suas vidas. Alguns são naturalmente mais atléticos, outros melhores em matemática ou em poesia. Há aqueles que são mais inclinados para música, pintura ou teatro e outros que são apaixonados por experimentos científicos. Há também aqueles que são particularmente bons em papéis de liderança, em interação social. Muitas pessoas crescem sem ter uma ideia clara dos próprios talentos e passam a vida inteira trabalhando em áreas com as quais não se identificam e não retiram qualquer prazer do que fazem[784]. Consequentemente, acabam funcionando no piloto automático, sem qualquer expressão criativa. Uma tarefa primordial da educação é ajudar os estudantes a descobrir suas próprias forças criativas. Quando descobrem seus verdadeiros pontos fortes, eles podem renovar o interesse pelos estudos e aumentar a autoconfiança, o que lhes impulsiona a imaginar um projeto de vida e a investir esforços nessa direção. A identificação de talentos e interesses não acontece por meio de uma observação pontual, mas a partir de um processo contínuo. O professor precisa ficar atento aos sinais dos estudantes e oferecer *feedback* constante. Ele deve fazer registros nas fichas dos estudantes, juntamente ao desempenho acadêmico, e essas observações devem seguir para os próximos professores. É fundamental também que o professor estruture algumas atividades de aprendizagem que ofereçam aos estudantes oportunidades especiais para que possam demonstrar seu talento. Outra iniciativa importante do professor é o compartilhamento das suas observações com os pais dos estudantes, que podem nutrir os talentos de seus filhos e oferecer apoio substancial ao desenvolvimento deles. Frequentemente, os talentos humanos são como os recursos naturais do mundo. Eles estão enterrados debaixo da terra; você não sabe que eles estão lá até que você os procure ativamente e tente desenvolvê-los[785].

A figura 6 apresenta, de forma consolidada, as 48 orientações para o professor transformar os 12 princípios da Neurociência em ações na sala de aula.

784 Robinson, K., & Aronica, L. (2013*). Finding your element: How to discover your talents and passions and transform your life.*
785 Robinson, K., & Aronica, L. (2013). *Finding your element: How to discover your talents and passions and transform your life.*

FIGURA 6 – Transformando os 12 princípios da Neurociência em ação





7. ATENÇÃO É A PORTA DE ENTRADA PARA A APRENDIZAGEM

- Seja receptivo
- Promova o engajamento
- Garanta um ambiente propício à aprendizagem
- Ajuste o tempo de exposição

8. O CÉREBRO NÃO É MULTITAREFA

- Amplie a consciência
- Estimule pausas tecnológicas
- Faça mapa de prioridades
- Avalie o grau de motivação

9. A APRENDIZAGEM ATIVA REQUER ELABORAÇÃO E TEMPO PARA CONSOLIDAÇÃO NA MEMÓRIA

- Favoreça a repetição diversificada
- Promova a elaboração
- Dê tempo ao cérebro
- Use metodologias ativas

10. A AUTORREGULAÇÃO E A METACOGNIÇÃO POTENCIALIZAM A APRENDIZAGEM

- Desenvolva a autonomia
- Oriente a metacognição
- Torne o pensamento visível
- Abra espaço para a autoavaliação

11. QUANDO O CORPO PARTICIPA, A APRENDIZAGEM É MAIS EFETIVA

- Promova o aprender fazendo
- Favoreça a concretização
- Desenvolva atividades que envolvam o corpo todo
- Estimule a escrita manual

12. A CRIATIVIDADE REORGANIZA MÚLTIPLAS CONEXÕES CEREBRAIS E EXERCITA O CÉREBRO APRENDIZ

- Estimule a imaginação
- Favoreça a interdisciplinaridade
- Integre teoria e prática
- Reconheça os talentos de cada um





7 OLHANDO PARA O FUTURO DA APRENDIZAGEM

Este capítulo resgata o passado, analisa o presente e olha para o futuro da aprendizagem, destacando as principais tendências emergentes no campo da educação entrelaçadas com as descobertas da Neurociência.

No século XIX, os fundamentos do atual sistema educacional foram definidos para atender às necessidades de um mundo que estava sendo transformado pela industrialização. As novas formas de produção, mecanizadas, mais rápidas e especializadas, com controle do tempo e baseadas na divisão de tarefas, engendraram uma nova concepção do trabalho, na qual a Educação ocupava um lugar cada vez mais importante.

Esse contexto criou a necessidade de uma Educação universal que não fosse restrita às elites, mas alcançasse também as massas. Prevalecia uma forma de organização do trabalho que legitimava a separação entre concepção e execução, na qual a maior parte dos trabalhadores não necessitava de qualquer conhecimento que extrapolasse a rotina das tarefas que tinham de executar. A escola assumiu uma dimensão racional, com forte disciplina e comportamentos padronizados com base em um modelo de ensino hierarquizado, homogêneo e focado na transmissão de informações que eram passivamente assimiladas pelos estudantes [786].

De lá para cá, o mundo foi se transformando, mas a escola manteve-se irredutível diante das novas solicitações da sociedade. Desde o início do século XX, grandes pensadores e pesquisadores denunciaram o quanto a escola, já naquela época, estava obsoleta. Em muitos países, inclusive no Brasil, vários manifestos educacionais e novas correntes pedagógicas como a Escola Nova[787] cobraram novos princípios para a educação. O avanço da pesquisa no campo da Psicologia, por sua vez, fortaleceu esse movimento e trouxe inúmeras contribuições sobre os processos de desenvolvimento e aprendizagem que colocaram em xeque as práticas pedagógicas tradicionais. Apesar das contribuições de

786 Bittar, M. (2009). *História da educação: Da antiguidade à época contemporânea.*

787 Dewey, J. (2002). *A escola e a sociedade. A criança e o currículo.*
Teixeira, A. (1969). *A educação e o mundo moderno.*

múltiplas correntes da Pedagogia[788] e da Psicologia[789], as transformações que ocorreram na Educação no século XX foram muito mais incrementais do que radicais. Tivemos algumas mudanças pontuais, mas os princípios, a estrutura, a organização e o funcionamento da escola continuaram muito semelhantes. O fato é que a escola nunca esteve na vanguarda, à frente do seu tempo, antecipando e respondendo às demandas da sociedade.

Por que a escola não conseguiu absorver todas as contribuições do pensamento progressista educacional e da pesquisa científica e se manteve firme, intacta, perpetuando uma estrutura arcaica que não respondia mais à expectativa da sociedade? Levantamos aqui duas hipóteses. A primeira é a de que não existiam forças convergindo na mesma direção em relação aos objetivos da Educação. Faltava uma sintonia entre as diferentes instâncias da sociedade sobre o tipo de formação que a escola deveria oferecer. Nem todas as empresas e governos queriam trabalhadores e cidadãos reflexivos e protagonistas. Havia pressão para que a Educação continuasse como reprodutora de padrões. A segunda hipótese é a de que a escola, durante a maior parte do século XX, se manteve como a única instituição difusora do conhecimento. Ela era absolutamente necessária e mantinha o poder e a centralidade no papel de educar as novas gerações. Faltava uma revolução que tirasse o protagonismo da escola em relação ao conhecimento. Essa revolução chegou por meio da tecnologia, balançou as estruturas da escola e começou a impulsionar um movimento de inovação. A escola finalmente teve de começar a se reinventar.

No cenário atual, existe uma maior convergência na busca por uma Educação emancipadora que promova o pensamento crítico e criativo e as habilidades socioemocionais necessárias para uma atuação plena na sociedade do século XXI. A história mostrou que a Educação de qualidade e para todos muda o destino das nações. Os governos têm a convicção de que sem educação não há progresso, pois o fator humano é o diferencial competitivo que impulsiona o progresso tecnológico e científico, moeda de troca da atual sociedade da inovação. As empresas, por sua vez, diante das transformações tecnológicas e do acirramento da competitividade, começaram a buscar novos padrões produtivos que passaram a exigir um conjunto complexo de conhecimentos e habilidades muito além do tradicional repertório exigido pelas tarefas manuais e rotineiras. As tecnologias emergentes da Indústria 4.0 estão criando novas ocupações, extinguindo outras e vêm impactando fortemente a relação com o conhecimento[790]. O mundo do trabalho dependerá, cada vez mais, da Educação e da formação de pessoas capacitadas a criar e gerir processos com base em tecnologias que se renovam contínua e rapidamente.

788 Freire, P. (1996). *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa.*
Montessori, M. (2003). *Para educar o potencial humano.*

789 Piaget, J., & Inhelder, B. (1990*). A psicologia da criança.*
Vygotsky, L. (2003). *Psicologia pedagógica.*

790 AfDB, ADB, BID, EBRD. (2018). *El futuro del trabajo: perspectivas regionales.*

O perfil que as empresas esperam hoje, com certeza, difere em muito do padrão esperado no século passado.

Essa revolução tecnológica que está em curso mudou, de maneira significativa, a forma de o ser humano acessar o conhecimento, pensar, aprender, se comunicar, usar a memória e o cérebro. Isso significa que o público da escola mudou radicalmente. Todas as crianças e jovens, que estão hoje nas escolas, nasceram no século XXI, imersos nesse novo mundo que gira em torno da tecnologia. Educar essa nova geração de estudantes com formatos do século passado é insustentável. A falta de motivação e as altas taxas de evasão[791], principalmente no Ensino Médio, são indicadores de que a escola está desconectada do universo e das expectativas daqueles que pretende formar.

Entretanto, a revolução que estamos vivendo transcende em muito a questão tecnológica. O mundo *virou de cabeça para baixo* e essa revolução não é apenas digital. Ela está acontecendo em outras direções também. Os desafios para a sustentabilidade do planeta têm se multiplicado [792]; a fome no mundo atinge cerca de 800 milhões de pessoas[793]; o acirramento dos conflitos religiosos conduz a guerras e ao terrorismo mundo afora[794]; os refugiados estão se espalhando pelo mundo; o desemprego juvenil mantém milhões de jovens sem um posto de trabalho[795]. Junto a esses, outros grandes desafios aguardam respostas da humanidade e reafirmam, cada vez mais, a demanda por pessoas criativas e com compromisso ético que tenham condições de lidar com situações complexas e em constante transformação, como as que caracterizam a sociedade atual. Pessoas que sejam protagonistas e que engendrem as mudanças que precisamos para viver melhor.

Por isso, a mudança na Educação hoje é imperativa. A escola ficou parada por cerca de 200 anos, mas agora não é mais possível frear essa mudança. Porque o público da escola não é mais o mesmo, a expectativa dos governos e das empresas mudou, e os desafios que a sociedade enfrenta crescem em complexidade a cada dia e convocam a todos nós. O mundo inteiro está repensando a Educação do futuro, mas o futuro é agora, pois não há mais tempo a perder.

Quando falamos de futuro, a que cenário estamos nos referindo? A um cenário de incertezas, reflexo de um mundo que muda com rapidez e de forma imprevisível, batizado pelo sociólogo Zygmunt Bauman como "modernidade líquida"[796]. Para ele, a única certeza

791 Neri, M. C. (2009). *O tempo de permanência na escola e as motivações dos Sem-Escola.*
792 Tortell, P. D. (2020). Earth 2020: Science, society, and sustainability in the Anthropocene.
793 FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. 2019. *The state of food security and nutrition in the world 2019.*
794 Pew Research Center. (2014). *Religious hostilities reach six-year high.*
795 International Labour Office. (2013). *Global employment trends for youth 2013: A generation at risk.*
796 Bauman, Z. (2001). *Modernidade líquida.*

nesse cenário é que a aprendizagem deve ser contínua e permanente[797]. A velocidade e magnitude da mudança em quase todas as áreas do conhecimento sinalizam que o aprendizado ao longo da vida não é mais uma opção, mas absolutamente essencial, pois, mesmo garantindo uma Educação básica e superior de qualidade, o ingresso no mundo do trabalho gera desafios que logo sinalizam uma lacuna entre o que foi aprendido e o que foi descoberto recentemente. Segundo o Fórum Econômico Mundial[798], 65% das crianças que estão na escola hoje vão desempenhar ofícios completamente novos, que ainda não conhecemos e, muito provavelmente, vão trocar de ocupação e desempenhar diferentes funções ao longo da vida. Emprego único até a aposentadoria, definitivamente, não é mais uma variável nesse novo cenário.

O fato é que a formação e a carreira se tornaram muito menos lineares, e isso adiciona mais complexidade ao compromisso da Educação de fazer a inclusão de uma nova geração à sociedade, fornecendo os instrumentos necessários ao desenvolvimento pessoal, à inserção exitosa no mercado de trabalho e ao pleno exercício da cidadania, direitos sociais previstos constitucionalmente[799].

Para alcançar tal propósito, a Educação tem o desafio de superar antagonismos clássicos que, por muito tempo, ocuparam espaço no debate educacional e, em certa medida, ainda persistem. Antagonismos que geram impasses por meio de questionamentos que não fazem mais o menor sentido no cenário atual, como, por exemplo: devemos formar para a cidadania ou para o mundo do trabalho? Ensinar conhecimentos ou habilidades? Priorizar teoria ou prática? Oferecer o ensino presencial ou virtual? Promover a aprendizagem individual ou grupal? Enfatizar as Ciências ou as Artes? Estimular o pensamento crítico ou a criatividade? O cognitivo ou o afetivo? A mente ou o corpo?

Na Educação do futuro não há mais espaço para antagonismos, para a Pedagogia do "ou isso ou aquilo". A palavra de ordem da Educação do século XXI é "complexidade" e isso significa romper com uma visão excludente e avançar para uma pedagogia do "ademais", para uma pedagogia do "isso e aquilo". Por quê?

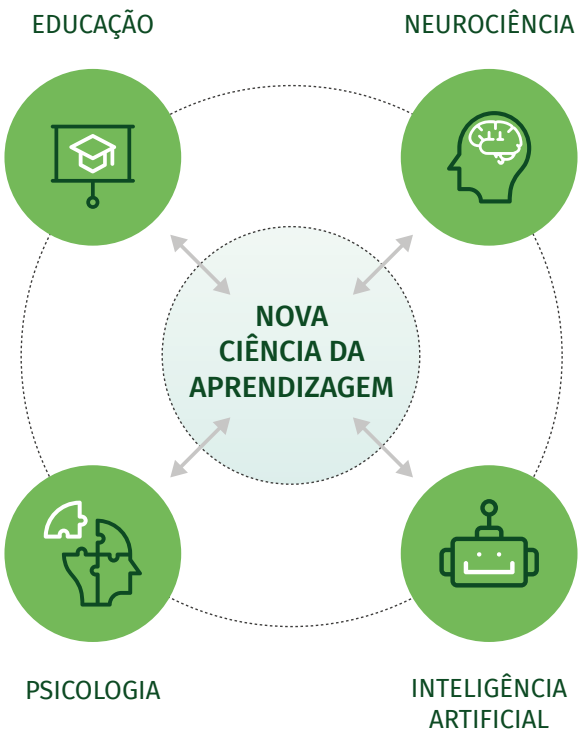
- Porque o pleno exercício da cidadania está atrelado a uma formação crítica e à inserção exitosa no mundo do trabalho.
- Porque conhecimentos integrados a habilidades e valores são a base de uma educação integral.
- Porque a consistência teórico-prática nos oferece o domínio conceitual e a aplicabilidade dos conhecimentos.

797 Porcheddu, A. (2009). Zygmunt Bauman: Entrevista sobre a educação. Desafios pedagógicos e modernidade líquida.
798 World Economic Forum. (2018*). The future of jobs report.*
799 Brasil. (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil.*

- Porque o presencial nos conecta e o virtual nos abre um mundo de possibilidades.
- Porque a aprendizagem deve ser personalizada com itinerários customizados para cada estudante, mas também em rede por meio de plataformas e em grupos de trabalho.
- Porque a criatividade nos permite voar e o pensamento crítico nos permite pousar e inovar.
- Porque os laços entre as Ciências e as Artes integram razão e sensibilidade e dão sentido ao processo de construção do conhecimento por meio da interdisciplinaridade.
- Enfim, porque, como já dizia Aristóteles, "educar a mente sem educar o coração, não é educação".

O desafio é grande, mas a educação do futuro vai ser pautada em uma nova ciência da aprendizagem[800] alicerçada em quatro forças que vão impulsionar as mudanças necessárias. A convergência das descobertas no campo da Educação, da Psicologia do Desenvolvimento, da Neurociência e da Inteligência Artificial fornecerá as bases conceituais e os *insights* para o redesenho das práticas pedagógicas e dos ambientes de aprendizagem dos novos tempos (Figura 7).

FIGURA 7 – Nova Ciência da Aprendizagem



Fonte: Adaptação das autoras baseada em Meltzoff, A. N. *et al.* (2009). Foundations for a new science of learning.

800 Meltzoff, A. N. *et al.* (2009). Foundations for a new science of learning.

Quando se trata de aprendizagem, a parceria entre essas áreas pode ser sinérgica e favorecer o diálogo profundo e a integração de múltiplas evidências científicas em favor de uma compreensão cada vez maior de como o cérebro aprende e de como a Educação pode potencializar seu funcionamento. As descobertas da Neurociência trazem fundamentação para um conjunto de conceitos das diferentes teorias da Educação e da Psicologia do Desenvolvimento que, em contrapartida, alimentam a pesquisa neurocientífica com novas constatações sobre a aprendizagem, a cognição, as emoções e os processos de interação social. Além disso, a Inteligência Artificial utiliza conceitos da Neurociência e da Psicologia para rastrear grandes quantidades de dados e analisar padrões de aprendizado fornecendo caminhos personalizados para os estudantes e contribuindo para processos de gestão educacional[801]. O avanço na pesquisa sobre o funcionamento do cérebro pode contribuir também para projeção de novos modelos de aprendizado de máquina[802] e, em contrapartida, a Inteligência Artificial pode favorecer os estudos sobre a cognição humana[803]. A Neurociência, a Psicologia e a Educação, por sua vez, podem utilizar dados levantados pela Inteligência Artificial para abrir novas perguntas e desenvolver novos estudos que conduzam à inovação no campo educacional.

Tendo em vista os argumentos supramencionados, os princípios da Neurociência apresentados no capítulo anterior e a revisão da literatura sobre o futuro da educação, identificamos 22 tendências que estão delineando a Educação no mundo, que serão explicitadas a seguir e apresentadas de forma consolidada na figura 8 ao final do capítulo.

DESENVOLVIMENTO DE COMPETÊNCIAS

Até então, o foco das instituições de ensino era a transmissão do conhecimento. No entanto, existe um entendimento crescente de que, cada vez mais, o conhecimento não será mais o ponto de chegada, mas o ponto de partida. Construir um arquivo sólido de conhecimentos será apenas o primeiro passo, pois o poder não está mais em quem detém o conhecimento, mas naquele que desenvolve a capacidade de aplicar esse conhecimento de forma crítica e criativa. Em outras palavras, em um mundo moldado pela Inteligência Artificial, a **aprendizagem não diz mais respeito ao acúmulo de conhecimento, mas ao desenvolvimento de competências que garantam a aplicabilidade do conhecimento e a renovação constante da motivação para seguir aprendendo ao longo da vida.**

801 Blanco, I. F., & Carvalho, A. P. L. C. (2017). Máquinas que aprendem: o que nos ensinam?
802 Ullman, S. (2019). Using neuroscience to develop artificial intelligence.
803 van der Velde, F. (2010). Where artificial intelligence and neuroscience meet: The search for grounded architectures of cognition.

APRENDIZAGEM AUTODIRIGIDA

Para aproveitar as oportunidades de aprendizagem ao longo da vida, é necessário desenvolver a capacidade de autorregulação. Apesar de cursos das instituições mais respeitadas e do conteúdo das melhores bibliotecas estarem disponíveis com apenas um clique, muitas pessoas não conseguem tirar o melhor proveito dessas oportunidades porque não desenvolveram a capacidade de autodirigir o seu processo de aprendizado, planejando o seu tempo, desenvolvendo estratégias de estudo, buscando informações por conta própria, resolvendo problemas de forma proativa, tomando decisões e fazendo escolhas, independentemente do apoio e da supervisão constante de um professor. Tudo isso se traduz em autorregulação da aprendizagem, habilidade que se desenvolve paulatinamente desde o início da vida escolar. Isso significa que a aprendizagem ao longo da vida não começa quando o estudante sai da escola e ingressa no contexto de trabalho. Ela começa desde muito cedo. **A Educação do futuro precisa assumir o compromisso com o desenvolvimento da aprendizagem autodirigida, para que crianças e jovens se transformem em adultos com capacidade de gerenciar seu aprendizado de forma independente.**

ECOSSISTEMAS EDUCACIONAIS

A autorregulação da aprendizagem leva a um processo de construção do conhecimento que não acontece de forma linear, mas em muitas direções, sendo alimentado por diferentes fontes para além das instituições de ensino**. A educação do futuro vai acontecer, cada vez mais, por meio de ecossistemas educacionais**[804] que oferecem um espectro amplo de oportunidades de aprendizagem atreladas a plataformas educacionais, canais de vídeos *on-line*, redes sociais, experiências culturais e na comunidade, centros de pesquisa, empresas, museus interativos, entre outros. Alguns países como o Japão[805] têm investido em centros de ciências que são locais informais de aprendizagem que oferecem experiências autênticas, palestras e encontros com cientistas com o objetivo de ampliar a motivação para a aprendizagem e o interesse pela pesquisa científica. As instituições de ensino formais serão uma das possibilidades, entre uma multiplicidade de experiências educacionais, que vão possibilitar a construção de caminhos personalizados de aprendizado ao longo da vida[806].

804 Gipple, J. (2020). *The learning ecosystem.*
Hannon, V. *et a*l. (2011). *Developing an innovation ecosystem for education.*

805 Sakata, S., & Kumano, Y. (2018). Attempting STEM education in informal Japanese educational facilities through the theme of "sand".

806 Tawil, S. (2013). *Two roads ahead for education: Which one should we take?*

NOVAS ARQUITETURAS

Nessa nova realidade, em que o aprendizado não está mais restrito pelo tempo ou espaço, mas potencializado por ecossistemas que permitem o aprendizado ininterrupto "aqui e agora"[807], as instituições de ensino vão ampliar a estrutura hermética da sala de aula e extrapolar o contexto de aprendizagem para múltiplos espaços da própria escola, como laboratório, teatro, espaços *maker*, biblioteca, pátio e também para outros espaços para além dos muros da escola, como comunidade, empresas locais e ambientes virtuais. **As salas de aula terão nova arquitetura**[808], **com diferentes estações de trabalho e mobiliário que vão permitir uma mobilidade mais fluida e maior interação entre os estudantes, desfazendo a clássica organização das carteiras enfileiradas e permitindo plena integração com as ferramentas tecnológicas**[809].

A organização do tempo também será flexibilizada, rompendo com a rígida estrutura sequencial de aulas de 50 minutos distribuídas em bimestres, para um modelo mais fluido que permita o desenvolvimento e a integração de atividades diversificadas e projetos que terão tempos diversos. A inversão do uso do tempo por meio do modelo de ensino invertido (*flipped classroom*[810]) no qual os estudantes têm contato, de forma antecipada, com o conteúdo que será trabalhado, é uma das alternativas para liberar o tempo pedagógico para trabalhos mais ativos que permitam o desenvolvimento de habilidades e maior aprofundamento dos componentes curriculares. Segundo a Neurociência[811], a aprendizagem requer tempo e investimento cognitivo e emocional. A Educação do futuro deverá oferecer o tempo necessário para que o estudante possa pensar, elaborar informações e constituir sentido sobre o que aprende.

DIVERSIFICAÇÃO DO CURRÍCULO

Uma das características mais relevantes de um ecossistema para a aprendizagem ao longo da vida é, sem dúvida, a construção de caminhos pessoais de aprendizagem. Para avançar nessa direção, é necessário superar o paradigma do currículo unificado e reconhecer que nem todos os estudantes devem aprender o mesmo, ao mesmo tempo e da mesma maneira[812]. Nesse sentido, o estabelecimento de objetivos pessoais de aprendizagem articulados aos objetivos de aprendizagem de todo um grupo de estudantes deve ser um

807 Northey, G. *et al.* (2018). The effect of "here and now" learning on student engagement and academic achievement.
808 Hod, Y. (2017). Future learning spaces in schools: Concepts and designs from the learning sciences.
809 Galán, J. G. (2017). Educational architecture and emerging technologies: Innovative classroom models.
810 Strelan, P. *et al.* (2020). The flipped classroom: A meta-analysis of effects on student performance across disciplines and education levels.
811 Korte, M., & Schmitz, D. (2016). Cellular and system biology of memory: Timing, molecules, and beyond.
812 Chiappe, A. *et al.* (2020). Rethinking 21st century schools: The quest for lifelong learning ecosystems.

dos pilares da Educação do futuro. **Paralelo ao currículo comum, os estudantes devem construir uma trilha pessoal de aprendizagem com base na oferta de disciplinas eletivas do currículo** que contemplem temas diversos, que ampliem o horizonte dos estudantes e favoreçam o reconhecimento de seus talentos e habilidades.

COMPETÊNCIAS DIGITAIS

É difícil pensar em aprendizado e desenvolvimento no século XXI sem considerar o papel da tecnologia[813]. No mundo todo, 92% dos futuros empregos exigirão competências digitais[814] e, nessa nova configuração do trabalho, o desenvolvimento dessas competências deixa de ser apenas uma vantagem e passa a se constituir como um direito de todos os estudantes. A tendência que já se observa em alguns países[815] é a **incorporação do pensamento computacional, da programação e de outras competências gerais das TICs no currículo escolar**. Na Finlândia[816], por exemplo, existem metas para essas competências com níveis diferentes de complexidade do primeiro ao último ano da educação básica. A abordagem interdisciplinar STEM[817], que trabalha o ensino de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, de forma integrada, com base em problemas da vida real, também tem ganhado cada vez mais espaço no currículo de vários países que entendem que é preciso dar aos estudantes o melhor começo possível, preparando-os para os desafios futuros[818].

TECNOLOGIAS EMERGENTES NA SALA DE AULA

Alguns países já estão incorporando nas salas de aula a robótica, a gamificação e também tecnologias emergentes, como Realidade Virtual[819] e Realidade Aumentada[820], para criar métodos de ensino mais inovadores. Por exemplo, a realidade aumentada pode ser usada para criar modelos multimídia 3D de animais, plantas e paisagens, mas também para visualizar coisas que não podem ser vistas a olho nu, como campos magnéticos, átomos, microrganismos e divisão celular[821]. Em aulas de Química, a realidade aumentada tem sido usada para mostrar como modelos 3D de moléculas interagem formando ligações. As imagens tridimensionais são mais realistas e os estudantes podem movê-las para

813 Ching, Y.-H. *et al.* (2018). Developing computational thinking with educational technologies for young learners.
814 Australian Government. (2017). *Australia 2030: Prosperity through innovation,*
815 European Commission. (2019). *Digital education Eurydice report at school in Europe.*
816 NCCA. (2018). *Investigation of curriculum policy on coding in six jurisdictions.*
817 Kong, S.-C., Abelson, H., & Lai, M. (2019). Introduction to computational thinking education.
818 García-Peñalvo, F. J., & Mendes, A. J. (2018). Exploring the computational thinking effects in pre-university education.
819 Al-Azawi, R. *et al.* (2019). Exploring the potential of using augmented reality and virtual reality for STEM education.
820 Hsu, H.-P. *et al.* (2018). Developing elementary students' digital literacy through Augmented Reality Creation: Insights from a longitudinal analysis of questionnaires, interviews, and projects.
821 Richardson, J. (2018). *Augmented Reality could rule the classrooms of the future.*

ver diferentes ângulos. A interatividade e o aprendizado tátil estimulam os sentidos e geram motivação e engajamento. **A tendência é que a educação do futuro incorpore cada vez mais essas tecnologias emergentes**.

KIT DIDÁTICO DIGITAL

A mudança de paradigma na Educação e as inovações trazidas pela tecnologia estão impactando a sala de aula, transformando as metodologias de ensino e acarretando novas necessidades e desafios para o dia a dia de estudantes e professores. A diversificação do material didático, com a adoção de kit didático digital, acontecerá de forma paulatina para dar suporte à revolução tecnológica dos processos de ensino e aprendizagem. As escolas terão de se preparar para garantir os dispositivos necessários, além do acesso e da qualidade da conexão com a internet e serviços de armazenamento em nuvem. Elas precisarão disponibilizar, também, softwares, pacotes de aplicativos de edição de texto e planilha, conteúdos digitais (videoaulas, jogos educacionais, entre outros), assim como materiais e tecnologias que permitam aos estudantes fazer experimentos e construir objetos físicos e virtuais (kits de robótica, computação física, impressoras 3D, ferramentas de programação, laboratórios virtuais, ferramentas de criação). No entanto, para além da infraestrutura necessária, as escolas terão de investir na formação dos professores, para que as novas tecnologias sejam, efetivamente, sinônimo de inovação no contexto educativo.

ÉTICA E CIDADANIA DIGITAL

Temos avançado de forma vertiginosa em ciência, inovação e tecnologia, mas para que esse avanço seja proveitoso para a humanidade, a reflexão e o posicionamento ético precisam nortear todo esse progresso. A ética sempre esteve na pauta da Educação, mas se tornou crítica no novo cenário em que a velocidade das novas perguntas é muito mais rápida do que a nossa capacidade de encontrar respostas. Boa parte dos fatos e das informações que circulam são absorvidas por crianças e jovens sem uma discussão que promova sua incorporação num conjunto sólido de valores e atitudes. **A Educação do futuro precisa abrir espaço para que a reflexão ética favoreça uma ampliação da consciência e se expresse em atitudes e valores orientados para o bem da humanidade.** Porque, se por um lado, evoluímos na Inteligência Artificial, não existe nenhuma indicação de que estamos perto de construir uma "consciência artificial". Robôs resolverão problemas, mas sentimentos, emoções, empatia, solidariedade, justiça, altruísmo, generosidade e compaixão ainda continuam no colo da humanidade.

Em um cenário no qual as crianças começam a ter contato com as tecnologias e com a internet cada vez mais cedo[822], a Educação do futuro deve ir além da alfabetização e inclusão digital e precisa assumir o compromisso de ajudar os estudantes a terem uma relação saudável com a tecnologia, explorando com segurança e confiança o mundo digital[823]. Pesquisas[824] indicam que incluir a "cidadania digital" no currículo escolar é fundamental para ajudar crianças e jovens a se tornarem usuários de tecnologias responsáveis, mantendo as informações pessoais seguras, combatendo conteúdos nocivos, equilibrando a vida *on-line* e *off-line* e tendo clareza sobre direitos autorais. Em alguns países, como o Reino Unido e a Itália, as políticas de Educação do governo estão evoluindo para tornar a cidadania digital obrigatória nas escolas, tendo em vista que o uso responsável das tecnologias será cada vez mais indispensável para uma participação construtiva e engajada na sociedade[825].

Apesar de o *slogan* "aprender para o futuro" ser frequentemente associado ao aprendizado de habilidades digitais e tecnológicas, as evidências científicas[826] nos dão boas razões para acreditar que, paralela a essa tarefa, as escolas do amanhã têm de investir esforços redobrados nas habilidades de leitura profunda[827]. Ler profundamente é ir além da mera extração de informação de um texto. Na era digital, é provável que os leitores ampliem gradualmente a quantidade de leitura nas telas e a sobrecarga cognitiva gerada pelos ambientes da internet pode levar ao processamento superficial de informações[828]. O que lemos e quão profundamente lemos molda o cérebro, mas o leitor experiente raramente se desenvolve sem orientação e instrução. Entra aqui o importante papel da Educação. Pesquisa[829] realizada com uma amostra de crianças australianas de 8 a 11 anos de idade revelou que a frequência de leitura diminuía sistematicamente quando elas tinham acesso à maior variedade de dispositivos móveis. É preciso garantir que crianças e adolescentes desenvolvam e mantenham o interesse pela leitura, seja em formato digital ou impresso, e exercitem a concentração e a imersão no texto de forma a se beneficiar dos processos cognitivos e emocionais que a leitura profunda proporciona.

822 UNICEF. (2017). *Children in a digital world.*

823 Jones, L. M., & Mitchell, K. J. (2016). Defining and measuring youth digital citizenship.

824 Middaugh, E. *et al.* (2016). Digital media, participatory politics, and positive youth development.

825 Google for Education. (2020). *O futuro da sala de aula.*

826 Baron, N. S. (2017). Reading in a digital age.

827 Wolf, M., & Barzillai, M. (2009). The importance of deep reading.

828 Loh, K. K., & Kanai, R. (2016). How has the internet reshaped human cognition?

829 Merga, M. K., & Roni, S. M. (2017). The influence of access to eReaders, computers and mobile phones on children's book reading frequency.

PENSAMENTO CRÍTICO

Educar no século XXI não se reduz a ensinar algo, mas a ensinar a pensar sobre algo e, assim, aprender. O foco da Educação sempre girou em torno "do que" se deve aprender – Matemática, Ciências, História –, mas nunca sobre "como se deve aprender", utilizando a metacognição, aprendendo a usar o pensamento crítico e desenvolvendo a autonomia de pensamento para ter a capacidade de pensar por si mesmo. As novas gerações têm tido acesso a um universo ilimitado de informações, mas as evidências científicas indicam que a aprendizagem não se inicia quando temos acesso, mas quando processamos essas informações[830]. Pensar criticamente é ir além do "o quê" para alcançar o "por quê". É considerar diferentes perspectivas, romper com preconceitos e estereótipos, superar o óbvio e abraçar a complexidade para construir argumentos sólidos e tomar decisões com propriedade. Em um cenário de mudanças tão aceleradas, os estudantes não terão alguém sempre ao seu lado traduzindo o que está acontecendo, explicando as consequências e encontrando as soluções. Os estudantes que crescem com um ótimo *smartphone*, mas com baixa escolaridade, enfrentarão riscos reais[831]. A fragilidade dessa nova geração é percebida em pesquisas que indicam, por exemplo, que apenas 1 em cada 10 jovens consegue distinguir uma informação verdadeira de uma *fake news*[832]. **A Educação do futuro precisa desenvolver o pensamento crítico, para que crianças e jovens tenham autonomia para analisar e discernir sobre o que acontece à sua volta, tomando decisões e fazendo escolhas responsáveis e comprometidas com um mundo melhor para todos.**

CRIATIVIDADE

Juntamente com o pensamento crítico, a criatividade é outra habilidade crucial para o século XXI. A Neurociência confirma que a criatividade não é um dom herdado, mas uma habilidade passível de desenvolvimento[833]. Essa importante evidência científica coloca em relevo a ideia de que a criatividade pode ser ensinada e reforça o papel das instituições de ensino no fomento do pensamento criativo e da sua expressão na aprendizagem[834]. Para remodelar o futuro do nosso país, precisamos formar pessoas criativas, que enriqueçam o presente com uma *mente aberta*, explorando a curiosidade, usando a imaginação, trazendo um novo olhar para velhos problemas sem medo de

830 Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2008). Learning by viewing versus learning by doing: Evidence-based guidelines for principled learning environments.

831 Schleicher, A. (2019). *PISA 2018: Insights and interpretations.*

832 OCDE. (2019). *PISA 2018 Results: What students know and can do.*

833 Chen, Q. *et al.* (2016). Longitudinal alterations of frontoparietal and frontotemporal networks predict future creative cognitive ability.

834 Ritter, S. M. *et al.* (2020). Fostering students' creative thinking skills by means of a one-year creativity training program.

errar, mantendo a confiança na sua capacidade de gerar novas ideias para transformar a realidade. **Na Educação do futuro, a criatividade não pode ser algo adicional ao processo educativo, mas algo intrínseco, que defina e permeie continuamente os processos de ensino e aprendizagem.**

INTERDISCIPLINARIDADE

Para integrar o pensamento crítico e a criatividade no ensino, a pedagogia do século XXI vai precisar superar a dicotomia entre as ciências e as artes que contrapõem as emoções e a intuição ao pensamento racional. As pesquisas no campo da Neurociência revelam que o funcionamento da mente humana não se caracteriza por uma batalha de forças opostas: razão deliberada *versus* emoção impulsiva e irracional[835]. Muito pelo contrário, do ponto de vista neurocientífico, é impossível construir memórias, realizar pensamentos complexos ou tomar decisões significativas sem a interdependência entre esses processos[836]. Um estudo revelou que os vencedores do Prêmio Nobel, longe de terem um foco restrito a determinada área, eram mais propensos do que outros cientistas a ter interesses amplos ou habilidades nas artes[837]. Isso faz sentido, porque uma ciência limitada a fatos e divorciada da cultura não favorece as conexões necessárias à geração de novas ideias[838]. Saltos em descobertas e inovações científicas não teriam acontecido apenas com o pensamento crítico. É exatamente a integração da cognição com a emoção que possibilita o processo de construção e renovação do conhecimento. Nos últimos anos, tem havido um crescimento considerável de iniciativas em vários países para estabelecer um currículo STEAM, adicionando Artes à Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática[839]. Na prática, isso significa avançar para um **trabalho interdisciplinar catalisador do pensamento crítico e criativo que favoreça o diálogo entre ciências exatas, artes e humanidades.** Na Educação do futuro, a poesia, a música, o *design*, a moda, o cinema, o teatro, a pintura e o desenho não podem mais se limitar aos intervalos e às apresentações de fim de ano, mas precisam estar integradas ao dia a dia escolar junto à Matemática e a outras áreas de conhecimento, propiciando aos estudantes a construção de uma rede de conhecimentos repleta de sentido e significado e com potencial de aplicabilidade em diferentes contextos[840]. Porque, parafraseando o escritor e poeta russo Vladimir Nabokov (1899-1977), "não há ciência sem imaginação nem arte sem fatos".

835 Brosch, T.*et al.* (2013). The impact of emotion on perception, attention, memory, and decision-making.

836 Duncan, S., & Barrett, L. F. (2007). Affect is a form of cognition: A neurobiological analysis.

837 Root-Bernstein, R. *et al.* (2008). Arts foster scientific success: Avocations of Nobel, National Academy, Royal Society, and Sigma Xi members.

838 Braund, M., & Reiss, M. J. (2019). The 'great divide': How the arts contribute to science and science education.

839 Harris, A., & Bruin, L. R. (2018). Secondary school creativity, teacher practice and STEAM education: An international study.

840 Sicherl-Kafol, B. & Denac, O. (2010). The importance of interdisciplinary planning of the learning process.

MUDANÇA NO PAPEL DO ESTUDANTE

Uma tendência apontada por relatórios[841] que traçam cenários prospectivos para a Educação é a mudança no papel do estudante consumidor para produtor de conhecimentos. Traduzir isso para a sala de aula requer uma **mudança de paradigma na qual o estudante deixa de ser coadjuvante e assume lugar central nos processos de ensino e aprendizagem.** A escola, tradicionalmente, desenvolveu um processo no qual a trajetória de aprendizagem do estudante já estava traçada e só restava a ele percorrer passivamente o caminho. Para sobrepor o ensino enciclopédico, focado no consumo de informações que logo serão esquecidas, é preciso que o estudante não se limite a ouvir e repetir conteúdos, mas seja convidado a exercer a sua autoria, produzindo algo novo a partir do que aprendeu.

ENSINO PERSONALIZADO

Para se desenvolver como produtor e não reprodutor de conhecimentos, o estudante precisa construir um caminho próprio. As pesquisas no campo da Neurociência[842] comprovam que nossos cérebros são tão distintos quanto nossas impressões digitais e que a aprendizagem é um processo singular. **Para estar alinhada com as evidências científicas, a Educação do futuro precisa ser personalizada**. É interessante destacar que, nos primórdios da Educação, os filhos dos nobres eram educados por preceptores em um modelo de ensino personalizado[843]. Com a Revolução industrial, a escola precisou se expandir e não foi mais possível manter a Educação individualizada ou para pequenos grupos. Foi preciso criar uma nova didática para dar conta da transmissão de conhecimentos para um número muito maior de crianças, jovens e adultos. Surgiu, então, a didática do quadro negro, que colocou o professor no centro do processo educativo com a missão de ensinar o mesmo para todos, independentemente do ritmo, das habilidades e dos interesses de cada um. Hoje, com o apoio das novas tecnologias, a Educação tem a chance de seguir atendendo a grupos maiores de estudantes, mas de forma personalizada. As plataformas adaptativas podem oferecer suporte ao professor, por meio de um ambiente virtual de aprendizado que personaliza o processo de aprendizagem de cada estudante, de acordo com seu progresso. Por meio da Inteligência Artificial[844], os algoritmos analisam o desempenho dos estudantes, identificam suas necessidades e dificuldades e sugerem uma trajetória customizada de aprendizagem. Especialmente para

841 Becker, S. A. *et al.* (2016). *Horizon Report: 2016 K-12 Edition.*
Scott, C. L. (2015). *The future of learning 1: Why must learning content and methods change in the 21st century?*

842 Miller, G. (2012). Why are you and your brain unique?

843 Kamecka, M. (2007). Educating and passing knowledge: The role of private tutors in the formation of polish youth of noble origins in the sixteenth to eighteenth centuries.

844 Tuomi, I. (2018). *The impact of artificial intelligence on learning, teaching, and education: Policies for the future.*

o professor, podem ser gerados relatórios de desempenho por estudante, favorecendo uma compreensão do percurso de cada um.

NOVO PERFIL DO PROFESSOR

A tecnologia pode ser ferramenta poderosa para personalizar a aprendizagem, mas esse processo só será realmente possível mediante a transformação efetiva do papel do professor e do vínculo que ele estabelece com os estudantes. É fundamental que o professor dissolva o modelo da sala de aula "auditório" e diversifique as práticas pedagógicas e os recursos didáticos para que cada estudante possa construir a sua rota particular de aprendizagem. **Na Educação do século XXI, o professor deixará de ser um fornecedor de conteúdo e passará a ser um assegurador de aprendizagem**[845]**.** Isso significa que o compromisso do professor é mediar a relação do estudante com o conhecimento, buscando os melhores caminhos para garantir que cada um explore e alcance todo o seu potencial de aprendizado. De fato, o professor vai ser convocado a inovar e seu papel na era digital ganhará novos contornos. Longe de ser substituído pelas novas tecnologias, ele será cada vez mais relevante no século XXI[846]. Essa tendência reforça a necessidade do investimento na formação, na remuneração, na carreira, nas condições de trabalho e no valor social do professor, para que seja possível atrair para a carreira docente pessoas cada vez mais qualificadas e que tenham talento para educar. Para que os professores possam atuar com base nos pilares da Educação do futuro, a formação inicial e continuada deve ir além da adição de novos conhecimentos e habilidades técnicas aos repertórios dos professores. Ela precisa favorecer uma mudança de paradigma que permita ao professor uma reconstrução do seu papel e propósito[847].

INTERAÇÃO SOCIAL E APRENDIZAGEM EM REDE

É importante esclarecer que ensino personalizado não é o mesmo que ensino individualizado. O ensino personalizado atende às necessidades únicas de cada estudante, enquanto o ensino individualizado atende um único estudante de cada vez. Segundo a Neurociência, a interação social é importante catalisador da aprendizagem[848]. Contextos educativos que são desenhados com o objetivo de potencializar as relações sociais

845 USP: Cátedra de Educação Básica da Universidade de São Paulo. (2019). *Ciclo Ação e Formação do Professor.*

846 UNESCO. (2015). *Rethinking education: Towards a global common good?*

847 Bull, A., & Gilbert, J. (2012). *Swimming out of our depth: Leading learning in 21st century schools.* Knowledgeworks. (2019). *Role of the teacher in a personalized, competency-based classroom.*

848 Yano, K. (2013). The science of human interaction and teaching.

favorecem a motivação[849], a percepção de autoeficácia[850], a criatividade[851] e a capacidade de resolver problemas[852]. Por isso, na Educação do futuro, a aprendizagem deve ser personalizada com itinerários customizados para cada estudante, mas **também em rede, por meio de plataformas e em grupos de trabalho na sala de aula.**

Em situações de colaboração, o estudante é convocado a pensar criticamente e a confrontar a lógica de seu pensamento e a precisão de sua compreensão sobre o tema trabalhado. As atividades colaborativas permitem também que ele desenvolva a sua capacidade de comunicação e aprenda a expor a sua opinião e a sustentar o seu ponto de vista[853]. Nessa perspectiva, as interações sociais no contexto educativo são fundamentais para preparar os estudantes para as situações sociais e de trabalho da vida real[854]. A interação e o intercâmbio entre professores também são fatores críticos para o alcance de melhores resultados. Professores eficazes trabalham em colaboração com seus colegas e estão continuamente aprendendo, melhorando suas práticas de ensino e, consequentemente, a aprendizagem dos estudantes[855].

PEDAGOGIA INOVADORA COM MÚLTIPLAS METODOLOGIAS ATIVAS

Preparar os estudantes para os desafios contemporâneos e futuros implica inovar nas metodologias de ensino utilizadas. Para avançar nessa direção, é preciso que os professores compreendam o propósito das diferentes metodologias e estejam preparados para escolher a mais adequada para os objetivos de aprendizagem em cada situação. A educação do século XX foi marcada por uma pedagogia homogênea na qual não havia diversidade nas metodologias de ensino. O caminho único da "aula expositiva" engessava os processos de ensino e aprendizagem e não solicitava do professor uma reflexão sobre como ele deveria ensinar. **A Educação do futuro vai ser pautada por uma pedagogia inovadora refletida numa diversidade de metodologias de ensino.** Os professores precisam estar habilitados para tomar decisões sobre qual metodologia usar em cada momento, atuando como projetistas de aprendizado, selecionando abordagens com uma noção clara do impacto pretendido[856].

849 Immordino-Yang, M.-H., & Sylvan, L. (2010). Admiration for virtue: Neuroscientific perspectives on a motivating emotion.
850 Blazar, D., & Kraft, M. A. (2017). Teacher and teaching effects on students' attitudes and behaviors.
851 Xue, H. *et al.* (2018). Cooperation makes two less-creative individuals turn into a highly-creative pair.
852 Hurst, B. *et al.* (2013). The impact of social interaction on student learning.
853 Official Norwegian Reports. (2015). *The school of the future: Renewal of subjects and competences.*
854 Scott, C. L. (2015). *The future of learning: What kind of pedagogies for the 21st century?*
855 Schleicher, A. (2012). *Preparing teachers and developing school leaders for the 21st century: Lessons from around the world.*
856 Jensen, B. *et al.* (2016). Beyond PD: *Teacher professional learning in high-performing systems beyond PD: Teacher professional learning in high-performing systems.*

As metodologias de ensino têm importância crucial, pois a maneira como as pessoas são ensinadas afeta "o quê" e "como" elas aprendem[857]. Além disso, as metodologias moldam as relações entre o professor e os estudantes que, comprovadamente[858], têm forte impacto no desempenho acadêmico. Os estudantes precisam incorporar a ideia de que aprender não se limita a seguir as lições indicadas pelo professor, fazer exercícios e realizar as provas previstas no calendário escolar. Para mudar essa concepção de aprendizagem, a escola do futuro precisa trabalhar com metodologias ativas que coloquem o estudante no centro do processo educativo e ofereçam espaço para que ele lidere a sua aprendizagem, fazendo escolhas de tópicos e atividades, explorando a sua curiosidade, elaborando perguntas, gerando ideias de forma independente, trabalhando com situações-problema, desenvolvendo projetos com temas de interesse próprio, refletindo e autoavaliando a sua aprendizagem. As evidências sugerem que as metodologias ativas ajudam os estudantes a aprender com mais eficácia ao oferecer maior autonomia e responsabilização pelo próprio processo de aprendizagem[859].

HABILIDADES SOCIOEMOCIONAIS

As metodologias ativas criam o cenário ideal para o desenvolvimento das habilidades socioemocionais tão requisitadas no contexto atual e futuro. Diante de um processo de automação acelerado, no qual robôs ganham cada vez mais espaço, o desenvolvimento de habilidades que definem a nossa humanidade, como empatia, liderança, responsabilidade, colaboração, flexibilidade, resiliência e estabilidade emocional se tornam cada vez mais relevantes[860]. Todavia os desafios do mundo do trabalho não são o único argumento para que as habilidades socioemocionais integrem a Educação do futuro. Pesquisas revelam que essas habilidades moldam importantes resultados da vida na idade adulta, como, por exemplo, renda, saúde e participação social[861]. Essa narrativa, juntamente com as evidências da Neurociência[862] de que as emoções repercutem na maneira como os estudantes acessam, processam e consolidam informações e experiências, fortalece a necessidade da transição de um paradigma educacional baseado exclusivamente nos processos cognitivos para outro que reconheça os componentes emocionais e sociais da

857 Peterson, A. *et al.* (2018). *Understanding innovative pedagogies: Key themes to analyze new approaches to teaching and learning.*

858 Roorda, D. L. *et al.* (2017). Affective teacher, student relationships and students' engagement and achievement: A meta-analytic update and test of the mediating role of engagement.

859 Konopka, C. L. *et al.* (2015). Active teaching and learning methodologies: Some considerations.

860 Börner, K. *et al.* (2018). Skill discrepancies between research, education, and jobs reveal the critical need to supply soft skills for the data economy.

861 Chernyshenko, O. *et al.* (2018). *Social and emotional skills for student success and well-being: Conceptual framework for the OECD study on social and emotional skills.* OECD Education Working Papers, No. 173, Paris: OECD Publishing. doi:10.1787/db1d8e59-en. Lechner, C. *et al.* (2019). Socio-emotional skills in education and beyond: Recent evidence and future research avenues.

862 Immordino-Yang, M.-H., & Damasio, A. (2007). We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education.

condição humana. **A Educação do futuro vai integrar as habilidades socioemocionais com o desenvolvimento acadêmico, capacitando os estudantes a serem aprendizes mais eficazes hoje e cidadãos mais preparados para o amanhã.** Avançando nessa direção, a Educação vai atender à expectativa dos próprios estudantes que acreditam que as habilidades socioemocionais vão se tornar ainda mais importantes no futuro[863].

Ao longo da trajetória escolar, os estudantes absorvem uma combinação de mensagens sobre seus erros e acertos, talentos e fragilidades, possibilidades e limitações. A forma como cada um processa emocionalmente essas mensagens conforma um modelo mental (*mindset*)[864] que orienta o comportamento em direção às conquistas futuras. Estudantes que desenvolvem um modelo mental de crescimento acreditam que podem se desenvolver, têm tendência a abraçar desafios, persistem mediante contratempos, entendem que o esforço é necessário ao sucesso na aprendizagem, lidam melhor com a crítica e aprendem com os erros. Já os estudantes com um modelo mental fixo têm tendência a funcionar impulsionados pelo professor, evitam desafios, desistem facilmente, veem o esforço como algo negativo, ignoram o *feedback* e, consequentemente, realizam menos do que o seu potencial permite. Por um lado, pesquisas[865] indicam que, quando os estudantes vivenciam experiências de sucesso na escola, eles recebem um impulso na motivação para continuar aprendendo e progredindo. Por outro lado, as pesquisas indicam também que aqueles que são feridos por uma experiência escolar negativa podem desenvolver o sentimento de fracasso contínuo, o que os faz desacreditar da sua capacidade de obter sucesso nas suas empreitadas ao longo da vida[866]. A Educação do futuro deve estimular um modelo mental de crescimento que gere nos estudantes a confiança de que o seu potencial é passível de desenvolvimento e que eles estão equipados para enfrentar desafios e fazer novas conquistas. Promover uma mentalidade de crescimento nos professores também deve ser prioridade[867], pois aqueles com uma mentalidade fixa tendem a ficar presos em sua prática e a resistir a novas ideias.

AVALIAÇÃO DIVERSIFICADA

Ampliar as metas da Educação, para horizontes que transcendam o desempenho acadêmico e alcancem uma formação mais holística, requer reconfigurações de vários aspectos do processo educacional que foram citados anteriormente, como o redesenho

863 Pearson. (2019). *The global learner survey.*

864 Dweck, C. S. (2017). *Mindset: A nova psicologia do sucesso.*

865 Dweck, C. S. (2017). Growth mindset and the future of our children.

866 Au, R. C. P. *et al.* (2010). Academic risk factors and deficits of learned hopelessness: A longitudinal study of Hong Kong secondary school students.

867 Seaton, F. S. (2017). Empowering teachers to implement a growth mindset.

do currículo, a inovação das metodologias de ensino e a reestruturação da formação dos professores. Para que essa nova engrenagem funcione, esses aspectos precisam estar integrados aos processos de avaliação. A avaliação é a pedra angular que baliza o processo educacional, pois professores e estudantes tendem a focar nas expectativas traçadas pelos sistemas de avaliação. Tradicionalmente, a avaliação sempre ocorreu por meio de processos padronizados, focados no alcance de notas que, na maior parte das vezes, têm um fim em si mesmo e não se constituem em ferramenta de feedback efetivo para os estudantes. Existe enorme lacuna entre esse modelo de avaliação e os novos pilares da Educação que estão se delineando[868]. É necessária uma abordagem inovadora que abarque, por exemplo, a avaliação das habilidades socioemocionais e do modelo mental dos estudantes, construções complexas que não são facilmente mensuráveis[869]. **Na Educação do futuro, serão utilizadas múltiplas ferramentas de avaliação com uma abordagem inovadora que permita aferir processos de aprendizagem de forma mais abrangente e personalizada ao longo do processo formativo.**

BIG DATA COMO FERRAMENTA DE GESTÃO ESCOLAR E DE MELHORIA DOS RESULTADOS

A avaliação é vital para o processo educacional[870], não apenas porque serve como bússola para o acompanhamento do progresso dos estudantes, mas também porque permite o diagnóstico do panorama educacional mais amplo, necessário à gestão escolar e ao direcionamento de políticas públicas. A Educação gera um volume imenso de dados e **a análise desse *Big Data* por meio da Inteligência Artificial será cada vez mais frequente, favorecendo interpretações mais aprofundadas que apontarão caminhos para melhoria da gestão educacional e para a indução de políticas públicas**.

NOVAS CERTIFICAÇÕES

Outra tendência, ainda no campo da avaliação, diz respeito aos processos de certificação para o mundo do trabalho. Com o fortalecimento dos ecossistemas de aprendizagem, as possibilidades de construção de conhecimentos e desenvolvimento de habilidades serão múltiplas e não estarão vinculadas necessariamente às instituições de ensino formais. **A tendência é que haja progressivamente uma alteração no valor atribuído aos certificados e diplomas oficiais e que o reconhecimento do saber seja aferido na prática e com base na bagagem de competências e experiências acumuladas**

868 Siarova, H. *et al.* (2017). *Assessment practices for 21st cyentury learning: Review of evidence.*
869 Soland, J. *et al.* (2013). *Measuring 21st century competencies: Guidance for educators.*
870 Gordon Commission. (2013). *To assess, to teach, to learn: A vision for the future of assessment.*

ao longo da vida. Formas alternativas de certificações vão, cada vez mais, se unir aos certificados oficiais e serão paulatinamente valorizadas pelas empresas. As pessoas usarão tecnologias de rastreamento de habilidades, como o *Learning Record Store* (LRS)[871] e microcredenciais[872], além de portfólios e atividades extracurriculares, como voluntariado, para indicar seu aprendizado fora da sala de aula e demonstrar que foram além do currículo-padrão[873].

COLABORAÇÃO DE DIVERSOS ATORES

A Educação no século XX ficou fechada nela mesma e criou muros altos que não permitiram uma participação mais ampla da sociedade. Tal clausura deixou de fora múltiplos atores que, apesar de não estarem diretamente ligados ao processo educativo, poderiam ter contribuído com novas perspectivas, favorecendo inovações no contexto escolar. Hoje, as escolas estão expandindo suas conexões com o mundo exterior[874] e estabelecendo parcerias e coalizões com organizações do terceiro setor, *startups*, provedores de tecnologia, operadoras de rede de telecomunicações, entre outros, que juntamente com os governos, as famílias e a comunidade local podem impulsionar o movimento de inovação na Educação. **A tendência é que esse movimento de colaboração avance ainda mais e inclua amplo espectro de atores interagindo e trabalhando juntos em prol da Educação.** Esta tendência está alinhada ao princípio constitucional que defende que a Educação seja responsabilidade da sociedade como um todo e não apenas dos governos e das famílias[875].

O resgate histórico e a prospecção que fizemos neste capítulo indicam que a falta de sintonia entre a Educação e as demandas da sociedade, além de ser secular, não está refletida apenas no fracasso dos últimos anos da formação profissional, mas é resultado de uma experiência acumulada nos sistemas de ensino que se estrutura desde os primórdios da Educação infantil. Na prática, isso significa pelo menos duas coisas. Primeiro, que o problema – e também a resposta – começam cedo. Segundo, que não há tempo a perder. A Educação do futuro é agora.

---

871 *Learning Record Store* (LRS) é um servidor capaz de receber e processar solicitações da Web, responsável por receber, armazenar e fornecer acesso aos registros de aprendizagem.

872 As microcredenciais representam uma habilidade ou conhecimento específico que um estudante adquiriu em nível granular, que são frequentemente representadas como *badges* digitais (indicadores de aprendizado em formato digital que comprovam que uma pessoa é competente em determinado tema).

873 Swanson, J. (2015). *Certifying skills and knowledge: Four scenarios on the future of credentials.*

874 Mueller, S., & Toutain, O. (2015). *The outward looking school and its ecosystem.*

875 Brasil. (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil.*

FIGURA 8 – 22 Tendências da Educação no mundo

ORGANIZAÇÃO DO PROCESSO EDUCATIVO

1. **NOVAS ARQUITETURAS**
   As salas de aula ganharão nova arquitetura, com diferentes estações de trabalho e mobiliário flexível que permite maior mobilidade, mais interação entre os estudantes e plena integração com as ferramentas tecnológicas.

2. **PEDAGOGIA INOVADORA COM MÚLTIPLAS METODOLOGIAS ATIVAS**
   A educação será pautada por uma pedagogia inovadora, refletida numa diversidade de metodologias ativas de ensino que vão sobrepor o modelo único da aula expositiva, colocando o estudante no centro do processo educativo.

3. **DIVERSIFICAÇÃO DO CURRÍCULO**
   O currículo será cada vez mais diversificado, permitindo aos estudantes construírem uma trilha pessoal de aprendizagem com base na oferta de disciplinas eletivas que contemplem temas diversos, ampliem o horizonte dos estudantes e favoreçam o reconhecimento de seus talentos e habilidades.

4. **MUDANÇA NO PAPEL DO ESTUDANTE**
   O estudante assumirá, progressivamente, um papel mais ativo na sua aprendizagem, participando com maior autonomia e exercendo autoria no processo de desenvolvimento de suas competências.

5. **NOVO PERFIL DO PROFESSOR**
   O papel do professor se transformará gradualmente, contribuindo para que ele deixe de ser um fornecedor de conteúdo e passe a atuar como mediador e assegurador da aprendizagem.

6. **ENSINO PERSONALIZADO**
   O ensino será mais personalizado, com a mediação e a tutoria de professores e com o apoio das novas tecnologias que vão favorecer caminhos de aprendizagem customizados para cada estudante.

7. **INTERDISCIPLINARIDADE**
   O processo pedagógico será mais interdisciplinar, favorecendo maior integração entre as ciências exatas e as artes e humanidades.

8. **INTERAÇÃO SOCIAL E APRENDIZAGEM EM REDE**
   A interação social entre os estudantes crescerá e a aprendizagem acontecerá cada vez mais em grupos de trabalho na sala de aula e em rede por meio de plataformas. O conceito rígido de turmas será substituído pelo conceito dos squads, nos quais os estudantes se organizam em pequenos grupos multidisciplinares com objetivos específicos para o desenvolvimento de projetos.

9. **AVALIAÇÃO DIVERSIFICADA**
   A utilização crescente de múltiplas ferramentas de avaliação, com uma abordagem inovadora, permitirá aferir processos de aprendizagem de forma mais abrangente, avaliando não apenas a apropriação do conhecimento, mas também o desenvolvimento de habilidades socioemocionais ao longo do processo formativo.

10. **NOVAS CERTIFICAÇÕES**
    O surgimento de novas certificações alterará, gradualmente, o valor atribuído aos certificados e diplomas oficiais. Ocorrerá a ampliação do reconhecimento do saber com base na bagagem de competências e experiências acumuladas ao longo da vida nos diferentes ecossistemas de aprendizagem.

11. **COLABORAÇÃO DE DIVERSOS ATORES**
    A participação e colaboração de diversos atores (terceiro setor, startups, empresas de tecnologia) em prol da educação aumentará progressivamente.

HABILIDADES E COMPETÊNCIAS

12 DESENVOLVIMENTO DE COMPETÊNCIAS

O ensino será, cada vez mais, dirigido ao desenvolvimento de competências que garantam a aplicabilidade do conhecimento e menos focado na transmissão passiva de conteúdos.

13 APRENDIZAGEM AUTODIRIGIDA

O desenvolvimento da aprendizagem autodirigida será cada vez mais estimulado, objetivando que crianças e jovens se transformem em adultos com capacidade de gerenciar seu aprendizado de forma independente, sem a supervisão constante de um professor.

14 COMPETÊNCIAS DIGITAIS

As competências digitais (programação, pensamento computacional e competências gerais relacionadas às TICs) ganharão espaço no currículo e serão desenvolvidas em níveis diferentes de complexidade ao longo da educação básica. A robótica educacional estará mais presente no processo educativo.

15 HABILIDADES SOCIOEMOCIONAIS

O desenvolvimento das habilidades socioemocionais se tornará um pilar fundamental de todo o processo de aprendizagem, capacitando os estudantes a serem aprendizes mais eficazes hoje e cidadãos mais preparados para o amanhã.

16 PENSAMENTO CRÍTICO

O foco no desenvolvimento do pensamento crítico será crescente para que crianças e jovens tenham autonomia para analisar e discernir sobre o que acontece à sua volta, tomando decisões e fazendo escolhas responsáveis e comprometidas com um mundo melhor.

17 CRIATIVIDADE

O foco no desenvolvimento da criatividade será cada vez maior, favorecendo que os estudantes explorem sua curiosidade e usem a imaginação para resolver problemas e gerar soluções inovadoras.

18 ÉTICA E CIDADANIA DIGITAL

Os temas "ética e cidadania digital" terão mais espaço no currículo, contribuindo para que os estudantes expressem atitudes e valores orientados para o bem da humanidade e façam uso responsável das novas tecnologias.

TECNOLOGIA

19 ECOSSISTEMAS EDUCACIONAIS

A educação do futuro não estará restrita às instituições de ensino formais e acontecerá cada vez mais via ecossistemas educacionais que vão potencializar o aprendizado ininterrupto "aqui e agora". Isso ocorrerá por meio de múltiplas oportunidades de aprendizagem atreladas à plataformas educacionais, canais de vídeos on-line, redes sociais, experiências culturais e na comunidade, centros de pesquisa, empresas, museus interativos, entre outros.

20 BIG DATA COMO FERRAMENTA DE GESTÃO ESCOLAR E DE MELHORIA DOS RESULTADOS

A análise de Big Data por meio da inteligência artificial será cada vez mais frequente, favorecendo interpretações aprofundadas dos dados que apontarão caminhos para a melhoria da aprendizagem dos estudantes, da gestão educacional e de políticas públicas, além de favorecer o alinhamento entre os sistemas de ensino e o mundo do trabalho.

21 TECNOLOGIAS EMERGENTES NA SALA DE AULA

As tecnologias emergentes serão progressivamente mais utilizadas. Tutores inteligentes, chatbots e tecnologias virtuais, como realidades virtual e aumentada, laboratórios remotos, simuladores digitais e ambientes virtuais interativos, que permitem reunir estudantes de escolas diferentes e também de outras partes do mundo, farão parte do contexto de aprendizagem.

22 KIT DIDÁTICO DIGITAL

Haverá Incorporação de kit didático digital (livros digitais, dispositivos móveis, pacotes de internet) aos materiais didáticos tradicionais.





REFERÊNCIAS

INTRODUÇÃO

Azevedo, F. A., Carvalho, L. R., Grinberg, L. T., Farfel, J. M., Ferretti, R. E., Leite, R. E., Jacob Filho, W., Lent, R., & Herculano-Houzel, S. (2009). Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain. *Journal of Comparative Neurology, 513*(5), 532–541. doi:10.1002/cne.21974

Herculano-Houzel S. (2009). The human brain in numbers: a linearly scaled-up primate brain. *Frontiers in Human Neuroscience, 3*, 31. doi:10.3389/neuro.09.031.2009

von Bartheld, C. S., Bahney, J., & Herculano-Houzel, S. (2016). The search for true numbers of neurons and glial cells in the human brain: A review of 150 years of cell counting. *Journal of Comparative Neurology, 524*(18), 3865–3895. doi:10.1002/cne.24040

CAPÍTULO 2 – O QUE É NEUROCIÊNCIA?

Abbott, A. (2013). Neuroscience: Solving the brain. *Nature*, *499*, 272-274. doi:10.1038/499272a

Adelman, G. (2010). The Neurosciences Research Program at MIT and the beginning of the modern field of Neuroscience. *Journal of the History of the Neurosciences*, *19*, 15-23. doi:10.1080/09647040902720651

Albus, J. S., Bekey, G. A., Holland, J. H., Kanwisher, N. G., Krichmar, J. L., Mishkin, M., Modha, D. S., Raichle, M. E., Shepherd, G. M., & Tononi, G. (2007). A proposal for a decade of the mind initiative. *Science*, *317* (5843), 1321. doi:10.1126/science.317.5843.1321b

Annavarapu, R. N., Kathi, S., Vadla, V. K. (2019). Non-invasive imaging modalities to study neurodegenerative diseases of aging brain. *Journal of Chemical Neuroanatomy*, *95*, 54-69. doi:10.1016/j.jchemneu.2018.02.006

Balardin, J. B., Morais, G. A. Z., Furucho, R. A., Trambaiolli, L., Vanzella, P., Biazoli, Jr, C., & Sato, J. R. (2017). Imaging brain function with functional near-infrared spectroscopy in unconstrained environments. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*:258. doi:10.3389/fnhum.2017.00258

Bassett, D. S., & Sporns, O. (2017) Network neuroscience. *Nature Neuroscience*, *20*(3), 353-364. doi:10.1038/nn.4502

Brown, R. E. (2019). Why study the history of Neuroscience? *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *13*:82. doi:10.3389/fnbeh.2019.00082

Castro, F. S. & Landeira-Fernandez, J. (2010). Alma, mente e cérebro na pré-história e nas primeiras civilizações humanas. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, *23*(1), 37-48. doi:10.1590/S0102-79722010000100017

Chiao, J. Y. (2018). Developmental aspects in cultural neuroscience. *Developmental Review*, *50*(A), 77-89. doi:10.1016/j.dr.2018.06.005

Churchland, P. S. & Phil, B. (2008). The significance of neuroscience for philosophy. *Functional Neurology*, *23*(4), 175-178.

Cosenza, R. M. (2002, dezembro 31). Espíritos, cérebros e mentes. A evolução histórica dos conceitos sobre a mente. *Revista Cérebro & Mente*. Recuperado de http://www.cerebromente.org.br/n16/history/mind-history.html

Erickson, K. I., Creswell, D., Verstynen, T. D., & Gianaros, P. J. (2014). Health neuroscience: Defining a new field. *Current Directions in Psychological Science*, *23* (6), 446-453. doi:10.1177/0963721414549350

Finger, S. (2001). *Origins of neuroscience: a history of explorations into brain function*. Oxford University Press, USA.

Fogarty, L., Creanza, N., & Feldman, M. W. (2015). Cultural evolutionary perspectives on creativity and human innovation. *Trends in Ecology & Evolution*, *30*(12), 736-754. doi:10.1016/j.tree.2015.10.004

Goldstein, M. (1994). Decade of the brain: An agenda for the nineties. *Western Journal of Medicine*, *161*, 239-241.

Grillner, S., Ip, N., Koch, C., Koroshetz, W., Okano, H., Polachek, M., Poo, M. M., & Sejnowski, T. J. (2016). Worldwide initiatives to advance brain research. *Nature Neuroscience*, *19*(9), 1118-1122. doi:10.1038/nn.4371

Herbet, G., & Duffau, H. (2020). Revisiting the functional anatomy of the human brain: Toward a meta-networking theory of cerebral functions. *Physiological Reviews, 100*(3), 1181–1228. doi:10.1152/physrev.00033.2019

Hyman, S. (2007). Can neuroscience be integrated into the DSM-V? *Nature Reviews Neuroscience*, *8*, 725-732. doi:10.1038/nrn2218

Illes, J., Moser, M. A., McCormick, J. B., Racine, E., Blakeslee, S., Caplan, A., Hayden, E. C., Ingram, J., Lohwater, T., McKnight, P., Nicholson, C., Phillips, A., Sauvé, K. D., Snell. E., & Weiss, S. (2010). Neurotalk: Improving the communication of neuroscience research. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*, 61-69. doi:10.1038/nrn2773

Kedia, G., Harris, L., Lelieveld, G-J., & Van Dillen, L. (2017). From the brain to the field: The applications of social neuroscience to economics, health and law. *Brain Sciences*, *7*(94), 1-16. doi:10.3390/brainsci7080094

Lent, R. (2008). *Neurociência da mente e do comportamento*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

Lent, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência*. Rio de Janeiro: Atheneu.

Lent, R. (2019). *O cérebro aprendiz: Neuroplasticidade e educação*. Rio de Janeiro: Atheneu.

Mill, R. D., Ito, T., & Cole, M. W. (2017). From connectome to cognition: The search for mechanism in human functional brain networks. *Neuroimage*, *160*, 124-139. doi:10.1016/j.neuroimage.2017.01.06

Müller, O. & Rotter, S. (2017). Neurotechnology: Current developments and ethical issues. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *11*:93. doi:10.3389/fnsys.2017.00093

Rose, S. (2015). The art of medicine: 50 years of neuroscience. *The Lancet*, *385*, 598-599.

Ross, D. A., Arbuckle, M. R., Travis, M. J., Dwyer, J. B., van Schalkwyk, G.I., & Ressler, K. J. (2017). An integrated neuroscience perspective on formulation and treatment planning for posttraumatic stress disorder: An educational review. *JAMA Psychiatry*, *74*(4), 407-415. doi:10.1001/jamapsychiatry.2016.3325

Rosso, C. (2018, outubro 30). The funding spree for neuroscience startups. *Psychology Today*. Recuperado de https://www.psychologytoday.com/us/blog/the-future-brain/201810/the-funding-spree-neuroscience-startups

Sabbatini, R. M. E. & Cardoso, S. H. (2002). Interdisciplinarity in the neurosciences. *Interdisciplinary Science Reviews*, *27*(4), 303-311. doi:10.1179/030801802225003169

Stein, D. J, He, Y., Phillips, A., Sahakian, B. J., Williams, J., & Patel, V. (2015). Global mental health and neuroscience: potential synergies. *Lancet Psychiatry*, *2*, 178-85. doi:10.1016/S2215-0366(15)00014-0

Stiefel, M., Shaner, A., & Schaefer, S. D. (2006). The Edwin Smith papyrus: The birth of analytical thinking in medicine and otolaryngology. *Laryngoscope*, *116*, 182-188. doi:10.1097/01.mlg.0000191461.08542.a3

Tandon, P. N. (2000). The decade of the brain: a brief review. *Neurology India*, *48*(3), 199-207.

Thompson, P. M., Jahanshad, N., Ching, C. R. K. *et al.* (2020). ENIGMA and global neuroscience: A decade of large-scale studies of the brain in health and disease across more than 40 countries. *Translational Psychiatry*, *10*: 100. doi:10.1038/s41398-020-0705-1

van Middendorp, J. J., Sanchez, G. M., & Burridge, A. L. (2010). The Edwin Smith papyrus: A clinical reappraisal of the oldest known document on spinal injuries. *European Spine Journal*, *19*(11), 1815-1823. doi:10.1007/s00586-010-1523-6

Vasung, L., Turk, E. A., Ferradal, S. L., Sutin, J., Stout, J. N., Ahtam, B., Lin, P-Y, & Grant, P. E. (2019). Exploring early human brain development with structural and physiological neuroimaging. *Neuroimage*, *187*, 226-254. doi:10.1016/j.neuroimage.2018.07.041

Volkow, N. D., Insel, T. R., Landis, S., Warren, K. R., Sieving, P. A., Battery, Jr, J. F., Hodes, R. J. (2010, fevereiro 26). A decade after the Decade of the Brain. *Cerebrum: Dana Foundation*. Recuperado de https://dana.org/article/a-decade-after-the-decade-of-the-brain/

Wilson, E. O. (1998). *Consilience: The unity of knowledge*. New York, N.Y.: Vintage Books.

Yeung, A. W. K., Goto, T. K., & Leung, W. K. (2017). The changing landscape of neuroscience research, 2006-2015: A bibliometric study. *Frontiers in Neuroscience*. *11*:120. doi:10.3389/fnins.2017.00120

Yuste, R. (2015). From the neuron doctrine to neural networks. *Nature Reviews Neuroscience*, *16*, 487-497. doi:10.1038/nrn3962

CAPÍTULO 3 – POR QUE NEUROCIÊNCIA E EDUCAÇÃO?

Ansari, D. (2012). Culture and education: New frontiers in brain plasticity. *Trends in Cognitive Sciences*, *16*(2), 93-95. doi:10.1016/j.tics.2011.11.016

Ansari, D. & Coch, D. (2006). Bridges over troubled waters: Education and cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(4), 146-151. doi:10.1016/j.tics.2006.02.007

Ansari, D., König, J., Leask, M., & Tokuhama-Espinosa, T. (2017), Developmental cognitive neuroscience: Implications for teachers' pedagogical knowledge. In Guerriero, S. (ed.), *Pedagogical Knowledge and the Changing Nature of the Teaching Profession*, Paris: OECD Publishing. doi:10.1787/9789264270695-11-en

Arsalidou, M.; Pascual-Leone, J. (2016). Constructivist developmental theory is needed in developmental neuroscience. *npj Science of Learning*, *1*, 16016, doi:10.1038/npjscilearn.2016.16

Ausubel, D.P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston. 685p.

Bartol, Jr, T. M., Bromer, C., Kinney, J., Chirillo, M. A., Bourne, J. N., Harris, C. M., & Sejnowski, T. J. (2015). Nanoconnectomic upper bound on the variability of synaptic plasticity. *eLife*, *4*, e10778. doi:10.7554/eLife.10778

Beaty, R. E., Kenett, Y. N., Christensen, A. P., Rosenberg, M. D., Benedek, M., Chen, Q., Fink, A., Qiu, J., Kwapil, T. R., Kane, M. J., & Silvia, P. J. (2018). Robust prediction of individual creative ability from brain functional connectivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*,*115* (5), 1087-1092. doi:10.1073/pnas.1713532115

Blakemore, S.-J. & Frith, U. (2005). The learning brain: Lessons for education: A précis. *Developmental Science*, *8*(6), 459-465. doi:10.1111/j.1467-7687.2005.00434.x

Bolton, S., & Hattie, J. (2017). Cognitive and brain development: Executive function, Piaget, and the prefrontal cortex. *Archives of Psychology, [S.1.],1*(3). ISSN 2573-7902. Recuperado de https://archivesofpsychology.org/index.php/aop/article/view/30

Bowers, J. S. (2016). Psychology, not educational neuroscience, is the way forward for improving educational outcomes for all children: Reply to Gabrieli (2016) and Howard-Jones et al. (2016). *Psychological Review, 123*(5), 628-635. doi:10.1037/rev0000043

Bowers, J. S. (2016). The practical and principled problems with educational neuroscience. *Psychological Review, 123*(5), 600-612. doi:10.1037/rev0000025

Brem, A. K., Ran, K., & Pascual-Leone, A. (2013). Learning and memory. *Handbook of Clinical Neurology*, *116*, 693-737. doi:10.1016/B978-0-444-53497-2.00055-3

Bruer, J. T. (2016). Neuroeducación: Un panorama desde el puente. *Propuesta Educativa*, *46*(2), 14-25. Recuperado de http://propuestaeducativa.flacso.org.ar/wp-content/uploads/2019/11/REVISTA46-dossier-bruer.pdf

Carew, T. J., & Magsamen, S. H. (2010). Neuroscience and education: An ideal partnership for producing evidence-based solutions to guide 21st century learning. *Neuron*, *67*(5), 685-688. doi:10.1016/j.neuron.2010.08.028

Castorina, J. A. (2016). La relación problemática entre neurociencias y educación: Condiciones y análisis crítico. *Propuesta Educativa*, *46*(2), 26-41. Recuperado de http://propuestaeducativa.flacso.org.ar/wp-content/uploads/2019/11/REVISTA46-dossier-castorina.pdf

Castro, C. M. (2015). *Você sabe estudar? Quem sabe, estuda menos e aprende mais*. Porto Alegre: Penso. 176p.

Cherrier, S., Le Roux, P.-Y., Gerard, F.-M., Wattelez, G., & Galy, O. (2020). Impact of a neuroscience intervention (NeuroStratE) on the school performance of high school students: Academic achievement, self-knowledge and autonomy through a metacognitive approach. *Trends in Neuroscience and Education*, *18*, 100125. doi:10.1016/j.tine.2020.100125

Coch, D. (2018). Reflections on neuroscience in teacher education. *Peabody Journal of Education*, *93*(3), 309-319. doi:10.1080/0161956X.2018.1449925

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

Crossland, J. (2015). Is Piaget wrong? *Primary Science*, *137*, 30-32.

Danek, A. H., & Flanagin, V. L. (2019). Cognitive conflict and restructuring: The neural basis of two core components of insight. *AIMS Neuroscience*, *6*(2):60-84. doi:10.3934/Neuroscience. 2019.2.60

Darling-Hammond, L., Flook, L., Cook-Harvey, C., Barron, B, & Osher, D. (2020). Implications for educational practice of the science of learning and development. *Applied Developmental Science*, *24*(2), 97-140. doi:10.1080/10888691.2018.1537791

De Smedt, B. (2018). Applications of cognitive neuroscience in educational research. *Oxford Research Encyclopedias*: *Education*: *cognition, emotion, and learning*. doi:10.1093/acrefore/9780190264093.013.69

Demetriou, A., Spanoudis, G., Shayer, M., Mouyi, A., Kazi, S., & Platsidou, M. (2013). Cycles in speed-working memory-G relations: Towards a developmental–differential theory of the mind. *Intelligence*, *41*, 34-50. doi:10.1016/j.intell.2012.10.010

Dewey, J. (1976). *Experiência e educação*. Trad.: Anísio Teixeira. 2. ed. São Paulo: Nacional.

Dolcos, F., Iordan, A. D., & Dolcos, S. (2011). Neural correlates of emotion–cognition interactions: A review of evidence from brain imaging investigations. *Journal of Cognitive Psychology, (Hove, England), 23*(6), 669-694. doi:10.1080/20445911.2011.594433

Dolcos, F., Katsumi, Y., Moore, M., Berggren, N., de Gelder, B., Derakshan, N., Hamm, A. O., Koster, E .H. W., Ladouceur, C. D., Okon-Singer, H., Pegna, A. J., Richter, T., Schweizer, S., Van den Stock, J., Ventura-Bort, C., Weymar, M., Dolcos, S. (2020). Neural correlates of emotion-attention interactions: From perception, learning, and memory to social cognition, individual differences, and training interventions. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *108*, 559-601. doi:10.1016/j.neubiorev.2019.08.017

Donoghue, G. M., & Horvath, J. C. (2016). Translating neuroscience, psychology and education: An abstracted conceptual framework for the learning sciences. *Cogent Education*, *3*,1. doi:10.1080/2331186X.2016.1267422

Dresler, T., Bugden, S., Gouet, C., Lallier, M., Oliveira, D. G., Pinheiro-Chagas, P., Pires, A. C., Wang, Y., Zugarramurdi, C., & Weissheimer, J. (2018). A translational framework of educational neuroscience in learning disorders. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *12*, 25. doi:10.3389/fnint.2018.00025

Düvel, N., Wolf, A., & Kopiez, R. (2017). Neuromyths in music education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers and students. *Frontiers in Psychology*, *8*, 629. doi:10.3389/fpsyg.2017.00629

Feiler, J. B., & Stabio, M. E. (2018). Three pillars of educational neuroscience from three decades of literature. *Trends in Neuroscience and Education*, *13*, 17-25. doi:10.1016/j.tine.2018.11.001

Figdor, C. (2017). (When) is science reporting ethical? The case for recognizing shared epistemic responsibility in science journalism. *Frontiers in Communication*, *2*, 3. doi:10.3389/fcomm.2017.00003

Fischer, K. W. (2008). *Dynamic cycles of cognitive and brain development: Measuring growth in mind, brain, and education.* In A. M. Battro, K. W. Fischer, & P. J. Léna (Eds.). *The educated brain: Essays in neuroeducation* (pp. 127-150). Cambridge, UK: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511489907.010

Fischer, K. W., Daniel, D. B., Immordino-Yang, M. H., Stern, E., Battro, A., & Koizumi, H. (2007). Why mind, brain, and education? Why now? *Mind, Brain, and Education*, *1*(1), 1-2. doi:10.1111/j.1751-228X.2007.00006.x

Fischer, K. W., Goswami, U., Geake, J., the Task Force on the Future of Educational Neuroscience. (2010). The future of educational neuroscience. *Mind, Brain, an Education*, *4*(2), 68-80. doi:10.1111/j.1751-228X.2010.01086.x

Frank, M. J., & Badre, D. (2015). How cognitive theory guides neuroscience. *Cognition*, *135*, 14-20. doi:10.1016/j.cognition.2014.11.009

Gabrieli, J. D. E. (2016). The promise of educational neuroscience: Comment on Bowers. *Psychological Review*, *123*(5), 613-619. doi:10.1037/rev0000034

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

Goswami, U. (2015). Neurociencia y Educación: ¿Podemos ir de la investigación básica a su aplicación? Un posible marco de referência desde la investigación en dislexia. *Psicología Educativa*, *21*, 97-105. doi:10.1016/j.pse.2015.08.002

Herculano-Houzel, S. (2002). Do you know your brain? A survey on public neuroscience literacy at the closing of the decade of the brain. *The Neuroscientist*, *8*(2), 98-110. doi:10.1177/107385840200800206

Herculano-Houzel, S. (2012). The remarkable, yet not extraordinary, human brain as a scaled-up primate brain and its associated cost. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109* (suppl. 1), 10661-10668. doi:10.1073/pnas.1201895109

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

Horvath, J. C., & Donoghue, G. M. (2016). A bridge too far-revisited: Reframing Bruer's neuroeducation argument for modern science of learning practitioners. *Frontiers in Psychology*, *7*, 377. doi:10.3389/fpsyg.2016.00377

Horvath, J. C., Lodge, J. M., & Hattie, J. (Eds). (2017). *From the laboratory to the classroom: Translating science of learning for teachers*. Abingdon: Routledge.

Howard-Jones, P. (2014). *Neuroscience and Education - A review of educational interventions and approaches informed by neuroscience*. London, UK: Education Endowment Foundation (EEF). Recuperado de https://educationendowmentfoundation.org.uk/public/files/Presentations/Publications/EEF_Lit_Review_NeuroscienceAndEducation.pdf

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

Howard-Jones, P. A., Ansari, D., De Smedt, B., Laurillard, D., Varma, S., Butterworth, B., Goswami, U., & Thomas, M. S. C. (2016). The principles and practices of educational neuroscience: Comment on Bowers (2016). *Psychological Review*, *123*(5), 620-627. doi:10.1037/rev0000036

Iacoboni, M. (2009). Imitation, empathy, and mirror neurons. *Annual Review of Psychology, 60,* 653-670. doi:10.1146/annurev.psych.60.110707.163604

Interlandi, J. (2016, fevereiro 5). New estimate boosts the human brain's memory capacity 10-fold. Recuperado de https://www.scientificamerican.com/article/new-estimate-boosts-the-human-brain-s-memory-capacity-10-fold/

Jamaludin, A., Henik, A., & Hale, J. B. (2019). Educational neuroscience: Bridging theory and practice. *Learning: Research and Practice*, *5*(2), 93-98. doi:10.1080/23735082.2019.1685027

Keromnes, G., Chokron, S., Celume, M.-P., Berthoz, A., Botbol, M., Canitano, R., Du Bois-gueheneuc, F., Jaafari, N., Lavenne-Collot, N., Martin, B., Motillon, T., Thirioux, B., Scandurra, V., Wehrmann, M., Ghanizadeh, A., & Tordjman, S. (2019). Exploring self-consciousness from self- and other-image recognition in the mirror: Concepts and evaluation. *Frontiers in Psychology*, *10*, 719. doi:10.3389/fpsyg.2019.00719

Korade, Z., & Mirnics, K. (2014). Programmed to be human? *Neuron*, *81*(2), 224-226. doi:10.1016/j.neuron.2014.01.006

Lent, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência*. Rio de Janeiro: Atheneu.

Lent, R. (2019). *O cérebro aprendiz: Neuroplasticidade e educação*. Rio de Janeiro: Atheneu.

Lent, R., Buchweitz, A., & Mota, M. B. (2017). *Ciência para educação: Uma ponte entre dois mundos*. Rio de Janeiro: Atheneu.

Liu, Z.-X., Grady, C., Moscovitch, M. (2017). The effect of prior knowledge on post-encoding brain connectivity and its relation to subsequent memory. *NeuroImage*, *167*, 211-223. doi:10.1016/j.neuroimage.2017.11.032

Macedonia, M. (2019). Embodied learning: Why at school the mind needs the body. *Frontiers in Psychology*, *10*, 2098. doi:10.3389/fpsyg.2019.02098

Marmeleira, J., & Santos, G. D. (2019). Do not neglect the body and action: The emergence of embodiment approaches to understanding human development. *Perceptual and Motor Skills*, *126*(3), 410-445. doi:10.1177/0031512519834389

Mavilidi, M. F., Ruiter, M., Schmidt, M., Okely, A. D., Loyens, S., Chandler, P., & Paas, F. (2018). A narrative review of school-based physical activity for enhancing cognition and learning: The importance of relevancy and integration. *Frontiers in Psychology*, *9*, 2079. doi:10.3389/fpsyg.2018.02079

Meltzoff, A. N., & Marshall, P. J. (2018). Human infant imitation as a social survival circuit. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *24*, 130-136. doi:10.1016/j.cobeha.2018.09.006

Murayama, K. (2018, junho). The science of motivation. *Science Brief: Psychological Science Agenda*. Recuperado de https://www.apa.org/science/about/psa/2018/06/motivation

OCDE. (1999). Centre for Educational Research and Innovation (CERI). *Brain and learning project. Learning sciences and brain research*. Recuperado de http://www.oecd.org/education/ceri/centreforeducationalresearchandinnovationceri-brainandlearning.htm

OCDE. (2002). *Understanding the brain: Towards a new learning science*. Paris: OECD Publishing. doi:10.1787/9789264174986-en. Recuperado de https://read.oecd-ilibrary.org/education/understanding-the-brain_9789264174986-en#page1

OCDE. (2007). *Understanding the brain: The birth of a learning science*. Paris: OECD Publishing. doi:10.1787/9789264029132-en. Recuperado de https://read.oecd-ilibrary.org/education/understanding-the-brain-the-birth-of-a-learning-science_9789264029132-en#page1

Owens, M. T., & Tanner, K. (2017). Teaching as brain changing: Exploring connections between neuroscience and innovative teaching. *CBE – Life Sciences Education*, *16*(2), 1-9. doi:10.1187/cbe.17-01-0005

Piaget, J. (1978). *A formação do símbolo na criança*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

Pietschnig, J., Voracek, M., & Formann, A. K. (2010). Mozart effect–Shmozart effect: A meta-analysis. *Intelligence, 38*(3), 314-323. doi:10.1016/j.intell.2010.03.001

Rauscher, F., Shaw, G., & Ky, C. (1993). Music and spatial task performance. *Nature*, *365*, 611. doi:10.1038/365611a0

Rede Nacional de Ciência para Educação (n.d.). Recuperado de http://cienciaparaeducacao.org/sobre/

Ribeiro, S., Mota, N., & Copelli, M. (2016). Rumo ao cultivo ecológico da mente. *Propuesta Educativa*, *46*(2), 42-49. Recuperado de http://propuestaeducativa.flacso.org.ar/wp-content/uploads/2019/11/REVISTA46-dossier-ribeiro-otros.pdf

Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2016). The mirror mechanism: A basic principle of brain function. *Nature Reviews Neuroscience*, *17*, 757-765. doi:10.1038/nrn.2016.135

Roebers, C. M. (2017). Executive function and metacognition: Towards a unifying framework of cognitive self-regulation. *Developmental Review, 45,* 31-51. doi:10.1016/j.dr.2017.04.001

Royal Society. (2011). Brain waves module 2: Neuroscience: Implications for education and lifelong learning. Recuperado de https://royalsociety.org/topics-policy/projects/brain-waves/education-lifelong-learning/

Schwartz, M. S., Hinesley, V., Chang, Z., & Dubinsky, J. M. (2019). Neuroscience knowledge enriches pedagogical choices. *Teaching and Teacher Education, 83,* 87-98.doi:10.1016/j.tate.2019.04.002

Shonkoff, J. P. (2011). Protecting brains, not simply stimulating minds. *Science*, *333*, 982-983. doi:10.1126/science.1206014

Shonkoff, J. P., & Levitt, P. (2010). Neuroscience and the future of early childhood policy: Moving from why to what and how. *Neuron*, *67*(5), 689-691. doi:10.1016/j.neuron.2010.08.032

Sigman, M., Peña, M., Goldin, A. P., & Ribeiro, S. (2014). Neuroscience and education: Prime time to build the bridge. *Nature Neuroscience*, *17*(4), 497-502. doi:10.1038/nn.3672

Sokolowski, H. M., & Ansari, D. (2018). Understanding the effects of education through the lens of biology. *npj Science of Learning*, *3*, 17. doi:10.1038/s41539-018-0032-y

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

Szucs, D., & Goswami, U. (2007). Educational neuroscience: Defining a new discipline for the study of mental representations. *Mind, Brain, and Education*, *1*(3), 114-127. doi:10.1111/j.1751-228X.2007.00012.x

Thomas, M. S. C., Ansari, D., & Knowland, V. C. P. (2019). Annual Research Review: Educational neuroscience: Progress and prospects. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *60*(4), 477-492. doi:10.1111/jcpp.12973

Van der Veer, R. (1996). Henri Wallon's theory of early child development: The role of emotions. *Developmental Review*, *16*(4), 364-390. doi:10.1006/drev.1996.0016

van Kesteren, M. T. R., Rignanese, P., Gianferrara, P.G., Krabbendam, L., & Meeter, M. (2020). Congruency and reactivation aid memory integration through reinstatement of prior knowledge. *Scientific Reports, 10*, 4776. doi:10.1038/s41598-020-61737-1

Vandervert, L. (2017). Vygotsky meets neuroscience: The cerebellum and the rise of culture through play. *American Journal of Play*, *9*(2), 202-227.

Vygotsky, L. S. (1989). *A formação social da mente*. 3ª edição. São Paulo: Martins Fontes.

Walker, Z., Chen, S. H. A., Poon, K., & Hale, J. B. (2017). *Brain Literacy Empowers Educators to Meet Diverse Learner Needs.* (NIE Working Paper Series No. 10). Singapore: National Institute of Education. Recuperado de https://www.nie.edu.sg/docs/default-source/oer/niewps10_brain-literacy-empowers-educators-to-meet-diverse-learner-needs.pdf?sfvrsn=2

Wallon, H. (1968). *A psicologia da criança*. Lisboa: 70 Persona.

Watts, M. E., Pocock, R., & Claudianos, C. (2018). Brain energy and oxygen metabolism: Emerging role in normal function and disease. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, *11*, 216. doi:10.3389/fnmol.2018.00216

Weinstein, Y., Madan, C. R., & Sumeracki, M. A. (2018). Teaching the science of learning. *Cognitive Research: Principles and Implications*, *3*, 2. doi:10.1186/s41235-017-0087-y

Zadina, J. N. (2015). The emerging role of educational neuroscience in education reform. *Psicología Educativa*, *21*(2), 71-77. doi:10.1016/j.pse.2015.08.005

CAPÍTULO 4 – APRENDIZAGEM NOS TORNA HUMANOS

Abraham, W. C., Jones, O. D., & Glanzman, D. L. (2019). Is plasticity of synapses the mechanism of long-term memory storage? *npj Science of Learning, 4*, 9. doi:10.1038/s41539-019-0048-y

Adolph, K. E., & Franchak, J. M. (2017). The development of motor behavior. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 8*, e1430. doi:10.1002/wcs.1430

Adolphs, R. (2009). The social brain: Neural basis of social knowledge. *Annual Review of Psychology, 60*, 693-716. doi:10.1146/annurev.psych.60.110707.163514

Arcos-Burgos, M., Lopera, F., Sepulveda-Falla, D., & Mastronardi, C. (2019). Neural plasticity during aging. *Neural Plasticity*, *2019*: ID 6042132. doi:10.1155/2019/6042132

Armstrong, T. (2017). Neurodiversity: The future of special education? *Educational Leadership, 74*, 10-16.

Balvin, N., & Banati, P. (2017). *The adolescent brain: A second window of opportunity: A compendium. Miscellanea* UNICEF Office of Research – Innocenti, Florence. Recuperado de https://www.unicef-irc.org/publications/pdf/adolescent_brain_a_second_window_of_opportunity_a_compendium.pdf

Baroncelli, L., Braschi, C., Spolidoro, M., Begenisic, T., Sale, A., & Maffei, L. (2010). Nurturing brain plasticity: Impact of environmental enrichment. *Cell Death and Differentiation, 17*, 1092-1103. doi:10.1038/cdd.2009.193

Bateson, P. (2017). Robustness and plasticity in development. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 8*, e1386. doi:10.1002/wcs.1386

Belsky, J. (2010). *Desenvolvimento humano: Experienciando o ciclo da vida*. Porto Alegre: Artmed.

Bick, J., &, Nelson, C. A. (2017). Early experience and brain development. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 8*, e1387. doi:10.1002/wcs.1387

Black, M. M., Walker, S. P., Fernald, L. C. H., Andersen, C. T., DiGirolamo, A. M., Lu, C., McCoy, D. C., Fink, G., Shawar, Y. R., Shiffman, J., Devercelli, A. E., Wodon, Q. T., Vargas-Barón, E., Grantham-McGregor, S., & Lancet Early Childhood Development Series Steering Committee. (2017). Early childhood development coming of age: Science through the life course. *Lancet, 389*(10064), 77-90. doi:10.1016/S0140-6736(16)31389-7

Blair, C. (2017). Educating executive function. *Wiley Interdisciplinary Reviews (WIREs): Cognitive Science, 8,* e1403. doi:10.1002/wcs.1403

Blakemore, S-J., & Choudhury, S. (2006). Development of the adolescent brain: Implications for executive function and social cognition. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 47*(3), 296-312. doi:10.1111/j.1469-7610.2006.01611.x

Blumberg, M. S. (2017). Development evolving: The origins and meanings of instinct. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 8*(1-2), e1371. doi:10.1002/wcs.1371

Boyd, R., Richerson, P. J., & Henrich, J. (2011). The cultural niche: Why social learning is essential for human adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 108* (Supplement 2), 10918-10925. doi:10.1073/pnas.1100290108

Brown, T. T. (2017). Individual differences in human brain development. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 8*, e1389. doi:10.1002/wcs.1389

Caldwell, C. A., Renner, E., & Atkinson, M. (2018). Human teaching and cumulative cultural evolution. *Review of Philosophy and Psychology, 9*(4), 751-770. doi:10.1007/s13164-017-0346-3

Campbell, M. E. J., & Cunnington, R. (2017). More than an imitation game: Top-down modulation of the human mirror system. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 75*, 195-202. doi:10.1016/j.neubiorev.2017.01.035

Cao, M., Huang, H., & He, Y. (2017). Developmental connectomics from infancy through early childhood. *Trends in Neurosciences, 40*(8), 494-506. doi:10.1016/j.tins.2017.06.003

Cao, Y., Summerfield, C., Park, H., Giordano, B. L., & Kayser, C. (2019). Causal inference in the multisensory brain**.** *Neuron, 102*(5), 1076-1087. doi:10.1016/j.neuron.2019.03.043

Casey, B. J., Jones, R. M., & Hare, T. A. (2008). The adolescent brain. *Annals of New York Academy of Sciences, 1124*, 111-126. doi:10.1196/annals.1440.010

Catmur, C., & Heyes, C. (2019). Mirroring 'meaningful' actions: Sensorimotor learning modulates imitation of goal-directed actions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology (Hove, England), 72*(2), 322-334. doi:10.1080/17470218.2017.1344257

Center on the Developing Child Harvard University e Núcleo Ciência pela Infância. (2010). *O que é epigenética?* Recuperado de https://ncpi.org.br/wp-content/uploads/2020/06/EpigeneticsInfographic_PT.pdf

Charney, E. (2017). Genes, behavior, and behavior genetics. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 8*, e1405. doi:10.1002/wcs.1405

Clewett, D., DuBrow, S., & Davachi, L. (2019). Transcending time in the brain: How event memories are constructed from experience. *Hippocampus, 29*(3), 162-183. *Hippocampus. 29*(3): 162-183. doi:10.1002/hipo.23074

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

Csibra, G., & Gergely, G. (2011). Natural pedagogy as evolutionary adaptation. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B Biological Sciences, 366*(1567), 1149-1157. doi:10.1098/rstb.2010.0319

Cusick, S. E., & Georgieff, M. K. (2016). The role of nutrition in brain development: The golden opportunity of the "first 1000 days". *The Journal of Pediatrics, 175*, 16-21. doi:10.1016/j.jpeds.2016.05.013

D'Sousa, H., & Karmiloff-Smith, A. (2017). Neurodevelopmental disorders. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 8*, e1398. doi:10.1002/wcs.1398

Darnell, D., & Gilbert, S. F. (2017). Neuroembriology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biology, 6*, e215. doi:10.1002/wdev.215

Davis, R. L., & Zhong, Y. (2017). The biology of forgetting – a perspective. *Neuron, 95*(3), 490-503. doi:10.1016/j.neuron.2017.05.039

Dumontheil, I. (2016). Adolescent brain development. *Current Opinion in Behavioral Sciences, 10*, 39-44. doi:10.1016/j.cobeha.2016.04.012

Endedijk, H. M., Meyer, M., Bekkering, H., Cillessen, A. H. N., & Hunnius, S. (2017). Neural mirroring and social interaction: Motor system involvement during action observation relates to early peer cooperation. *Developmental Cognitive Neuroscience, 24*, 33-41. doi:10.1016/j.dcn.2017.01.001

Foulkes, L., & Blakemore, S-J. (2018). Studying individual differences in human adolescent brain development. *Nature Neuroscience, 21*, 315-323. doi:10.1038/s41593-018-0078-4

Friedmann, N., & Rusou, D. (2015). Critical period for first language: The crucial role of language input during the first year of life. *Current Opinion in Neurobiology, 35*, 27-34. doi:10.1016/j.conb.2015.06.003

Frith, C.D., & Frith, U. (2012). Mechanisms of social cognition. *Annual Review of Psychology, 63*, 287-313. doi:10.1146/annurev-psych-120710-100449

Gage, F. H., & Muotri, A. R. (2012). What makes each brain unique. *Scientific American, 306*(3), 26-31. doi:10.1038/scientificamerican0312-26

Gao, W., Grewen, K., Knickmeyer, R. C., Qiu, A., Salzwedel, A., Lin, W., & Gilmore, J.H. (2019). A review on neuroimaging studies of genetic and environmental influences on early brain development. *Neuroimage, 185*, 802-812. doi:10.1016/j.neuroimage.2018.04.032

Giedd, J. N., & Rapoport, J. L. (2010). Structural MRI of pediatric brain development: What have we learned and where are we going? *Neuron, 67*(5), 728-734. doi:10.1016/j.neuron.2010.08.040

Gilmore, J. H., Santelli, R. K., & Gao, W. (2018). Imaging structural and functional brain development in early childhood. *Nature Reviews Neuroscience, 19*(3), 123-137. doi:10.1038/nrn.2018.1

Girault, J. B., Cornea, E., Goldman, B. D., Jha, S. C., Murphy, V. A., Li, G., Wang, L., Shen, D., Knickmeyer, R. C., Styner, M., & Gilmore, J. H. (2020). Cortical structure and cognition in infants and toddlers. *Cerebral Cortex, 30(*2), 786-800. doi:10.1093/cercor/bhz126

Goksan, S., Argyri, F., Clayden, J. D., Liegeois, F., & Wei, L. (2020). Early childhood bilingualism: Effects on brain structure and function. *F1000Research, 9*, 370. doi:10.12688/f1000research.23216.1

Graaf-Peters, V. B., & Hadders-Algra, M. (2006). Ontogeny of the human central nervous system: What is happening when? *Early Human Development, 82*, 257-266. doi:10.1016/j.earlhumdev.2005.10.013

Griffin, A. (2017). Adolescent neurological development and implications for health and well-being. *Healthcare, 5*, 62. doi:10.3390/healthcare5040062

Haartsen, R., Jones, E. J. H., & Johnson, M. H. (2016). Human brain development over the early years. *Current Opinion in Behavioral Sciences, 10*, 149-154. doi:10.1016/j.cobeha.2016.05.015

Hair, N. L., Hanson, J. L., Wolfe, B. L., & Pollak, S. D. (2015). Association of child poverty, brain development, and academic achievement. *JAMA Pediatrics, 169*(9), 822-829. doi:10.1001/jamapediatrics.2015.1475

Heleven, E., & Van Overwalle, F. (2018). The neural basis of representing others' inner states. *Current Opinion in Psychology, 23*, 98-103. doi:10.1016/j.copsyc.2018.02.003

Herzberg, M. P., & Gunnar, M. R. (2020). Early life stress and brain function: Activity and connectivity associated with processing emotion and reward. *Neuroimage, 209*,116493. doi:10.1016/j.neuroimage.2019.116493

Heyes, C. (2012). Grist and mills: On the cultural origins of cultural learning. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B Biological Sciences, 367*(1599), 2181-2191. doi:10.1098/rstb.2012.0120

Heyes, C. (2016). Born pupils? Natural pedagogy and cultural pedagogy. *Perspectives on Psychological Science, 11(*2), 280-295. doi:10.1177/1745691615621276

Hogenboom, M. (2015). The traits that make humans beings unique. *BBC Future: Science & Environment – Evolution*. Recuperado de https://www.bbc.com/future/article/20150706-the-small-list-of-things-that-make-humans-unique

Holland, D., Chang, L., Ernst, T. M., Curran, M., Buchthal, S. D., Alicata, D., Skranes, J., Johansen, H., Hernandez, A., Yamakawa, R., Kuperman, J. M., & Dale, A. M. (2014). Structural growth trajectories and rates of change in the first 3 months of infant brain development. *JAMA Neurology ,71*(10), 1266-1274. doi:10.1001/jamaneurol.2014.1638

Huang, H., Shu, N., Mishra, V., Jeon, T., Chalak, L., Wang, Z. J., Rollins, N., Gong, G., Cheng, H., Peng, Y., Dong, Q., & He, Y. (2015). Development of human brain structural networks through infancy and childhood. *Cerebral Cortex, 25*(5), 1389-1404. doi:10.1093/cercor/bht335

Inguaggiato, E., Sgandurra, G., & Cioni, G. (2017). Brain plasticity and early development – implications for early intervention in neurodevelopmental disorders. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de lÁdolescence, 65*(5), 299-306. doi:10.1016/j.neurenf.2017.03.009

Institute of Medicine & National Research Council. (2015). Child development and early learning. IN L. R. Allen, & B. B. Kelly (Eds), *Transforming the Workforce for Children Birth Through Age 8: A Unifying Foundation*. (85-203) Washington, D.C.: The National Academy Press. doi:10.17226/19401

Institute of Medicine & National Research Council. (2015). The interaction of biology and environment. IN L. R. Allen, & B. B. Kelly (Eds), *Transforming the Workforce for Children Birth Through Age 8: A Unifying Foundation*. (57-83) Washington, D.C.: The National Academy Press. doi:10.17226/19401

Institute of Medicine & National Research Council. (2015). *Transforming the Workforce for Children Birth Through Age 8: A Unifying Foundation*. Washington, D.C.: The National Academy Press. doi:10.17226/19401

Ismail, F. Y., Fatemi, A., & Johnston, M. V. (2017). Cerebral plasticity: Windows of opportunity in the developing brain. *European Journal of Paediatric Neurology, 21*(1), 23-48. doi:10.1016/j.ejpn.2016.07.007

Izquierdo, I., Bevilaqua, L. R. M., & Cammarota, M. (2006). A arte de esquecer. *Estudos Avançados, 20*(58), 289-296. doi:10.1590/S0103-40142006000300024

Jeon, H., & Lee, S-H. (2018). From neurons to social beings: Short review of the mirror neuron system research and its socio-psychological and psychiatric implications. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience, 16*(1),18-31. doi:10.9758/cpn.2018.16.1.18

Jernigan, T. L., & Stiles, J. (2017). Construction of the human forebrain. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 8*, e1409. doi:10.1002/wcs.1409

Johnson, M. H. (2011). Interactive specialization: A domain-general framework for human functional brain development? *Developmental Cognitive Neuroscience, 1*(1), 7-21. doi:10.1016/j.dcn.2010.07.003

Kanai, R., & Rees, G. (2011). The structural basis of interindividual differences in human behaviour and cognition. *Nature Reviews Neuroscience, 12*(4), 231-242. doi:10.1038/nrn3000

Kolb, B., & Gibb, R. (2011). Brain plasticity and behaviour in the developing brain. *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 20*(4), 265-276.

Kolb, B., Harker, A., & Gibb, R. (2017). Principles of plasticity in the developing brain. *Developmental Medicine and Child Neurology, 59*(12), 1218-1223. doi:10.1111/dmcn.13546

Korade, Z., & Mirnics, K. (2014). Programmed to be human? *Neuron, 81*(2), 224-226. doi:10.1016/j.neuron.2014.01.006

Kragel, P. A., Koban, L., Barrett, L. F., & Wager, T. D. (2018). Representation, pattern information, and brain signatures: From neurons to neuroimaging. *Neuron, 99*(2), 257-273. doi:10.1016/j.neuron.2018.06.009

Kuhl, P. K. (2010). Brain mechanisms in early language acquisition. *Neuron, 67*(5), 713-727. doi:10.1016/j.neuron.2010.08.038

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

Legare, C. H. (2017). Cumulative cultural learning: Development and diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 114*(30), 7877-7883. doi:10.1073/pnas.1620743114

Lenroot, R. K., & Giedd, J. N. (2006). Brain development in children and adolescents: Insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 30*, 718-729. doi:10.1016/j.neubiorev.2006.06.001

Lent, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência*. 2.ed. São Paulo: Atheneu.

Lent, R. (2019). *O cérebro aprendiz: Neuroplasticidade e educação*. Rio de Janeiro: Atheneu.

Li, P., & Jeong, H. (2020). The social brain of language: Grounding second language learning in social interaction. *npj Science of Learning, 5*, 8. doi:10.1038/s41539-020-0068-7

Lindenberger, U., & Lövdén, M. (2019). Brain plasticity in human lifespan development: The exploration-selection-refinement model. *Annual Review of Developmental Psychology, 1*:1, 197-222. doi:10.1146/annurev-devpsych-121318-085229

Lipina, S. J., & Posner, M. I. (2012). The impact of poverty on the development of brain networks. *Frontiers in Human Neuroscience, 6,* 238. doi:10.3389/fnhum.2012.00238

Löwel, S., Dehmel, S., Makowiecki, K., & Evgenia Kalogeraki, E. (2018). Environmental conditions strongly affect brain plasticity. *Neuroforum, 24*(1): A19-A29. doi:10.1515/nf-2017-A050

Luyten, P., & Fonagy, P. (2015). The neurobiology of mentalizing. *Personality Disorders, 6*(4), 366-379. doi:10.1037/per0000117

Moore, D. S. (2017). Behavioral epigenetics. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Systems Biology and Medicine, 9*, e1333. doi:10.1002/wsbm.1333

Mueller, S., Wang, D., Fox, M. D., Yeo, T. B. T., Sepulcre, J., Sabuncu, M. R., Shafee, R., Lu, J., & Hesheng, L. (2013). Individual variability in functional connectivity architecture of the human brain. *Neuron, 77*(3), 586-595. doi:10.1016/j.neuron.2012.12.028

Müller-Pinzler, L., Krach, S., Krämer, U. M., & Paulus, F. M. (2017). The social neuroscience of interpersonal emotions. *Current Topics in Behavioral Neurosciences, 30*, 241-256. doi:10.1007/7854_2016_437

Muthukrishna, M., Doebeli, M., Chudek, M., & Henrich, J. (2018). The Cultural Brain Hypothesis: How culture drives brain expansion, sociality, and life history. *PLoS Computational Biology, 14*(11), e1006504. doi:10.1371/journal.pcbi.1006504

National Scientific Council on the Developing Child (2010). *Early Experiences Can Alter Gene Expression and Affect Long-Term Development: Working Paper No. 10*. Recuperado de www.developingchild.harvard.edu.

Pinker, S., & Bloom, P. (1990). Natural language and natural selection. *Behavioral and Brain Sciences, 13* (4), 707-784. doi:10.1017/S0140525X00081061

Power, J. D., & Schlaggar, B. L. (2017). Neural plasticity across the lifespan. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biology, 6*, e216. doi:10.1002/wdev.216

Redcay, E., & Schilbach, L. (2019). Using second-person neuroscience to elucidate the mechanisms of social interaction. *Nature Reviews Neuroscience, 20*(8), 495-505. doi:10.1038/s41583-019-0179-4

Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2016). The mirror mechanism: A basic principle of brain function. *Nature Reviews Neuroscience, 17*(12), 757-765. doi:10.1038/nrn.2016.135

Sakai, J. (2020). How synaptic pruning shapes neural wiring during development and, possibly, in disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 117*(28), 16096-16099. doi:10.1073/pnas.2010281117

Sale, A., Berardi, N., & Maffei, L. (2014). Environment and brain plasticity: Towards an endogenous pharmacotherapy. *Physiological Reviews, 94*(1), 189-234. doi:10.1152/physrev.00036.2012

Salzman, C. D., & Fusi, S. (2010). Emotion, cognition, and mental state representation in amygdala and prefrontal cortex. *Annual Review of Neuroscience, 33*, 173-202. doi:10.1146/annurev.neuro.051508.135256

Seibt, J., & Frank, M. G. (2019). Primed to sleep: The dynamics of synaptic plasticity across brain states. *Frontiers in Systems Neuroscience, 13*, 2. doi:10.3389/fnsys.2019.00002

Sheldrick, R. C., Schlichting, L. E., Berger, B., Clyne, A., Ni, P., Perrin, E. C., & Vivier, P. M. (2019). Establishing new norms for developmental milestones. *Pediatrics, 144*(6), e20190374. doi:10.1542/peds.2019-0374

Silbereis, J. C., Pochareddy, S., Zhu, Y., Li, M., & Sestan, N. (2016). The cellular and molecular landscapes of the developing human central nervous system. *Neuron, 89*, 248-268. doi:10.1016/j.neuron.2015.12.008

Sousa, A. M. M., Meyer, K. A., Santpere, G., Gulden, F. O., & Sestan, N. (2017). Evolution of the human nervous system function, structure, and development. *Cell, 170*(2), 226-247. doi:10.1016/j.cell.2017.06.036

Sperduti, M., Guionnet, S., Fossati, P., & Nadel, J. (2014). Mirror neuron system and mentalizing system connect during online social interaction. *Cognitive Processing, 15*(3), 307-316. doi:10.1007/s10339-014-0600-x

Stiles, J. (2017). Principles of brain development. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 8,* e1402. doi:10.1002/wcs.1402

Stiles, J., & Jernigan, T. L. (2010). The basics of brain development. *Neuropsychology Review, 20*, 327-348. doi:10.1007/s11065-010-9148-4

Szucs, D., & Goswami, U. (2007). Educational neuroscience: Defining a new discipline for the study of mental representations. *Mind, Brain, and Education, 1*(3), 114-127. doi:10.1111/j.1751-228X.2007.00012.x

Thompson, B., Kirby, S., & Smith, K. (2016). Culture shapes the evolution of cognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 113*(16), 4530-4535. doi:10.1073/pnas.1523631113

Tierney, A. L., & Nelson III, C. A. (2009). Brain development and the role of experience in the early years. *Zero to Three, 30*(2), 9-13.

Van Schaik, C. P., & Burkart, J. M. (2011). Social learning and evolution: The cultural intelligence hypothesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, 366*, 1008-1016. doi:10.1098/rstb.2010.0304

Vogeley, K. (2017). Two social brains: Neural mechanisms of intersubjectivity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, 372*(1727), 20160245. doi:10.1098/rstb.2016.0245

Voss, P., Thomas, M. E., Cisneros-Franco, M., & de Villers-Sidani, E. (2017). Dynamic brains and the changing rules of neuroplasticity: Implications for learning and recovery. *Frontiers in Psychology, 8,* 1657. doi:10.3389/fpsyg.2017.01657

Waal, F. B. M, & Preston, S. D. (2017). Mammalian empathy: Behavioural manifestations and neural basis. *Nature Reviews Neuroscience, 18*(8), 498-509. doi:10.1038/nrn.2017.72

Wang, D., & Liu, H. (2014). Functional connectivity architecture of the human brain: Not all the same. *Neuroscientist, 20*(5), 432-438. doi:10.1177/1073858414543290

Xu, X. (2013). Modular genetic control of innate behavior. *Bioessays, 35*: 421-424. doi:10.1002/bies.201200167

CAPÍTULO 5 – COMO APRENDEMOS?

Abraham, W. C., Jones, O. D., & Glanzman, D. L. (2019). Is plasticity of synapses the mechanism of long-term memory storage? *npj Science of Learning, 4*, 9. doi:10.1038/s41539-019-0048-y

Ahmed, S. P., Bittencourt-Hewitt, A., & Sebastian, C. L. (2015). Neurocognitive bases of emotion regulation development in adolescence. *Developmental Cognitive Neuroscience, 15*, 11-25. doi:10.1016/j.dcn.2015.07.006

Albo, Z., & Gräff, J. (2018). The mysteries of remote memory. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, *373*(1742), 20170029. doi:10.1098/rstb.2017.0029

Amso, D., & Scerif, G. (2015). The attentive brain: Insights from developmental cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience, 16*, 606-619. doi:10.1038/nrn4025

Arias-Carrión, O., Stamelou, M., Murillo-Rodríguez, E., Menéndez-González, M., & Pöppel, E. (2010). Dopaminergic reward system: A short integrative review. *International Archives of Medicine, 3*: 24. doi:10.1186/1755-7682-3-24

Banerjee, S., Frey, H.-P., Molholm, S., & Foxe, J. J. (2014). Interests shape how adolescents pay attention: The interaction of motivation and top-down attentional processes in biasing sensory activations to anticipated events. *European Journal of Neuroscience, 41*(6), 818-834. doi:10.1111/ejn.12810

Barros, R. P., Coutinho, D., & Cuffa, M. (2018). Desenvolvimento socioemocional: Do direito à educação à prática na escola. In R. Lent, A. Buchweitz, & M. B. Mota (Eds). *Ciência para educação: Uma ponte entre dois mundos* (177-197). São Paulo, Brasil: Atheneu.

Bejjani, C., De Pasque, S., & Tricomi, E. (2019). Intelligence mindset shapes neural learning signals and memory. *Biological Psychology*, *146*, 107715. doi:10.1016/j.biopsycho.2019.06.003

Benningfield, M. M., Potter, M. P., & Bostic, J. Q. (2015). Educational impacts of the social and emotional brain. *Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America, 24*(2), 261-275. doi:10.1016/j.chc.2014.12.001

Blankenship, T. L., O'Neill, M., Ross, A., & Bell, M. A. (2015). Working memory and recollection contribute to academic achievement. *Learning and Individual Differences, 43*, 164-169. doi:10.1016/j.lindif.2015.08.020

Bonnet, L., Comte, A., Tatu, L., Millot, J-L., Moulin, T., & Medeiros de Bustos, E. (2015). The role of the amygdala in the perception of positive emotions: An "intensity detector". *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 9*, 178. doi:10.3389/fnbeh.2015.00178

Bourgeois, A., Chelazzi, L., & Vuilleumier, P. (2016). How motivation and reward learning modulate selective attention. *Progress in Brain Research, 229*, 325-342. doi:10.1016/bs.pbr.2016.06.004

Braver, T. S., Krug, M. K., Chiew, K. S., Kool, W., Westbrook, J. A., Clement, N. J., Somerville, L. H. (2014). Mechanisms of motivation-cognition interaction: Challenges and opportunities. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 14*, 443-472. doi:10.3758/s13415-014-0300-0

Brem, A. K., Ran, K., & Pascual-Leone, A. (2013). Learning and memory. *Handbook of Clinical Neurology, 116*, 693-737. doi:10.1016/B978-0-444-53497-2.00055-3

Camina, E., & Güell, F. (2017) The neuroanatomical, neurophysiological and psychological basis of memory: Current models and their origins. *Frontiers in Pharmacology, 8*, 438. doi:10.3389/fphar.2017.00438

Cammarota, M., Bevilaqua, L. R. M., & Izquierdo, I. (2008). Aprendizado e memória. In R. Lent (Ed.), *Neurociência da mente e do comportamento* (241-252). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

Canteras, N. S., & Bittencourt, J. C. (2008). Comportamentos motivados e emoções. In R. Lent (Ed.). *Neurociência da mente e do comportamento* (227-240). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

Casey, B. J., Heller, A. S., Gee, D. G., & Cohen, A. O. (2019). Development of the emotional brain. *Neuroscience Letters, 693*, 29-34. doi:10.1016/j.neulet.2017.11.055

Chai, W. J., Hamid, A. I. A., & Abdullah, J. M. (2018) Working memory from the psychological and neurosciences perspectives: A review. *Frontiers in Psychology, 9*, 401. doi:10.3389/fpsyg.2018.00401

Choudhury, S., Charman, T., & Blakemore, S.-J. (2008). Development of the teenage brain. *Mind, Brain, and Education, 2*(3), 142-147. doi:10.1111/j.1751-228X.2008. 00045.x

Conway, C. M. (2020). How does the brain learn environmental structure? Ten core principles for understanding the neurocognitive mechanisms of statistical learning. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *112*, 279–299. doi:10.1016/j.neubiorev.2020.01.032

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

Dehaene, S., Cohen, L., Morais, J., & Kolinsky, R. (2015). Illiterate to literate: Behavioural and cerebral changes induced by reading acquisition. *Nature Reviews Neuroscience*, *16*(4), 234–244. doi:10.1038/nrn3924

DePasque, S., & Tricomi, E. (2015). Effects of intrinsic motivation on feedback processing during learning. *NeuroImage, 119*, 175-186. doi:10.1016/j.neuroimage.2015.06.046

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

Duckworth, A. L., Taxer, J. L., Eskreis-Winkler, L., Galla, B. M., & Gross, J. J. (2019). Self-control and academic achievement. *Annual Review of Psychology, 70*, 373-399. doi:10.1146/annurev-psych-010418-103230

Eichenbaum, H. (2017). Memory: Organization and control. *Annual Review of Psychology, 68*, 19-45. doi:10.1146/annurev-psych-010416-044131

Esperidião-Antônio, V., Majeski-Colombo, M., Toledo-Monteverde, D., Moraes-Martins, G., Fernandes, J. J., Assis, M. B., Siqueira-Batista, R. (2008). Neurobiologia das emoções. *Revista de Psiquiatria Clínica, 35*(2), 55-65. doi:10.1590/S0101-60832008000200003.

Fiske, A., & Holmboe, K. (2019). Neural substrates of early executive function development. *Developmental Review, 52*, 42-62. doi:10.1016/j.dr.2019.100866

Fuhrmann, D., Knoll, L. J., & Blakemore, S.-J. (2015). Adolescence as a sensitive period of brain development. *Trends in Cognitive Sciences, 19*(10), 558-566. doi:10.1016/j.tics.2015.07.008

Herculano-Houzel, S. (2005). O cérebro em transformação. São Paulo: Objetiva.

Hidi, S. (2016). Revisiting the role of rewards in motivation and learning: Implications of neuroscientific research. *Educational Psychology Review, 28*, 61-93. doi:10.1007/s10648-015-9307-5

Hohnen, B., & Murphy, T. (2016). The optimum context for learning: Drawing on neuroscience to inform best practice in the classroom. *Educational & Child Psychology, 33*(1), 75-90.

Kiefer, M., Schuler, S., Mayer, C., Trumpp, N. M., Hille, K., & Sachse, S. (2015). Handwriting or typewriting? The influence of pen- or keyboard-based writing training on reading and writing performance in preschool children. *Advances in cognitive psychology*, *11*(4), 136–146. doi:10.5709/acp-0178-7

LeDoux, J. (2012). Rethinking the emotional brain. *Neuron, 73*(4), 653-676. doi:10.1016/j.neuron.2012.02.004.

Lent, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência*. 2.ed. São Paulo: Atheneu.

Lent, R. (2019). *O cérebro aprendiz: Neuroplasticidade e educação*. Rio de Janeiro: Atheneu.

Louzada, F. M., & Ribeiro, S. T. G. (2018). Sono, aprendizagem e sala de aula. In R. Lent, A. Buchweitz, & M. B. Mota (Eds.). *Ciência para educação: Uma ponte entre dois mundos* (pp. 97-117). São Paulo, Brasil: Atheneu.

McRae, K. (2016). Cognitive emotion regulation: A review of theory and scientific findings. *Current Opinion in Behavioral Sciences, 10*, 119-124. doi:10.1016/j.cobeha.2016.06.004

Mizuno, K., Tanaka, M., Ishii, A., Tanabe, H. C., Onoe, H., Sadato, N., & Watanabe, Y. (2008). The neural basis of academic achievement motivation. *NeuroImage, 42*(1), 369-378. doi:10.1016/j.neuroimage.2008.04.253

Moffitt, T. E., Arseneault, L., Belsky, D., Dickson, N., Hancox, R. J., Harrington, H.-L., Houts, R., Poulton, R., Roberts, B. W., Ross, S., Sears, M. R., Thomson, W. M., & Caspi, A. (2011). A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 108*(7), 2693-2698. doi:10.1073/pnas.101007610

Moriguchi, Y. (2014). The early development of executive function and its relation to social interaction: A brief review. *Frontiers in Psychology, 5*, 388. doi:10.3389/fpsyg2014.00388

Naveed, S., Lakka, T., & Haapala, E. A. (2020). An overview on the associations between health behaviors and brain health in children and adolescents with special reference to diet quality. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(3), 953-. doi:10.3390/ijerph17030953

Nutley, S. B., & Söderqvist, S. (2017). How is working memory training likely to influence academic performance? Current evidence and methodological considerations. *Frontiers in Psychology, 8*, 69. doi:10.3389/fpsyg.2017.00069

O'Doherty, J. P., Cockburn, J., & Pauli, W. M. (2017). Learning, reward, and decision making. *Annual Review of Psychology, 68*, 73-100. doi:10.1146/annurev-psych-010416-044216

Pascual, A. C., Moyano Muñoz, N, M., & Robres, A. Q. (2019). The relationship between executive functions and academic performance in primary education: Review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology, 10*, 1582. doi:10.3389/fpsyg.2019.01582

Perone, S., Almy, B., & Zelazo, P. D. (2018). Toward an understanding of the neural basis of executive function development. In R. Gibb, & B. Kolb (Eds.), *The neurobiology of brain and behavioral development* (291-314). Amsterdam, NL: Elsevier Inc. doi:10.1016/B978-0-12-804036-2.00011-X

Pessoa, L., & Adolphs, R. (2010). Emotion processing and the amygdala: From a 'low road' to 'many roads' of evaluating biological significance. *Nature Reviews Neuroscience, 11*(11), 773-783. doi:10.1038/nrn2920

Petersen, S. E., & Posner, M. I. (2012). The attention system of the human brain: 20 years after. *Annual Review of Neuroscience, 35*, 73-89. doi:10.1146/annurev-neuro-062111-150525

Reber, P. J. (2013). The neural basis of implicit learning and memory: A review of neuropsychological and neuroimaging research. *Neuropsychologia, 51*(10), 2026-2042. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.019

Ribeiro, S., & Stickgold, R. (2014). Sleep and school education. *Trends in Neuroscience and Education, 3*(1), 18-23. doi:10.1016/j.tine.2014.02.004

Rolls, E. T. (2015). Limbic systems for emotion and for memory, but no single limbic system. *Cortex, 62*,119-157. doi:10.1016/j.cortex.2013.12.005

Rolls, E. T. (2019). The cingulate cortex and limbic systems for emotion, action, and memory. *Brain Structure and Function, 224*(9), 3001-3018. doi:10.1007/s00429-019-01945-2

Rothbart, M. K., & Posner, M. I. (2015). The developing brain in a multitasking world. *Developmental Review, 35*, 42-63. doi:10.1016/j.dr.2014.12.006

Rubia, K. (2018). Cognitive neuroscience of attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) and its clinical translation. *Frontiers in Human Neuroscience, 12*, 100. doi:10.3389/fnhum.2018.00100

Rueda, M. R., Pozuelos, J. P., & Cómbita, L. M. (2015). Cognitive neuroscience of attention: From brain mechanisms to individual differences in efficiency. *AIMS Neuroscience, 2*(4), 183-202. doi:10.3934/Neuroscience.2015.4.183

Rusch, T., Korn, C. W., Gläscher, J. (2017). A two-way street between attention and learning. *Neuron, 93*(2), 256-258. doi:10.1016/j.neuron.2017.01.005

Sawi, O. M., & Rueckl, J. G. (2019). Reading and the neurocognitive bases of statistical learning. *Scientific Studies of Reading, 23*(1), 8-23. doi:10.1080/10888438.2018.1457681

Serpell, Z. N., & Esposito, A. (2016). Development of executive functions: Implications for educational policy and practice. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences, 3*(2), 203-210. doi:10.1177/2372732216654718

Stern, E. (2017). Individual differences in the learning potential of human beings. *npj Science of Learning, 2*, 2. doi:10.1038/s41539-016-0003-0

Stevens, C., & Bavelier, D. (2012) The role of selective attention on academic foundations: A cognitive neuroscience perspective. *Developmental Cognitive Neuroscience, 2 Suppl 1*(Suppl 1), S30-S48. doi:10.1016/j.dcn.2011.11.001

Telzer, E. H. (2016). Dopaminergic reward sensitivity can promote adolescent health: A new perspective on the mechanism of ventral striatum activation. *Developmental Cognitive Neuroscience, 17*, 57-67. doi:10.1016/j.dcn.2015.10.010

Tonegawa, S., Morrissey, M. D., & Kitamura, T. (2018). The role of engram cells in the systems consolidation of memory. *Nature Reviews Neuroscience, 19*, 485-498. doi:10.1038/s41583-018-0031-2

Tsakiris, M., & Critchley, H. (2016). Interoception beyond homeostasis: Affect, cognition and mental health. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, 371*, 20160002. doi:10.1098/rstb.2016.0002

Van Schaik, C. P., & Burkart, J. M. (2011). Social learning and evolution: The cultural intelligence hypothesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, 366*, 1008-1016. doi:10.1098/rstb.2010.0304

Venkatraman, A., Edlow, B. L., & Immordino-Yang, M. H. (2017). The brainstem in emotion: A review. *Frontiers in Neuroanatomy, 11*, 15. doi:10.3389/fnana.2017.00015

Weymar, M., & Schwabe, L. (2016). Amygdala and emotion: The bright side of it. *Frontiers in Neuroscience, 10*, 224. doi:10.3389/fnins.2016.00224

Zelazo, P. D. (2015). Executive function: Reflection, iterative reprocessing, complexity, and the developing brain. *Developmental Review, 38*, 55-68. doi:10.1016/J.DR.2015.07.001

Zelazo, P.D., Blair, C. B., & Willoughby, M. T. (2016). *Executive function: Implications for Education.* (NCER 2017-2000) Washington, DC: National Center for Education Research, Institute of Education Sciences, U.S. Department of Education.

CAPÍTULO 6 – PRINCÍPIOS DA NEUROCIÊNCIA QUE PODEM POTENCIALIZAR A APRENDIZAGEM

PRINCÍPIO 1: APRENDIZAGEM MODIFICA O CÉREBRO

Ardila, A., Bertolucci, P. H., Braga, L. W., Castro-Caldas, A., Judd, T., Kosmidis, M. H., Matute, E., Nitrini, R., Ostrosky-Solis, F., & Rosselli, M. (2010). Illiteracy: The neuropsychology of cognition without reading. *Archives of Clinical Neuropsychology, 25*(8), 689-712. doi:10.1093/arclin/acq079

Artemenko, C., Soltanlou, M., Ehlis, A. C., Nuerk, H. C., & Dresler, T. (2018). The neural correlates of mental arithmetic in adolescents: A longitudinal fNIRS study. *Behavioral and Brain Functions, 14*(1):5. doi:10.1186/s12993-018-0137-8

Blackwell, L. S., Trzesniewski, K. H., & Dweck, C. S.(2007). Implicit theories of intelligence predict achievement across an adolescent transition: A longitudinal study and an intervention. *Child Development, 78*(1), 246-263. doi:10.1111/j.1467-8624.2007.00995.x

Blom, E., Küntay, A. C., Messer, M., Verhagen, J., & Leseman, P. (2014). The benefits of being bilingual: Working memory in bilingual Turkish-Dutch children. *Journal of Experimental Child Psychology, 128*, 105-119. doi:10.1016/j.jecp.2014.06.007

Buchweitz, A. (2016). Language and reading development in the brain today: Neuromarkers and the case for prediction. *Jornal de Pediatria (Rio de Janeiro), 92*(3 Suppl 1), S8–S13. doi:10.1016/j.jped.2016.01.005

Buchweitz, A., & Prat, C. *(*2013). The bilingual brain: Flexibility and control in the human cortex. *Physics of Life Reviews, 10,* 428-443. doi:10.1016/j.plrev.2013.07.020

Buchweitz, A., Mota, M. B., & Name, C. (2018). Linguagem: Das primeiras palavras à aprendizagem da leitura. In R. Lent, A. Buchweitz, & M. B. Mota (Eds.). *Ciência para educação: Uma ponte entre dois mundos* (pp. 119-131). São Paulo, Brasil: Atheneu.

Burke, S. N., & Barnes, C. A. (2006). Neural plasticity in the ageing brain. *Nature Reviews Neuroscience, 7*(1), 30-40. doi:10.1038/nrn1809

Chyl, K., Kossowski, B., Dębska, A., Łuniewska, M., Banaszkiewicz, A., Żelechowska, A., Frost, S. J., Mencl, W. E., Wypych, M., Marchewka, A., Pugh, K. R., & Jednoróg, K. (2018). Prereader to beginning reader: Changes induced by reading acquisition in print and speech brain networks. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 59*(1), 76-87. doi:10.1111/jcpp.12774

Dehaene, S., Cohen, L., Morais, J., & Kolinsky, R. (2015). Illiterate to literate: Behavioural and cerebral changes induced by reading acquisition. *Nature Reviews Neuroscience, 16*(4), 234-244. doi:10.1038/nrn3924

Dweck, C. S. (2007). Boosting achievement with messages that motivate. *Education Canada*, *47*(2), 6-10.

Emerson, R. W., & Cantlon, J. F. (2015). Continuity and change in children's longitudinal neural responses to numbers. *Developmental Science, 18*(2), 314-326. doi:10.1111/desc.12215

Fitzakerley, J. L., Michlin, M. L., Paton, J., & Dubinsky, J. M. (2013). Neuroscientists' classroom visits positively impact student attitudes. *PLoS One, 8*(12), e84035. doi:10.1371/journal.pone.0084035

Gabriel, R., Morais, J., & Kolinsky, R. (2016). A aprendizagem da leitura e suas implicações sobre a memória e a cognição. *Ilha do Desterro: Revista de Língua Inglesa, Literaturas em Inglês e Estudos Culturais*, *69*(1), 61-78. doi:10.5007/2175-8026.2016v69n1p61

Good, C., Aronson, J., & Inzlicht, M. (2003). Improving adolescents standardized test performance: An intervention to reduce the effects of stereotype threat. *Journal of Applied Developmental Psychology, 24*(6), 645-662. doi:10.1016/j.appdev.2003.09.002

Horowitz-Kraus, T., & Hutton, J. S. (2015). From emergent literacy to reading: How learning to read changes a child's brain. *Acta Paediatrica, 104*(7), 648-656. doi:10.1111/apa.13018

Isbell, E., Stevens, C., Pakulak, E., Hampton, W. A., Bell, T. A., & Neville, H. J. (2017). Neuroplasticity of selective attention: Research foundations and preliminary evidence for a gene by intervention interaction. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A., 114*(35), 9247-9254. doi:10.1073/pnas.1707241114

James, K. H., & Engelhardt, L. (2012). The effects of handwriting experience on functional brain development in pre-literate children. *Trends in Neuroscience and Education, 1*(1), 32-42. doi:10.1016/j.tine.2012.08.001

Jasińska, K. K., & Petitto, L. A. (2014). Development of neural systems for reading in the monolingual and bilingual brain: New insights from functional near infrared spectroscopy neuroimaging. *Developmental Neuropsychology, 39*(6), 421-439. doi:10.1080/8756564 1.2014.939180

Jolles, D., Supekar, K., Richardson, J., Tenison, C., Ashkenazi, S., Rosenberg-Lee, M., Fuchs, L., & Menon, V. (2016). Reconfiguration of parietal circuits with cognitive tutoring in elementary school children. *Cortex, 83*, 231-245. doi:10.1016/j.cortex.2016.08.004,

Mason, R. A., & Just, M. A. (2015). Physics instruction induces changes in neural knowledge representation during successive stages of learning. *Neuroimage, 111*, 36-48. doi:10.1016/j.neuroimage.2014.12.086

Ng, B. (2018). The neuroscience of growth mindset and intrinsic motivation. *Brain Sciences, 8*(2), 20. doi:10.3390/brainsci8020020

Romeo, R. R., Christodoulou, J. A., Halverson, K. K., Murtagh, J., Cyr, A. B., Schimmel, C., Chang, P., Hook, P. E., & Gabrieli, J. D. E. (2018). Socioeconomic status and reading disability: Neuroanatomy and plasticity in response to intervention. *Cerebral Cortex, 28*(7), 2297-2312. doi:10.1093/cercor/bhx131

Rosas, R., Espinoza, V., Porflitt, F., & Ceric, F. (2019). Executive functions can be improved in preschoolers through systematic playing in educational settings: Evidence from a longitudinal study. *Frontiers in Psychology, 10*, 2024. doi:10.3389/fpsyg.2019.02024

Rosenberg-Lee, M., Barth, M., & Menon, V. (2011). What difference does a year of schooling make? Maturation of brain response and connectivity between 2nd and 3rd grades during arithmetic problem solving. *Neuroimage, 57*(3), 796-808. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.05.013

Scliar-Cabral, L. (2013). A desmistificação do método global. *Letras De Hoje, 48*(1), 6-11. Recuperado de https://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/fale/article/view/12142

Scliar-Cabral, L. (2013). Avanços das neurociências para a alfabetização e a leitura. *Letras De Hoje, 48*(3), 277-282. Recuperado de https://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/fale/article/view/12634

Seghier, M. L., Fahim, M. A., & Habak, C. (2019). Educational fMRI: From the lab to the classroom. *Frontiers in Psychology, 10*, 2769. doi:10.3389/fpsyg.2019.02769

Tovar-Moll, F., & Lent, R. (2018). Neuroplasticidade: O cérebro em constante mudança. In R. Lent, A. Buchweitz, & M. B. Mota, M.B. (Eds.), *Ciência para educação: Uma ponte entre dois mundos* (pp. 55-71). São Paulo, Brasil: Atheneu.

Vágvölgyi, R., Coldea, A., Dresler, T., Schrader, J., & Nuerk, H.-C. (2016). A review about functional illiteracy: Definition, cognitive, linguistic, and numerical aspects. *Frontiers in Psychology, 7*, 1617. doi:10.3389/fpsyg.2016.01617

Voss, P., Thomas, M. E., Cisneros-Franco, J. M., & de Villers-Sidani, É. (2017). Dynamic brains and the changing rules of neuroplasticity: Implications for learning and recovery. *Frontiers in Psychology, 8*, 1657. doi:10.3389/fpsyg.2017.01657

Zadina, J. N. (2015). The emerging role of educational neuroscience in education reform. *Psicología Educativa, 21*(2), 71-77. doi:10.1016/j.pse.2015.08.005

Zhang, M. (2018). An overview of the bilingual advantage: History, mechanisms and consequences. *Western Undergradute Psychology Journal, 6*(1), 1-9.

PRINCÍPIO 2: A FORMA COMO CADA UM APRENDE É ÚNICA

Artemenko, C., Soltanlou, M., Bieck, S. M., Ehlis, A. C., Dresler, T., & Nuerk, H. C. (2019). Individual differences in math ability determine neurocognitive processing of arithmetic complexity: A combined fNIRS-EEG study. *Frontiers in Human Neuroscience, 13*, 227. doi:10.3389/fnhum.2019.00227

Artemenko, C., Soltanlou, M., Dresler, T., Ehlis, A. C., & Nuerk, H. C. (2018). The neural correlates of arithmetic difficulty depend on mathematical ability: Evidence from combined fNIRS and ERP. *Brain Structure and Function, 223*(6), 2561-2574. doi:10.1007/s00429-018-1618-0

Bednarz, H. M., Maximo, J. O., Murdaugh, D. L., O'Kelley, S., & Kana, R. K. (2017). "Decoding versus comprehension": Brain responses underlying reading comprehension in children with autism. *Brain and Language, 169*, 39-47. doi:10.1016/j.bandl.2017.01.002

Bueno, D. (2019). Genetics and learning: How the genes influence educational attainment. *Frontiers in Psychology, 10*, 1622. doi:10.3389/fpsyg.2019.01622

Cerruti, C. (2013). Building a functional multiple intelligences theory to advance educational neuroscience. *Frontiers in Psychology, 4*(1), 950. doi:10.3389/fpsyg.2013.00950

Crosson, B. (2019). The role of cortico-thalamo-cortical circuits in language: Recurrent circuits revisited. *Neuropsychology Review, 31*, 516-533. doi:10.1007/s11065-019-09421-8

Eda, H., Kuroda, Y., Okamoto, N., & Maesako, T. (2008). NIRS evaluates the thinking process of Mushi-Kuizan task. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering 6850, Multimodal Biomedical Imaging III,* 685002. doi:10.1117/12.762310

Finn, E. S., Shen, X., Scheinost, D., Rosenberg, M. D., Huang, J., Chun, M. M., Papademetris, X., & Constable, R. T. (2015). Functional connectome fingerprinting: Identifying individuals using patterns of brain connectivity. *Nature Neuroscience, 18*(11), 1664-1671. doi:10.1038/nn.4135

Gardner, H. (2020). Of human potential: A 40-year saga. *Journal for the Education of the Gifted, 43*(1), 12-18. doi:10.1177/0162353219894406

Gu, J., & Kanai, R. (2014). What contributes to individual differences in brain structure? *Frontiers in Human Neuroscience, 8*, 262. doi:10.3389/fnhum.2014.00262

Haque, F. N., Gottesman, I. I., & Wong, A. H. C. (2009). Not really identical: Epigenetic differences in monozygotic twins and implications for twin studies in psychiatry. *American Journal of Medical Genetics. Part C Seminars in Medical Genetics, 151C*(2), 136-141. doi:10.1002/ajmg.c.30206

Immordino-Yang, M. H., & Gotlieb, R. (2017). Embodied brains, social minds, cultural meaning: Integrating neuroscientific and educational research on social-affective development. *American Educational Research Journal, 54*(1S), 344S-367S. doi:10.3102/0002831216669780

Klostermann, F., Krugel, L. K., & Ehlen, F. (2013). Functional roles of the thalamus for language capacities. *Frontiers in Systems Neuroscience, 7*, 32. doi:10.3389/fnsys.2013.00032

Kuroda, Y., Okamoto, N., Chance, B., Nioka, S., Eda, H., & Maesako, T. (2009, February). Visualization of children's mathematics solving process using near infrared spectroscopic approach. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering 7174, Optical Tomography and Spectroscopy of Tissue VIII*, 71741Z. doi:10.1117/12.808410

Larsen, S. A., Byrne, B., Little, C. W., Coventry, W. L., Ho, C. S., Olson, R. K., & Stevenson, A. (2019). Identical genes, unique environments: A qualitative exploration of persistent monozygotic-twin discordance in literacy and numeracy. *Frontiers in Education, 4*, 21. doi:10.3389/feduc.2019.00021

Miller, G. (2012). Why are you and your brain unique? *Science, 338*(6103), 35-36. doi:10.1126/science.338.6103.35

Okamoto, N., & Kuroda, Y. (2014). Understanding strategy development in mathematics: Using eye movement measurement in educational research. *European Journal of Research on Education, 2*(2), 94-100. doi:10.15527/ejre.201426252

Oosterwijk, S., Lindquist, K. A., Anderson, E., Dautoff, R., Moriguchi, Y., & Barrett, L. F. (2012). States of mind: Emotions, body feelings, and thoughts share distributed neural networks. *Neuroimage, 62*(3), 2110-2128. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.05.079

Oosterwijk, S., Touroutoglou, A., & Lindquist, K. A. (2014). The neuroscience of construction: What neuroimaging approaches can tell us about how the brain creates the mind. In L. F. Barrett, & J. A. Russell (Eds.), *The psychological construction of emotion* (pp. 111-143). New York, NY: Guilford Press.

Reineberg, A. E., Hatoum, A. S., Hewitt, J. K., Banich, M. T., & Friedman, N. P. (2020). Genetic and environmental influence on the human functional connectome. *Cerebral Cortex, 30*(4), 2099-2113. doi:10.1093/cercor/bhz225

Shearer, B. (2018). Multiple intelligences in teaching and education: Lessons learned from neuroscience. *Journal of Intelligence, 6*(3), 38. doi:10.3390/jintelligence6030038

Shearer, C. B., & Karanian, J. M. (2017). Neuroscience of intelligence: Empirical support for the theory of multiple intelligences. *Trends in Neuroscience and Education, 6*, 211-223. doi:10.1016/j.tine.2017.02.002

Stern, E. (2017). Individual differences in the learning potential of human beings. *npj Science of Learning, 2*, 2. doi:10.1038/s41539-016-0003-0

Strauss, S. L., Goodman, K. S., & Paulson, E. J. (2009). Brain research and reading: How emerging concepts in neuroscience support a meaning construction view of the reading process. *Educational Research and Reviews, 4*(2), 21-33.

Waterhouse, L. (2006) Inadequate evidence for multiple intelligences, Mozart effect, and emotional intelligence theories. *Educational Psychologist, 41*(4), 247-255. doi:10.1207/s15326985ep4104_5

Waterhouse, L. (2006). Multiple intelligences, the Mozart effect, and emotional intelligence: A critical review. *Educational Psychologist, 41*(4), 207-225. doi:10.1207/s15326985ep4104_1

Yang, Z., Zuo, X.-N., McMahon, K. L., Craddock, R. C., Kelly, C., Zubicaray, G. I., Hickie, I., Bandettini, P. A., Castellanos, F. X., Milham, M. P., & Wright, M. J. (2016). Genetic and environmental contributions to functional connectivity architecture of the human brain. *Cerebral Cortex, 26*(5), 2341-2352. doi:10.1093/cercor/bhw027

Zatorre, R. J., Fields, R. D., & Johansen-Berg, H. (2012). Plasticity in gray and white: Neuroimaging changes in brain structure during learning. *Nature Neuroscience, 15*(4), 528-536. doi:10.1038/nn.3045

PRINCÍPIO 3: O CÉREBRO PRECISA DE INTERAÇÃO SOCIAL PARA APRENDER

Adolphs, R. (2009). The social brain: Neural basis of social knowledge. *Annual Review of Psychology, 60*, 693-716. doi:10.1146/annurev.psych.60.110707.163514

Alkire, D., Levitas, D., Warnell, K. R., & Redcay, E. (2018). Social interaction recruits mentalizing and reward systems in middle childhood. *Human Brain Mapping, 39*(10), 3928-3942. doi:10.1002/hbm.24221

Babiloni, F., & Astolfi, L. (2014). Social neuroscience and hyperscanning techniques: Past, present and future. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 44*, 76-93. doi:10.1016/j.neubiorev.2012.07.006

Bar, M. (2007). The proactive brain: Using analogies and associations to generate predictions. *Trends in Cognitive Sciences, 11*(7), 280-289. doi:10.1016/j.tics.2007.05.005

Battro, A. M., Calero, C. I., Goldin, A. P., Holper, L., Pezzatti, L., Shalóm, D. E., & Sigman, M. (2013). The cognitive neuroscience of the teacher–student interaction. *Mind, Brain, and Education, 7*(3), 177-181. doi:10.1111/mbe.12025

Bevilacqua, D., Davidesco, I., Wan, L., Chaloner, K., Rowland, J., Ding, M., Poeppel, D., & Dikker, S. (2018). Brain-to-brain synchrony and learning outcomes vary by student–teacher dynamics: Evidence from a real-world classroom electroencephalography study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 31*(3), 401-411. doi:10.1162/jocn_a_01274

Blazar, D., & Kraft, M. A. (2017). Teacher and teaching effects on students' attitudes and behaviors. *Educational Evaluation and Policy Analysis, 39*(1), 146-170. doi:10.3102/0162373716670260

Brockington, G., Balardin, J. B., Zimeo Morais, G. A., Malheiros, A., Lent, R., Moura, L. M., & Sato, J. R. (2018). From the laboratory to the classroom: The potential of functional near-infrared spectroscopy in educational neuroscience. *Frontiers in Psychology, 9*, 1840. doi:10.3389/fpsyg.2018.01840

Brown, S. (2020). The "who" system of the human brain: A system for social cognition about the self and others. *Frontiers in Human Neuroscience, 14*, 224. doi:10.3389/fnhum.2020.00224

Chandra, R. (2015). Collaborative learning for educational achievement. *Journal of Research & Method in Education, 5*(3), 4-7. doi:10.9790/7388-05310407

Clark, I., & Dumas, G. (2015). Toward a neural basis for peer-interaction: What makes peer-learning tick? *Frontiers in Psychology, 6*, 28. doi:10.3389/fpsyg.2015.00028

Czeszumski, A., Eustergerling, S., Lang, A., Menrath, D., Gerstenberger, M., Schuberth, S., Schreiber, F., Rendon, Z. Z., & König, P. (2020). Hyperscanning: A valid method to study neural inter-brain underpinnings of social interaction. *Frontiers in Human Neuroscience, 14*, 39. doi:10.3389/fnhum.2020.00039

Davidesco, I., Laurent, E., Valk, H. S., West, T. V., Dikker, S., Milne, C., & Poeppel, D. (2019). Brain-to-brain synchrony predicts long-term memory retention more accurately than individual brain measures. *bioRxiv*, 644047. doi:10.1101/644047

De Boer, H., Timmermans, A. C., & Van der Werf, M. P. C. (2018). The effects of teacher expectation interventions on teachers' expectations and student achievement: Narrative review and meta-analysis. *Educational Research and Evaluation*, *24*(3-5), 180-200. doi:10.1080/13803611.2018.1550834

Dikker, S., Silbert, L. J., Hasson, U., & Zevin, J. D. (2014). On the same wavelength: Predictable language enhances speaker–listener brain-to-brain synchrony in posterior superior temporal gyrus. *The Journal of Neuroscience, 34*(18), 6267-6272. doi:10.1523/JNEUROSCI.3796-13.2014

Dikker, S., Wan, L., Davidesco, I., Kaggen, L., Oostrik, M., McClintock, J., Rowland, J., Michalareas, G., van Bavel, J. J., Ding, M., & Poeppel, D. (2017). Brain-to-brain synchrony tracks real-world dynamic group interactions in the classroom. *Current Biology, 27*(9), 1375-1380. doi:10.1016/j.cub.2017.04.002

Falcione, S., Campbell, E., McCollum, B., Chamberlain, J., Macias, M., Morsch, L., & Pinder, C. (2019). Emergence of different perspectives of success in collaborative learning. *The Canadian Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, *10*(2), 5. doi:10.5206/cjsotl-rcacea.2019.2.8227.

Frith C. D., & Frith, U. (2012). Mechanisms of social cognition. *Annual Review of Psychology, 63*, 287-313. doi:10.1146/annurev-psych-120710-100449

Frith, C. D. (2007). The social brain? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 362*(1480), 671-678. doi:10.1098/rstb.2006.2003

Frith, U., & Frith, C. (2010). The social brain: Allowing humans to boldly go where no other species has been. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, 365*(1537), 165-176. doi:10.1098/rstb.2009.0160

Gillies, R. M. (2004). The effects of communication training on teachers' and students' verbal behaviours during cooperative learning. *International Journal of Educational Research, 41*(3), 257-279. doi:10.1016/j.ijer.2005.07.004

Gillies, R. M. (2019). Promoting academically productive student dialogue during collaborative learning. *International Journal of Educational Research, 97*, 200-209. doi:10.1016/j.ijer.2017.07.014

Goldin, A. P., Pedroncini, O., & Sigman, M. (2017). Producing or reproducing reasoning? Socratic dialog is very effective, but only for a few. *PLoS One, 12*(3), e0173584. doi:10.1371/journal.pone.0173584

Goldin, A. P. (2016). Meno, the whole experiment. In A. M. Battro, K. W. Fischer, & M. L. Majdalani (Eds.) *Mind, brain and Education at ERICE: Ten Years* (pp. 180-185). Erice, IT: Ettore Majorana Foundation and Centre for Scientific Culture.

Haase, V. G., Pinheiro-Chagas, P., & Arantes, E. A. (2009). Um convite à neurociência cognitiva social. *Gerais: Revista Interinstitucional de Psicologia, 2*(1), 42-49.

Hari, R. Henriksson, L., Malinen, S., & Parkkonen, L. (2015). Centrality of social interaction in human brain function. *Neuron, 88*(1), 181-193. doi:10.1016/j.neuron.2015.09.022

Hari, R., & Kujala, M. V. (2009). Brain basis of human social interaction: From concepts to brain imaging. *Physiological Reviews, 89*(2), 453-479. doi:10.1152/physrev.00041.2007

Hasson, U., Ghazanfar, A. A., Galantucci, B., Garrod, S., & Keysers, C. (2012). Brain-to-brain coupling: A mechanism for creating and sharing a social world. *Trends in Cognitive Sciences, 16*(2), 114-121. doi:10.1016/j.tics.2011.12.007

Holper, L., Goldin, A. P., Shalóm, D. E., Battro, A. M., Wolf, M., & Sigman, M. (2013). The teaching and the learning brain: A cortical hemodynamic marker of teacher–student interactions in the Socratic dialog. *International Journal of Educational Research, 59*, 1-10. doi:10.1016/j.ijer.2013.02.002

Hornstra, L., Stroet, K., Van Eijden, E., Goudsblom, J., & Roskamp, C. (2018). Teacher expectation effects on need-supportive teaching, student motivation, and engagement: A self-determination perspective. *Educational Research and Evaluation, 24*(3-5), 324-345. doi:10.1080/13803611.2018.1550841

Howe, C., & Abedin, M. (2013). Classroom dialogue: A systematic review across four decades of research. *Cambridge Journal of Education, 43*(3), 325-356. doi:10.1080/0305764X.2013.786024

Hurst, B., Wallace, R., & Nixon, S. B. (2013). The impact of social interaction on student learning. *Reading Horizons: A Journal of Literacy and Language Arts, 52*(4), 375-398. Recuperado de https://scholarworks.wmich.edu/reading_horizons/vol52/iss4/5

Immordino-Yang, M. H., & Sylvan, L. (2010). Admiration for virtue: Neuroscientific perspectives on a motivating emotion. *Contemporary Educational Psychology, 35*(2), 110-115. doi:10.1016/j.cedpsych.2010.03.003

Interdisciplinaridade e Evidências no Debate Educacional – IEDE. (2019). Como estão as escolas públicas do Brasil? Recuperado de https://www.portaliede.com.br/gestao-escolar-como-estao-as-escolas-publicas-do-brasil/

Jiang, J., Dai, B., Peng, D., Zhu, C., Liu, L., & Lu, C. (2012). Neural synchronization during face-to-face communication. *Journal of Neuroscience, 32*(45), 16064-16069. doi:10.1523/JNEUROSCI.2926-12.2012

Jones, J. N., Gary, M., & Kelaher-Young, A. J. (2012). The Kalamazoo promise and perceived changes in teacher beliefs, expectations, and behaviors. *Journal of Educational Research, 105*(1), 36-51. doi:10.1080/00220671.2010.517575

Kent, A. (2013). Synchronization as a classroom dynamic: A practitioner's perspective. *Mind, Brain, and Education, 7*(1), 13-18. doi:10.1111/mbe.12002.

Kirschner, F., Paas, F., & Kirschner, P. A. (2009). A cognitive load approach to collaborative learning: United brains for complex tasks. *Educational Psychology Review, 21*(1), 31-42. doi:10.1007/s10648-008-9095-2

Kolke, T., Sumiya, M., Nakagawa, E., Okazaki, S., & Sadato, N. (2019). What makes eye contact special? Neural substrates of on-line mutual eye-gaze: A hyperscanning fMRI study. *eNeuro, 6*(1), ENEURO.0284-18.2019. doi:10.1523/ENEURO.0284-18.2019

Kostorz, K., Flanagin, V. L., & Glasauer, S. (2020). Synchronization between instructor and observer when learning a complex bimanual skill. *Neuroimage, 216*, 116659. doi:10.1016/j.neuroimage.2020.116659

Krach, S., Paulus, F. M., Bodden, M., & Kircher, T. (2010). The rewarding nature of social interactions. *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 4*, 22. doi:10.3389/fnbeh.2010.00022

Krill, A. L., & Platek, S. M. (2012). Working together may be better: Activation of reward centers during a cooperative maze task. *PLoS One, 7*(2), e30613. doi:10.1371/journal.pone.0030613

Kyndt, E., Raes, E., Lismont, B., Timmers, F., Cascallar, E., & Dochy, F. (2013). A meta-analysis of the effects of face-to-face cooperative learning. Do recent studies falsify or verify earlier findings? *Educational Research Review, 10*, 133-149. doi:10.1016/j.edurev.2013.02.002

Lai, E. R. (2011). Collaboration: A literature review. Research Report Pearson Assessments. Recuperado de https://images.pearsonassessments.com/images/tmrs/Collaboration--Review.pdf

Le, H., Janssen, J., & Wubbels, T. (2018). Collaborative learning practices: Teacher and student perceived obstacles to effective student collaboration. *Cambridge Journal of Education, 48*(1), 103-122. doi:10.1080/0305764X.2016.1259389

Li, Z., & Rubie-Davies, C. M. (2017). Teachers matter: Expectancy effects in Chinese university English-as-a-foreign-language classrooms. *Studies in Higher Education, 42*(11), 2042-2060. doi:10.1080/03075079.2015.1130692

Lieberman, M. D. (2010). Social cognitive neuroscience. S. T. Fiske, D. T. Gilbert, & G. Lindzey (Eds). *Handbook of Social Psychology* (5th ed.) (143-193). New York, NY: McGraw-Hill.

Lieberman, M. D. (2012). Education and the social brain. *Trends in Neuroscience and Education, 1*, 3-9. doi:10.1016/j.tine.2012.07.003

Liu, J., Zhang, R., Geng, B., Zhang, T., Yuan, D., Otani, S., & Li, X. (2019). Interplay between prior knowledge and communication mode on teaching effectiveness: Interpersonal neural synchronization as a neural marker. *Neuroimage, 193*, 93-102. doi:10.1016/j.neuroimage.2019.03.004

Meltzoff, A. N., & Marshall, P. J. (2018). Human infant imitation as a social survival circuit. *Current Opinion in Behavioral Sciences, 24*, 130-136. doi:10.1016/j.cobeha.2018.09.006

Meltzoff, A. N., Kuhl, P. K., Movellan, J., & Sejnowski, T. J. (2009). Foundations for a new science of learning. *Science, 325*(5938), 284-288. doi:10.1126/science.1175626

Mercer, N. (2016). Education and the social brain: Linking language, thinking, teaching and learning. *Éducation et Didactique, 10*(2), 9-23. doi:10.4000/educationdidactique.2523

Muhonen, H., Pakarinen, E., Poikkeus, A.-M., Lerkkanen, M.-K., & Rasku-Puttonen, H. (2018) Quality of educational dialogue and association with students' academic performance. *Learning and Instruction, 55*, 67-79. doi:10.1016/j.learninstruc.2017.09.007

Nelson, E. E., Jarcho, J. M., & Guyer, A. E. (2016). Social re-orientation and brain development: An expanded and updated view. *Developmental Cognitive Neuroscience, 17*, 118-127. doi:10.1016/j.dcn.2015.12.008

Osher, D., Cantor, P., Berg, J., Steyer, L., & Rose, T. (2018). Drivers of human development: How relationships and context shape learning and development. *Applied Developmental Science, 24*(1), 6-36. doi:10.1080/10888691.2017.1398650

Pan, Y., Dikker, S., Goldstein, P., Zhu, Y., Yang, C., & Hu, Y. (2020). Instructor-learner brain coupling discriminates between instructional approaches and predicts learning. *Neuroimage, 211*, 116657. doi:10.1016/j.neuroimage.2020.116657

Park, E., & Choi, B. K. (2014). Transformation of classroom spaces: Traditional versus active learning classroom in colleges. *The International Journal of Higher Education and Educational Planning, 68*(5), 749-771. doi:10.1007/s10734-014-9742-0

Pehmer, A.-K., Gröschner, A., & Seidel, T. (2015). How teacher professional development regarding classroom dialogue affects students' higher-order learning. *Teaching and Teacher Education, 47*, 108-119. doi:10.1016/j.tate.2014.12.007

Redcay, E., & Schilbach, L. (2019). Using second-person neuroscience to elucidate the mechanisms of social interactions. *Nature Reviews Neuroscience, 20*(8), 495-505. doi:10.1038/s41583-019-0179-4

Resnick, L. B.; Schantz, F. (2015). Re-thinking intelligence: Schools that build the mind. *European Journal of Education, 50*(3), 340-349. doi:10.1111/ejed.12139

Reznitskaya, A., Kuo, L.-J., Clark, A.-M., Miller, B., Jadallah, M., Anderson, R. C., & Nguyen-Jahiel, K. (2009). Collaborative reasoning: a dialogic approach to group discussions. *Cambridge Journal of Education, 39*(1), 29-48. doi:10.1080/03057640802701952

Rilling, J. K., Gutman, D. A., Zeh, T. R., Pagnoni, G., Berns, G. S., & Kilts, C. D. (2002). A neural basis for social cooperation. *Neuron, 35*(2), 395-405. doi:10.1016/S0896-6273(02)00755-9

Rodriguez, V. (2013). The human nervous system: A framework for teaching and the teaching brain. *Mind, Brain, and Education, 7*(1), 2-12. doi:10.1111/mbe.12000

Rosenthal, R., & Jacobson, L. (1968). *Pygmalion in the classroom: Teacher expectation and pupils' intellectual development*. New York, NY: Holt, Rinehart and Winston.

Rubie-Davies, C. M., & Rosenthal, R. (2016). Intervening in teachers' expectations: A random effects meta-analytic approach to examining the effectiveness of an intervention. *Learning and Individual Differences, 50*, 83-92. doi:10.1016/j.lindif.2016.07.014

Rubie-Davies, C. M., Peterson, E. R., Sibley, C. G., & Rosenthal, R. (2015). A teacher expectation intervention: Modelling the practices of high expectation teachers. *Contemporary Educational Psychology, 40*, 72-85. doi:10.1016/j.cedpsych.2014.03.003

Ruff, C. C., & Fehr, E. (2014). The neurobiology of rewards and values in social decision making. *Nature Reviews Neuroscience, 15*, 549-562. doi:10.1038/nrn3776

Sakaiya, S., Shiraito, Y., Kato, J., Ide, H., Okada, K., Takano, K., & Kansaku, K. (2013). Neural correlate of human reciprocity in social interactions. *Frontiers in Neuroscience, 7*, 239. doi:10.3389/fnins.2013.00239

Salamone, J. D., & Correa, M. (2012). The mysterious motivational functions of mesolimbic dopamine. *Neuron, 76*(3), 470-485. doi:10.1016/j.neuron.2012.10.021

Schilbach, L. (2015). Eye to eye, face to face and brain to brain: Novel approaches to study the behavioral dynamics and neural mechanisms of social interactions. *Current Opinion in Behavioral Sciences, 3*, 130-135. doi:10.1016/j.cobeha.2015.03.006

Slavin, R. E. (2014). Cooperative learning and academic achievement: Why does groupwork work?. *Anales de Psicología*, *30*(3), 785-791. doi:10.6018/analesps.30.3.201201

Stallen, M, & Sanfey, A. G. (2013). The cooperative brain. *Neuroscientist, 19*(3), 292-303. doi:10.1177/1073858412469728

Stallen, M., & Sanfey, A. G. (2015). Cooperation in the brain: Neuroscientific contributions to theory and policy. *Current Opinion in Behavioral Sciences, 3*, 117-121. doi:10.1016/j.cobeha.2015.03.003

Strang, S., & Park, S. Q. (2016). Human cooperation and its underlying mechanisms. In M. Wöhr, & S. Krach. (Eds.) Social behavior from rodents to humans. *Current Topics in Behavioral Neurosciences, 30*, 223-239. doi:10.1007/7854_2016_445

Takeuchi, N., Mori, T., Suzukamo, Y., & Izumi, S.-I. (2017). Integration of teaching processes and learning assessment in the prefrontal cortex during a video game teaching–learning task. *Frontiers in Psychology, 7*, 2052. doi:10.3389/fpsyg.2016.02052

Timperley, H. S., & Phillips, G. (2003). Changing and sustaining teachers' expectations through professional development in literacy. *Teaching and Teacher Education, 19*(6), 627-641. doi:10.1016/S0742-051X(03)00058-1

Topping, K. J., & Trickey, S. (2007). Collaborative philosophical inquiry for schoolchildren: Cognitive gains at a 2-year follow-up. *British Journal of Educational Psychology, 77*(4), 787-796. doi:10.1348/000709907X193032

Trujillo, G.; Tanner, K. D. (2014). Considering the role of affect in learning: Monitoring students' self-efficacy, sense of belonging, and science identity. *CBE Life Sciences Education, 13*(1), 6-15. doi:10.1187/cbe.13-12-0241

Van Houtte, M., & Van Maele, D. (2012). Students' sense of belonging in technical/vocational schools versus academic schools: The mediating role of faculty trust in students. *Teachers College Record, 114*(7), 1-36. doi:10.1177/016146811211400706

Vogeley, K. (2017). Two social brains: Neural mechanisms of intersubjectivity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, 372*(1727), 20160245. doi:10.1098/rstb.2016.0245

Wade, M., Prime, H., Jenkins, J. M., Yeates, K. O., Williams, T., & Lee, K. (2018). On the relation between theory of mind and executive functioning: A developmental cognitive neuroscience perspective. *Psychonomic Bulletin & Review, 25*(6), 2119-2140. doi:10.3758/s13423-018-1459-0

Wang, S., Rubie-Davies, C. M., Meissel, K. (2018). A systematic review of the teacher expectation literature over the past 30 years. *Educational Research and Evaluation, 24*(3-5), 124-179. doi:10.1080/13803611.2018.1548798

Warfa, A.-R. M. (2015). Using cooperative learning to teach chemistry: A meta-analytic review. *Journal of Chemical Education, 93*(2), 248-255. doi:10.1021/acs.jchemed.5b00608

Wass, S. V., Whitehorn, M., Marriott Haresign, I., Phillips, E., & Leong, V. (2020). Interpersonal neural entrainment during early social interaction. *Trends in Cognitive Sciences, 24*(4), 329-342. doi:10.1016/j.tics.2020.01.006

Willey, K., & Gardner, A. (2012). Collaborative learning frameworks to promote a positive learning culture. *Frontiers in Education Conference Proceedings*, Seattle, WA, 1-6. doi:10.1109/FIE.2012.6462401.

Xue, H., Lu, K., & Hao, N. (2018). Cooperation makes two less-creative individuals turn into a highly-creative pair. *Neuroimage, 172*, 527-537. doi:10.1016/j.neuroimage.2018.02.007

Yano, K. (2013). The science of human interaction and teaching. *Mind, Brain, and Education, 7*(1), 19-29. doi:10.1111/mbe.12003

Yun, K. (2013). On the same wavelength: Face-to-face communication increases interpersonal neural synchronization. *Journal of Neuroscience, 33*(12), 5081-5082. doi:10.1523/JNEUROSCI.0063-13.2013

PRINCÍPIO 4: O USO DA TECNOLOGIA INFLUENCIA O PROCESSAMENTO E O ARMAZENAMENTO DAS INFORMAÇÕES

Ackerman, R., & Goldsmith, M. (2011). Metacognitive regulation of text learning: On screen versus on paper. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 17*(1), 18-32. doi:10.1037/a0022086

Alhumaid, K. (2019). Four ways technology has negatively changed education. *Journal of Educational and Social Research, 9*, 10-20. doi:10.2478/jesr-2019-0049

Baron, N. S. (2017). Reading in a digital age. *Phi Delta Kappan, 99*(2), 15-20. doi:10.1177/0031721717734184

Baumgartner, S. E., Schuur, W. A., Lemmens, J. S., & Poel, F. T. (2018). The relationship between media multitasking and attention problems in adolescents: Results of two longitudinal studies. *Human Communication Research, 44*, 3-30. doi:10.1093/HCRE.12111

Cain, M. S., Leonard, J. A., Gabrieli, J. D., Finn, A. S. (2016). Media multitasking in adolescence. *Psychonomic Bulletin and Review, 23*(6), 1932-1941. doi:10.3758/s13423-016-1036-3

Choudhury, S., & McKinney, K. A. (2013). Digital media, the developing brain and the interpretive plasticity of neuroplasticity. *Transcultural Psychiatry, 50*(2), 192-215. doi:10.1177/1363461512474623

Clement, J., & Miles, M. (2017). *Screen schooled: Two veteran teachers expose how technology overuse is making our kids dumber*. Chicago, IL: Chicago Review Press.

Comitê Gestor da Internet no Brasil – CGI.br. (2020). Pesquisa sobre o uso da internet por crianças e adolescentes no Brasil: TIC Kids Online Brasil 2019. São Paulo: CGI.br.

Common Sense. (2015). The Common Sense Media: Media use by tweens and teen. São Francisco: Common Sense.

Crone, E. A., & Konijn, E. A. (2018). Media use and brain development during adolescence. *Nature Communications, 9*: 588. doi:10.1038/s41467-018-03126-x

Delgado, P., Vargas, C. L., Ackerman, R., & Salmerón, L. (2018). Don't throw away your printed books: A meta-analysis on the effects of reading media on reading comprehension. *Educational Research Review, 25*, 23-38. doi:10.1016/J.EDUREV.2018.09.003

Demirbilek, M., & Talan, T. (2018). The effect of social media multitasking on classroom performance. *Active Learning in Higher Education, 19*, 117-129. doi:10.1177/1469787417721382

DeStefano, D., & LeFevre, J.-A. (2007). Cognitive load in hypertext reading: A review. *Computers in Human Behavior, 23*(3), 1616-1641. doi:10.1016/j.chb.2005.08.012

Dong, G., & Potenza, M. N. (2015). Behavioural and brain responses related to Internet search and memory. *European Journal of Neuroscience, 42*(8), 2546-2554. doi:10.1111/ejn.13039

Dong, G., Li, H., & Potenza, M. N. (2017). Short-term Internet-search training is associated with increased fractional anisotropy in the superior longitudinal fasciculus in the parietal lobe. *Frontiers in Neuroscience, 11*, 372. doi:10.3389/fnins.2017.00372

Falk, E. B., & Bassett, D. S. (2017). Brain and social networks: Fundamental building blocks of human experience. *Trends in Cognitive Sciences, 21*(9), 674-690. doi:10.1016/j.tics.2017.06.009

Firth, J., Torous, J., Stubbs, B., Firth, J. A., Steiner, G. Z., Smith, L., Sarris, J. (2019). The "online brain": How the Internet may be changing our cognition. *World Psychiatry, 18*(2),119-129. doi:10.1002/wps.20617

Giedd, J. N. (2012). The digital revolution and adolescent brain evolution. *Journal of Adolescent Health, 51*(2),101-105. doi:10.1016/j.jadohealth.2012.06.002

Greenfield, P. M. (2009). Technology and informal education: What is taught, what is learned. *Science, 323*(5910), 69-71. doi:10.1126/science.1167190

Harper, B., & Milman, N. B. (2016). One-to-one technology in K–12 classrooms: A review of the literature from 2004 through 2014. *Journal of Research on Technology in Education*, *48*(2), 129-142. doi:10.1080/15391523.2016.1146564

Henkel, L. A. (2014). Point-and-shoot memories: The influence of taking photos on memory for a museum tour. *Psychological Science, 25*(2), 396-402. doi:10.1177/0956797613504438

Hoehe, M. R., & Thibaut, F. (2020). Going digital: How technology use may influence human brains and behavior. *Dialogues in Clinical Neuroscience, 22*(2), 93-97. doi:10.31887/DCNS.2020.22.2/mhoehe

Kaufman, G. F., & Flanagan, M. (2016). High-low split: Divergent cognitive construal levels triggered by digital and non-digital platforms. *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2773-2777. doi:10.1145/2858036.2858550

Kirschner, P. A., & Bruyckere, P. D. (2017). The myths of the digital native and the multitasker. *Teaching and Teacher Education, 67*, 135-142. doi:10.1016/J.TATE.2017.06.001

Lodge, J. M., & Harrison, W. J. (2019). The role of attention in learning in the digital age. *Yale Journal of Biology and Medicine, 92*(1), 21-28.

Loh, K. K., & Kanai, R. (2016). How has the internet reshaped human cognition? *The Neuroscientist, 22*, 506-520. doi:10.1177/1073858415595005

Lorenzo, M. F., & Trujillo, C. M. (2018). Cognitive processes, ICT, and education: A critical analysis. *Computers in the Schools, 35*(3), 186-203, doi:10.1080/07380569.2018.1491772

Merga, M. K., & Roni, S. M. (2017). The influence of access to eReaders, computers and mobile phones on children's book reading frequency. *Computers & Education, 109*, 187-196. doi:10.1016/j.compedu.2017.02.016

Meshi, D., Tamir, D. I., & Heekeren, H. R. (2015). The emerging neuroscience of social media. *Trends in Cognitive Sciences, 19*(12), 771-782. doi:10.1016/j.tics.2015.09.004

OCDE. (2015). *Students, computers and learning: Making the connection*. OCDE Publishing, Paris. doi:10.1787/9789264239555-en.

Osiurak, F., Navarro, J., & Reynaud, E. (2018). How our cognition shapes and is shaped by technology: A common framework for understanding human tool-use interactions in the past, present, and future. *Frontiers in Psychology, 9*, 293. doi:10.3389/fpsyg.2018.00293

Small, G. W., Lee, J., Kaufman, A., Jalil, J., Siddarth, P., Gaddipati, H., Moody, T. D., & Bookheimer, S. Y. (2020). Brain health consequences of digital technology use. *Dialogues in Clinical Neuroscience, 22*(2), 179-187. doi:10.31887/DCNS.2020.22.2/gsmall

Sparrow, B., Liu, J., & Wegner, D. M. (2011). Google effects on memory: cognitive consequences of having information at our fingertips. *Science, 333*(6043), 776-778. doi:10.1126/science.1207745

Wilmer, H. H., Sherman, L. E., & Chein, J. M. (2017). Smartphones and cognition: A review of research exploring the links between mobile technology habits and cognitive functioning. *Frontiers in Psychology, 8, 605.* doi:10.3389/fpsyg.2017.00605

Wolf, M., & Barzillai, M. (2009). The importance of deep reading. *Educational Leadership, 66*(6), 32-37.

Yamamoto, J., & Ananou, S. (2015). Humanity in the digital age: Cognitive, social, emotional, and ethical implications. *Contemporary Educational Technology, 6*, 1-18. doi:10.30935/CEDTECH/6136

PRINCÍPIO 5: A EMOÇÃO ORIENTA A APRENDIZAGEM

Ahmed, S. P., Bittencourt-Hewitt, A., & Sebastian, C. L. (2015). Neurocognitive bases of emotion regulation development in adolescence. *Developmental Cognitive Neuroscience, 15*, 11-25. doi:10.1016/j.dcn.2015.07.006

Alzahrani, M., Alharbi, M., & Alodwani, A. (2019). The effect of social-emotional competence on children academic achievement and behavioral development. *International Education Studies, 12*(12), 141. doi:10.5539/ies.v12n12p141

Barrett, L. F., & Satpute, A. B. (2013). Large-scale brain networks in affective and social neuroscience: Towards an integrative functional architecture of the brain. *Current Opinion in Neurobiology, 23*(3), 361-372. doi:10.1016/j.conb.2012.12.012

Barros, R. P., Coutinho, D., & Cuffa, M. (2018). Desenvolvimento socioemocional: Do direito à educação à prática na escola. In R. Lent, A. Buchweitz, & M. B. Mota (Orgs.). *Ciência para educação: Uma ponte entre dois mundos* (177-197). São Paulo, Brasil: Atheneu.

BRASIL. Ministério da Educação. (2017). Base Nacional Comum Curricular: Educação é a base. Recuperado de http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf.

Brosch, T., Scherer, K. R., Grandjean, D., & Sander, D. (2013). The impact of emotion on perception, attention, memory, and decision-making. *Swiss Medical Weekly, 143*, w13786. doi:10.4414/smw.2013.13786

Chen, J. (2019). Exploring the impact of teacher emotions on their approaches to teaching: A structural equation modelling approach. *British Journal of Educational Psychology, 89*(1), 57-74. doi:10.1111/bjep.12220

Chernyshenko, O., Kankaraš, M., & Drasgow, F. (2018). *Social and emotional skills for student success and well-being: Conceptual framework for the OECD study on social and emotional skills*. OECD Education Working Papers, No. 173, Paris: OECD Publishing. doi:10.1787/db1d8e59-en.

Cosenza, R. M. (2016). *Por que não somos racionais: Como o cérebro faz escolhas e toma decisões*. Porto Alegre: Artmed.

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

Cromwell, H. C., Abe, N., Barrett, K. C., Caldwell-Harris, C., Gendolla, G. H. E., Koncz, R., & Sachdev, P. S. (2020). Mapping the interconnected neural systems underlying motivation and emotion: A key step toward understanding the human affectome. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 113*, 204-226. doi:10.1016/j.neubiorev.2020.02.032

Damasio, A., & Carvalho, G. B. (2013). The nature of feelings: Evolutionary and neuro-biological origins. *Nature Reviews Neuroscience, 14*(2), 143-152. doi:10.1038/nrn3403

Dolcos, F., Iordan, A. D., & Dolcos, S. (2011). Neural correlates of emotion-cognition interactions: A review of evidence from brain imaging investigations. *Journal of Cognitive Psychology (Hove, England), 23*(6), 669-694. doi:10.1080/20445911.2011.594433

Dowker, A., Sarkar, A., & Looi, C. Y. (2016) Mathematics anxiety: What have we learned in 60 years? *Frontiers in Psychology, 7*, 508. doi:10.3389/fpsyg.2016.00508

Duncan, S., & Barrett, L. F. (2007). Affect is a form of cognition: A neurobiological analysis. *Cognition and Emotion, 21*(6),1184-1211. doi:10.1080/02699930701437931

Durlak, J. A., Weissberg, R. P., Dymnicki, A. B., Taylor, R. D., & Schellinger, K. B. (2011). The impact of enhancing students' social and emotional learning: A meta-analysis of school-based universal interventions. *Child Development, 82*(1), 405-432. doi:10.1111/j.1467-8624.2010.01564.x

Fadel, C., Bialik, M., & Trilling, B. (2015). *Four-dimensional education: The competencies learners need to succeed*. Boston, MA: Center for Curriculum Redesign.

Headden, S., & McKay, S. (2015). *Motivation matters: How new research can help teachers boost student engagement*. Stanford, CA: Carnegie Foundation. Recuperado de https://www.carnegiefoundation.org/resources/publications/motivation-matters-how-new-research-can-help-teachers-boost-student-engagement/ e https://www.carnegiefoundation.org/wp-content/uploads/2015/07/Motivation_Matters_July_2015.pdf

Hosotani, R., & Imai-Matsumura, K. (2011). Emotional experience, expression, and regulation of high-quality Japanese elementary school teachers. *Teaching and Teacher Education, 27*(6), 1039-1048. doi:10.1016/j.tate.2011.03.010

Immordino-Yang, M. H. (2009). Our bodies, our minds, our selves: Social neuroscience and its application to education. In S. Feifer, & G. Rattan (Eds.), *The neuropsychology of emotional disorders*. Middletown, MD: School Neuropsychology Press.

Immordino-Yang, M. H. (2015). *Emotions, learning, and the brain: Exploring the educational implications of affective neuroscience* (The Norton Series on the Social Neuroscience of Education). New York: W. W. Norton & Co.

Immordino-Yang, M. H. (2016). Emotion, sociality, and the brain's default mode network: Insights for educational practice and policy. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences, 3*(2), 211-219. doi:10.1177/2372732216656869

Immordino-Yang, M. H., & Damasio, A. (2007). We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education. *Mind, Brain, and Education, 1*(1), 3-10. doi:10.1111/j.1751-228X.2007.00004.x

Immordino-Yang, M. H., & Gotlieb, R. (2017). Embodied brains, social minds, cultural meaning: Integrating neuroscientific and educational research on social-affective development. *American Educational Research Journal, 54*(1 Suppl.), 344S-367S. doi:10.3102/0002831216669780

Immordino-Yang, M. H., Darling-Hammond, L., & Krone, C. (2018). *The brain basis for integrated social, emotional, and academic development: How emotions and social relationships drive learning*. Washington, DC: Aspen Institute. Recuperado de https://www.aspeninstitute.org/publications/the-brain-basis-for-integrated-social-emotional-and-academic-development/

Kashy-Rosenbaum, G., Kaplan, O., & Israel-Cohen, Y. (2018). Predicting academic achievement by class-level emotions and perceived homeroom teachers' emotional support. *Psychology in the Schools, 55*(7), 770-782. doi:10.1002/pits.22140

Klein, E., Bieck, S. M., Bloechle, J., Huber, S., Bahnmuller, J., Willmes, K., & Moeller, K. (2019). Anticipation of difficult tasks: Neural correlates of negative emotions and emotion regulation. *Behavioral and Brain Functions, 15*(1), 4. doi:10.1186/s12993-019-0155-1

Kucian, K., McCaskey, U., O'Gorman Tuura, R., & von Aster, M. (2018). Neurostructural correlate of math anxiety in the brain of children. *Translational Psychiatry, 8*(1), 273. doi:10.1038/s41398-018-0320-6

Lam, U. F., Chen, W.-W., Zhang, J., & Liang, T. (2015). It feels good to learn where I belong: School belonging, academic emotions, and academic achievement in adolescents. *School Psychology International, 36*(4), 393-409. doi:10.1177/0143034315589649

Lei, H., Cui, Y., & Chiu, M. M. (2018). The relationship between teacher support and students' academic emotions: A meta-analysis. *Frontiers in Psychology, 8*, 2288. doi:10.3389/fpsyg.2017.02288

Lindquist, K. A., & Barrett, L. F. (2012). A functional architecture of the human brain: Emerging insights from the science of emotion. *Trends in Cognitive Sciences, 16*(11), 533-540. doi:10.1016/j.tics.2012.09.005

Mangels, J. A., Butterfield, B., Lamb, J., Good, C., & Dweck, C. S. (2006). Why do beliefs about intelligence influence learning success? A social cognitive neuroscience model. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 1*(2), 75-86. doi:10.1093/scan/nsl013

Martin, R. E., & Ochsner, K. N. (2016). The neuroscience of emotion regulation development: Implications for education. *Current Opinion in Behavioral Sciences, 10*, 142-148. doi:10.1016/j.cobeha.2016.06.006

McEwen, B. S., Nasca, C., & Gray, J. D. (2016). Stress effects on neuronal structure: Hippocampus, amygdala, and prefrontal cortex. *Neuropsychopharmacology, 41*(1), 3-23. doi:10.1038/npp.2015.171

Mega, C., Ronconi, L., & De Beni, R. (2014). What makes a good student? How emotions, self-regulated learning, and motivation contribute to academic achievement. *Journal of Educational Psychology, 106*(1), 121-131. doi:10.1037/a0033546

Morawetz, C., Bode, S., Baudewig, J., & Heekeren, H. R. (2017). Effective amygdala-prefrontal connectivity predicts individual differences in successful emotion regulation. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 12*(4), 569-585. doi:10.1093/scan/nsw169

Ochsner, K. N., Silvers, J. A., & Buhle, J. (2012). Functional imaging studies of emotion regulation: A synthetic review and evolving model of the cognitive control of emotion. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1251*, E1-24. doi:10.1111/j.1749-6632.2012.06751.x

OCDE. (2018). Social and emotional skills well-being, connectedness and success. Paris: OCDE Publishing.

Okon-Singer, H., Hendler, T., Pessoa, L., & Shackman, A. J. (2015). The neurobiology of emotion-cognition interactions: Fundamental questions and strategies for future research. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*, 58. doi:10.3389/fnhum.2015.00058

Osher, D., Kidron, Y., Brackett, M., Dymnicki, A., Jones, S., & Weissber, R. P. (2016). Advancing the science and practice of social and emotional learning: Looking back and moving forward. *Review of Research in Education, 40*(1), 644-681. doi:10.3102/0091732X16673595

Pekrun, R. (2014). Emotions and learning. *Educational Practices Series - UNESCO International Bureau of Education, 24*, 2-31. Recuperado de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000227679

Pekrun, R., Lichtenfeld, S., Marsh, H. W., Murayama, K., & Goetz, T. (2017). Achievement emotions and academic performance: Longitudinal models of reciprocal effects. *Child Development, 88*(5), 1653-1670. doi:10.1111/cdev.12704

Pessoa, L. (2008). On the relationship between emotion and cognition. *Nature Reviews Neuroscience, 9*(2),148-158. doi:10.1038/nrn2317

Pessoa, L. (2017). A network model of the emotional brain. *Trends in Cognitive Sciences, 21*(5), 357-371. doi:10.1016/j.tics.2017.03.002

Peterson, D. (2017). Looping Circuits: Amygdalar function and interaction with other brain regions. In B. Ferry (Ed.), *The Amygdala: Where emotions shape perception, learning and memories.* (pp. 63-83). Rijeka, HR: InTech. doi:10.5772/67836 e doi:10.5772/63124

Phelps, E. A., Lempert, K. M., & Sokol-Hessner, P. (2014). Emotion and decision making: Multiple modulatory neural circuits. *Annual Review of Neuroscience, 37*, 263-287. doi:10.1146/annurev-neuro-071013-014119

Prokofieva, V., Kostromina, S. N., Polevaia, S. A., & Fenouillet, F. (2019). Understanding emotion-related processes in classroom activities through functional measurements. *Frontiers in Psychology, 10,* 2263. doi:10.3389/fpsyg.2019.02263

Reindl, M., Tulis, M., & Dresel, M. (2018). Associations between friends, academic emotions and achievement: Individual differences in enjoyment and boredom. *Learning and Individual Differences, 62,* 164-173. doi:10.1016/j.lindif.2018.01.017

Sainio, P. J., Eklund, K. M., Ahonen, T. P. S., & Kiuru, N. H. (2019).The role of learning difficulties in adolescents' academic emotions and academic achievement. *Journal of Learning Disabilities, 52*(4), 287-298. doi:10.1177/0022219419841567

Schwabe, L., & Wolf, O. T. (2010). Learning under stress impairs memory formation. *Neurobiology of Learning and Memory, 93*(2),183-188. doi:10.1016/j.nlm.2009.09.009

Tyng, C. M., Amin, H. U., Saad, M. N. M., & Malik, A. S. (2017). The influences of emotion on learning and memory. *Frontiers in Psychology, 8*, 1454. doi:10.3389/fpsyg.2017.01454

Villavicencio, F. T., & Bernardo, A. B. (2013). Positive academic emotions moderate the relationship between self-regulation and academic achievement. *British Journal of Educational Psychology, 83*, 329-340. doi:10.1111/j.2044-8279.2012.02064.x

Vogel, S., & Schwabe, L. (2016). Learning and memory under stress: Implications for the classroom. *npj Science of Learning, 1*, 16011. doi:10.1038/npjscilearn.2016.11

PRINCÍPIO 6: A MOTIVAÇÃO COLOCA O CÉREBRO EM AÇÃO PARA A APRENDIZAGEM

Au, R. C. P., Watkins, D. A., & Hattie, J. A. C. (2010). Academic risk factors and deficits of learned hopelessness: A longitudinal study of Hong Kong secondary school students. *Educational Psychology, 30*(2), 125-138. doi:10.1080/01443410903476400

Berridge, K. C., Robinson, T. E., & Aldridge, J. W. (2009). Dissecting components of reward: 'Liking', 'wanting', and learning. *Current Opinion in Pharmacology, 9*(1), 65-73. doi:10.1016/j.coph.2008.12.014

Blackwell, L. S., Trzesniewski, K. H., & Dweck, C. S. (2007). Implicit theories of intelligence predict achievement across an adolescent transition: A longitudinal study and an intervention. *Child Development, 78*(1), 246-263. doi:10.1111/j.1467-8624.2007.00995.x

Boaler, J. (2013). Ability and mathematics: The mindset revolution that is reshaping education. *The Forum, 55,* 143-152. doi:10.2304/FORUM.2013.55.1.143

Bondarenko, I. (2017). The role of positive emotions and type of feedback in self-regulation of learning goals achievement: Experimental research. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 237*, 405-411. doi:10.1016/J.SBSPRO.2017.02.080

Cerasoli, C. P., Nicklin, J. M., & Ford, M. T. (2014). Intrinsic motivation and extrinsic incentives jointly predict performance: A 40-year meta-analysis. *Psychological Bulletin, 140*(4), 980-1008. doi:10.1037/a0035661

Cook, D. A., & Artino Jr., A. R., Jr. (2016). Motivation to learn: An overview of contemporary theories. *Medical Education*, *50*(10), 997-1014. doi:10.1111/medu.13074

Di Domenico, S. I., & Ryan, R. M. (2017). The emerging neuroscience of intrinsic motivation: A new frontier in self-determination research. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*, 145. doi:10.3389/fnhum.2017.00145

Duckworth, A., Gross, J. J. (2014). Self-control and grit: Related but separable determinants of success. *Current Directions in Psychological Science, 23*(5), 319-325. doi:10.1177/0963721414541462

Dweck, C. S. (2017). *Mindset: a nova psicologia do sucesso*. São Paulo: Objetiva.

Dweck,C. S. (2008). *Mindsets and Math/Science achievement*. New York: Carnegie Corporation of New York-Institute for Advanced Study Commission on Mathematics and Science Education.

Gruber, M. J., Gelman, B. D., & Ranganath, C. (2014). States of curiosity modulate hippocampus-dependent learning via the dopaminergic circuit. *Neuron*, *84*(2), 486-496. doi:10.1016/j.neuron.2014.08.060

Joët, G., Usher, E. L., & Bressoux, P. (2011). Sources of self-efficacy: An investigation of elementary school students in France. *Journal of Educational Psychology, 103*(3), 649-663. doi:10.1037/a0024048

Kim, S-I. (2013). Neuroscientific model of motivational process. *Frontiers in Psychology*, *4*, 98. doi:10.3389/fpsyg.2013.00098

Kim, S-I., Reeve, J., & Bong, M. (2017). Introduction to motivational neuroscience. In S.-I. Kim, J. Reeve, & M. Bong (Eds.), *Recent developments in neuroscience research on human motivation* (*Advances in motivation and achievement, 19,* 1-19). Bingley, UK: Emerald Group Publishing Limited. doi:10.1108/S0749-742320160000019022

Komarraju, M., & Nadler, D. (2013). Self-efficacy and academic achievement: Why do implicit beliefs, goals, and effort regulation matter? *Learning and Individual Differences, 25,* 67-72. doi:10.1016/j.lindif.2013.01.005

Kruglanski, A. W., Chernikova, M., & Kopetz, C. (2015). Motivation science. In R. Scott, & S. Kosslyn (Eds.), *Emerging trends in the social and behavioral sciences*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. doi:10.1002/9781118900772.etrds0104

Lee, W., & Reeve, J. (2013). Self-determined, but not non-self-determined, motivation predicts activations in the anterior insular cortex: An fMRI study of personal agency. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 8*(5), 538-545. doi:10.1093/scan/ nss029

Lee, W., & Reeve, J. (2017). Identifying the neural substrates of intrinsic motivation during task performance. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 17*(5), 939-953. doi:10.3758/s13415-017-0524-x

Lee, W., Reeve, J., Xuec, Y., & Xiong J. (2012). Neural differences between intrinsic reasons for doing versus extrinsic reasons for doing: An fMRI study. *Neuroscience Research, 73*, 68-72. doi:10.1016/j.neures.2012.02.010

Leotti, L. A., Iyengar, S. S., & Ochsner, K. N. (2010). Born to choose: The origins and value of the need for control. *Trends in Cognitive Sciences, 14*(10), 457-463. doi:10.1016/j.tics.2010.08.001

Mangels, J. A., Butterfield, B., Lamb, J., Good, C., & Dweck, C. S. (2006). Why do beliefs about intelligence influence learning success? A social cognitive neuroscience model. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 1*(2), 75-86. doi:10.1093/scan/ns1013

Mega, C., Ronconi, L., & De Beni, R. (2014). What makes a good student? How emotions, self-regulated learning, and motivation contribute to academic achievement. *Journal of Educational Psychology, 106*(1), 121-131. doi:10.1037/a0033546

Meng, L., & Ma, Q. (2015). Live as we choose: The role of autonomy support in facilitating intrinsic motivation. *International Journal of Psychophysiology, 98*, 441-447. doi:10.1016/j.ijpsycho.2015.08.009

Murayama, K. (2018). The science of motivation. *Science Brief: Psychological Science Agenda*. Recuperado de https://www.apa.org/science/about/psa/2018/06/motivation.

Murayama, K., Matsumoto, M., Izuma, K., Sugiura, A., Ryan, R. M., Deci, E. L., & Matsumoto, K. (2015). How self-determined choice facilitates performance: A key role of the ventromedial prefrontal córtex. *Cerebral Cortex, 25*, 1241-1251. doi:10.1093/cercor/bht317

Ng, B. (2018). The neuroscience of growth mindset and intrinsic motivation. *Brain Sciences, 8*(2), 20. doi:10.3390/brainsci8020020

Oudeyer, P.-Y., Gottlieb, J., & Lopes, M. (2016). Intrinsic motivation, curiosity, and learning: Theory and applications in educational technologies. *Progress in Brain Research, 229*, 257-284. doi:10.1016/bs.pbr.2016.05.005

Pascoe, L., Spencer-Smith, M., Giallo, R., Seal, M. L., Georgiou-Karistianis, N., Nosarti, C., Josev, E. K., Roberts, G., Doyle, L. W., Thompson, D. K., & Anderson, P. J. (2018). Intrinsic motivation and academic performance in school-age children born extremely preterm: The contribution of working memory. *Learning and Individual Differences, 64*, 22-32. doi:10.1016/j.lindif.2018.04.005

Patall, E. A, Cooper, H., & Robinson, J. C. (2008). The effects of choice on intrinsic motivation and related outcomes: A meta-analysis of research findings. *Psychological Bulletin, 134*(2), 270-300. doi:10.1037/0033-2909.134.2.270

Reeve, J. (2019). Neuroscience of intrinsic motivation. *Conference Abstract: 4th International Conference on Educational Neuroscience*. doi:10.3389/conf.fnhum.2019.229.00006

Schroder, H. S., Fisher, M. E., Lin, Y., Lo, S. L., Danovitch, J. H., & Moser, J. S. (2017). Neural evidence for enhanced attention to mistakes among school-aged children with a growth mindset. *Developmental Cognitive Neuroscience, 24*, 42-50. doi:10.1016/j.dcn.2017.01.004

Schroder, H. S., Moran, T. P., Donnellan, M. B., & Moser, J. S. (2014). Mindset induction effects on cognitive control: A neurobehavioral investigation. *Biological Psychology, 103*, 27-37. doi:10.1016/j.biopsycho.2014.08.004

Siddique, N., Dhakan, P., Rano, I., & Merrick, K. (2017). A review of the relationship between novelty, intrinsic motivation and reinforcement learning. *Paladyn: Journal of Behavioral Robotics, 8*(1), 58-69. doi:10.1515/pjbr-2017-0004

Taylor, G., Jungert, T., Mageau, G. A., Schattke, K., Dedic, H., Rosenfield, S., & Koestner, R. (2014). A self-determination theory approach to predicting school achievement over time: The unique role of intrinsic motivation. *Contemporary Educational Psychology, 39*(4), 342-358. doi:10.1016/j.cedpsych.2014.08.002

von Stumm, S., Hell, B., & Chamorro-Premuzic, T. (2011). The hungry mind: Intellectual curiosity is the third pillar of academic performance. *Perspectives on Psychological Science, 6*(6), 574-588. doi:10.1177/1745691611421204

Wang, S., Dai, J., Li, J., Wang, X., Chen, T., Yang, X., He, M., & Gong, Q. (2018). Neuroanatomical correlates of grit: Growth mindset mediates the association between gray matter structure and trait grit in late adolescence. *Human Brain Mapping*, *39*(4), 1688-1699. doi:10.1002/hbm.23944

Zeng, G., Hou, H., & Peng, K. (2016). Effect of growth mindset on school engagement and psychological well-being of Chinese primary and middle school students: The mediating role of resilience. *Frontiers in Psychology, 7*, 1873. doi:10.3389/fpsyg.2016.01873

PRINCÍPIO 7: A ATENÇÃO É A PORTA DE ENTRADA PARA A APRENDIZAGEM

Banerjee, S., Frey, H. P., Molholm, S., & Foxe, J. J. (2015). Interests shape how adolescents pay attention: The interaction of motivation and top-down attentional processes in biasing sensory activations to anticipated events. *European Journal of Neuroscience, 41*(6), 818-834. doi:10.1111/ejn.12810.

Barrett, P. S., Zhang, Y., Davies, F., & Barrett, L. C. (2015). Clever classrooms: Summary report of the HEAD project. Manchester: University of Salford.

Bourgeois, A., Chelazzi, L., & Vuilleumier, P. (2016). How motivation and reward learning modulate selective attention. *Progress in Brain Research, 229*, 325-342. doi:10.1016/bs.pbr.2016.06.004.

Bunce, D. M., Flens, E. A., & Neiles, K. Y. (2010). How long can students pay attention in class? A study of student attention decline using clickers. *Journal of Chemical Education, 87*(12), 1438-1443. doi:10.1021/ed100409p.

Farley, J., Risko, E. F., & Kingstone, A. (2013). Everyday attention and lecture retention: The effects of time, fidgeting, and mind wandering. *Frontiers in Psychology, 4*, 619. doi:10.3389/fpsyg.2013.00619.

Fiebelkorn, I. C., Pinsk, M. A., & Kastner, S. (2018). A dynamic interplay within the frontoparietal network underlies rhythmic spatial attention. *Neuron, 99*(4), 842-853. doi:10.1016/j.neuron.2018.07.038.

Leisman, G., Moustafa, A. A., & Shafir, T. (2016). Thinking, walking, talking: Integratory motor and cognitive brain function. *Frontiers In Public Health, 4*, 94. doi:10.3389/fpubh.2016.00094.

Lengel, T., & Kuczala, M. (2010). *The kinesthetic classroom: Teaching and learning through movement*. California: Corwin Publishers.

Mazzoli, E., Teo, W. P., Salmon, J., Pesce, C., He, J., Ben-Soussan, T. D., & Barnett, L. M. (2019). Associations of class-time sitting, stepping and sit-to-stand transitions with cognitive functions and brain activity in children. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 16*(9):1482. doi:10.3390/ijerph16091482.

McClelland, E., Pitt, A., & Stein, J. (2015). Enhanced academic performance using a novel classroom physical activity intervention to increase awareness, attention and self-control: Putting embodied cognition into practice. *Improving Schools, 18*(1), 83-100. doi:10.1177/1365480214562125.

Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2014). Attention to learning of school subjects. *Trends in Neuroscience and Education, 3*(1), 14-17. doi:10.1016/j.tine.2014.02.003.

Rosegard, E., & Wilson, J. (2013). Capturing students' attention: An empirical study. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning, 13*(5), 1-20.

Szpunar. K. K., Moulton, S. T., & Schacter, D. L. (2013). Mind wandering and education: From the classroom to online learning. *Frontiers in Psychology, 4*, 495. doi:10.3389/fpsyg.2013.00495.

PRINCÍPIO 8: O CÉREBRO NÃO É MULTITAREFA

Bellur, S., Nowak, K. L., & Hull, K. S. (2015). Make it our time: In class multitaskers have lower academic performance. *Computers in Human Behavior, 53*, 63-70. doi:10.1016/j.chb.2015.06.027 0.

Common Sense. (2015). The Common Sense Media: Media use by tweens and teen. São Francisco: Commom Sense.

Demirbilek, M., & Talan, T. (2018). The effect of social media multitasking on classroom performance. *Active Learning in Higher Education, 19*(2) 117-129. doi:10.1177/1469787417721382

Foerde, K., Knowlton, B. J., & Poldrack, R. A. (2006). Modulation of competing memory systems by distraction. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 103*(31), 11778-11783. doi:10.1073pnas.0602659103.

Junco, R. (2012). In-class multitasking and academic performance. *Computers in Human Behavior, 28*(6), 2236-2243. doi:10.1016/j.chb.2012.06.031.

Lee, J., Lin, L., & Robertson, T (2011). The impact of media multitasking on learning. *Learning, Media and Technology, 37*(1), 94-104. doi:10.1080/17439884.2010.537664.

Ophir, E., Nass, C., & Wagner, A. D. (2009). Cognitive control in media multitaskers. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 106* (37), 15583-15587. doi:10.1073pnas.0903620106.

Rosen, L. D., Carrier, L. M., & Cheever, N. A. (2013). Facebook and texting made me do it: Media-induced task-switching while studying. *Computers in Human Behavior, 29*(3), 948-958. doi:10.1016/j.chb.2012.12.001.

Rosen, L. D., Lim, A. F., Carrier, L. M., & Cheever, N. A. (2011). An empirical examination of the educational impact of text message-induced task switching in the classroom: Educational implications and strategies to enhance learning. *Psicología Educativa, 17*(2), 163-177. doi:10.5093/ed2011v17n2a4.

Uncapher, M. R., & Wagner, A. D. (2018). Minds and brains of media multitaskers: Current findings and future directions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(40), 9889-9896. doi:10.1073/pnas.1611612115.

PRINCÍPIO 9: APRENDIZAGEM ATIVA REQUER ELABORAÇÃO E TEMPO PARA CONSOLIDAÇÃO NA MEMÓRIA

Abel, T., Havekes, R., Saletin, J. M., & Walker, M. P. (2013). Sleep, plasticity and memory from molecules to whole-brain networks. *Current Biology: CB*, *23*(17), R774-R788. doi:10.1016/j.cub.2013.07.025

Acosta, M. T. (2019). Sueño, memoria y aprendizaje. *Medicina (Buenos Aires), 79*(Suppl.3), 29-32.

Agarwal, P. K. (2019). Retrieval practice & Bloom's taxonomy: Do students need fact knowledge before higher order learning? *Journal of Educational Psychology, 111(2)*, 189-209. doi:10.1037/edu0000282

Agra, G., Formiga, N. S., Oliveira, P. S., Costa, M. M, L., Fernandes, M. G., M., & Nóbrega, M. M. L. (2019). Analysis of the concept of meaningful learning in light of the Ausubel's theory. *Revista Brasileira de Enfermagem, 72*(1), 248-255. doi:10.1590/0034-7167-2017-0691

Bartley, J. E., Riedel, M. C., Salo, T., Boeving, E. R., Bottenhorn, K. L., Bravo, E. I., Odean, R., Nazareth, A., Laird, R. W., Sutherland, M. T., Pruden, S. M., Brewe, E., & Laird, A. R. (2019). Brain activity links performance in science reasoning with conceptual approach. *npj Science of Learning*, *4*(1), 20. doi:10.1038/s41539-019-0059-8

Beichner, R. J. (2014). History and evolution of active learning spaces. *New Directions for Teaching and Learning, 137,* 9-16. doi:10.1002/TL.20081

Broadbent, H. J., Osborne, T., Mareschal, D., & Kirkham, N. Z. (2018). Withstanding the test of time: Multisensory cues improve the delayed retention of incidental learning. *Developmental Science*, *22*(1), e12726. doi:10.1111/desc.12726

Brod, G., Lindenberger, U., Werkle-Bergner, M., & Shing, Y. L. (2015). Differences in the neural signature of remembering schema-congruent and schema-incongruent events. *NeuroImage*, *117*, 358-366. doi:10.1016/j.neuroimage.2015.05.086

Brod, G., Werkle-Bergner, M., & Shing, Y. L. (2013). The influence of prior knowledge on memory: A developmental cognitive neuroscience perspective. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *7*, 139. doi:10.3389/fnbeh.2013.00139.

Buhry, L., Azizi, A. H., & Cheng, S. (2011). Reactivation, replay, and preplay: How it might all fit together. *Neural Plasticity, 2011*, 203462. doi:10.1155/2011/203462

Cetron, J. S., Connolly, A. C., Diamond, S. G., May, V. V., Haxby, J. V., & Kraemer, D. (2020). Using the force: STEM knowledge and experience construct shared neural representations of engineering concepts. *npj Science of Learning*, *5*, 6. doi:10.1038/s41539-020-0065-x

Chi, M. T. (2009). Active-constructive-interactive: a conceptual framework for differentiating learning activities. *Topics in Cognitive Science*, *1*(1), 73-105. doi:10.1111/j.1756-8765.2008.01005.x

Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2008). Learning by viewing versus learning by doing: Evidence-based guidelines for principled learning environments. *Performance Improvement, 47*(9), 5-13. doi:10.1002/pfi.20028

Clewett, D., DuBrow, S., & Davachi, L. (2019). Transcending time in the brain: How event memories are constructed from experience. *Hippocampus*, *29*(3), 162-183. doi:10.1002/hipo.23074.

Coil, D., Wenderoth, M. P., Cunningham, M., & Dirks, C. (2010). Teaching the process of science: Faculty perceptions and an effective methodology. *CBE Life Sciences Education, 9*(4), 524-535. doi:10.1187/cbe.10-01-0005.

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

Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory?. *Progress in Brain Research*, *169*, 323-338. doi:10.1016/S0079-6123(07)00020-9

Danker, J. F., & Anderson, J. R. (2010). The ghosts of brain states past: Remembering reactivates the brain regions engaged during encoding. *Psychological Bulletin*, *136*(1), 87-102. doi:10.1037/a0017937

Denervaud, S., Gentaz, E., Matusz, P. J., & Murray, M. M. (2020). Multisensory gains in simple detection predict global cognition in schoolchildren. *Scientific Reports*, *10*(1), 1394. doi:10.1038/s41598-020-58329-4

Dubinsky, J. M., Guzey, S. S., Schwartz, M. S., Roehrig, G., MacNabb, C., Schmied, A., Hinesley, V., Hoelscher, M., Michlin, M., Schmitt, L., Ellingson, C., Chang, Z., & Cooper, J. L. (2019). Contributions of neuroscience knowledge to teachers and their practice. *The Neuroscientist*, *25*(5), 394-407. doi:10.1177/1073858419835447

Eichenbaum H. (2017). Memory: Organization and control. *Annual Review of Psychology*, *68*, 19-45. doi:10.1146/annurev-psych-010416-044131

Fandakova, Y., & Bunge, S. A. (2016). What connections can we draw between research on long-term memory and student learning? *Mind, Brain, and Education, 10*(3), 135-141. doi:10.1111/mbe.12123

Feng, K., Zhao, X., Liu, J., Cai, Y., Ye, Z., Chen, C., & Xue, G. (2019). Spaced learning enhances episodic memory by increasing neural pattern similarity across repetitions. *Journal of Neuroscience*, *39*(27), 5351-5360. doi:10.1523/JNEUROSCI.2741-18.2019

Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(23), 8410-8415. doi:10.1073/pnas.1319030111

Gilboa, A., & Marlatte, H. (2017). Neurobiology of schemas and schema-mediated memory. *Trends in Cognitive Sciences*, *21*(8), 618-631. doi:org/10.1016/j.tics.2017.04.013

Greve, A., Cooper, E., Tibon, R., & Henson, R. N. (2019). Knowledge is power: Prior knowledge aids memory for both congruent and incongruent events, but in different ways. *Journal of Experimental Psychology: General*, *148*(2), 325-341. doi:10.1037/xge0000498

Guerra-Carrillo, B. C., Bunge, S. A. (2018). Eye gaze patterns reveal how reasoning skills improve with experience. *npj Science of Learning, 3*, 18. doi:10.1038/s41539-018-0035-8

Klein-Flügge, M. C., Wittmann, M. K., Shpektor, A., Jensen, D., & Rushworth, M. (2019). Multiple associative structures created by reinforcement and incidental statistical learning mechanisms. *Nature Communications*, *10*(1), 4835. doi:10.1038/s41467-019-12557-z

Konopka, C. L., Adaime, M. B., & Mosele, P. H. (2015). Active teaching and learning methodologies: Some considerations. *Creative Education, 6*, 1536-1545. doi:10.4236/CE.2015.614154

Kontra, C., Lyons, D. J., Fischer, S. M., & Beilock, S. L. (2015). Physical experience enhances science learning. *Psychological Science*, *26*(6), 737-749. doi:10.1177/0956797615569355

Korte, M., & Schmitz, D. (2016). Cellular and system biology of memory: Timing, molecules, and beyond. *Physiological Reviews*, *96*(2), 647-693. doi:10.1152/physrev.00010.2015

Lemos, N., Weissheimer, J., & Ribeiro, S. (2014). Naps in school can enhance the duration of declarative memories learned by adolescents. *Frontiers in Systems Neuroscience, 8, 103*. doi:10.3389/fnsys.2014.00103

Lewis, P. A., & Durrant, S. J. (2011). Overlapping memory replay during sleep builds cognitive schemata. *Trends in Cognitive Sciences*, *15*(8), 343-351. doi:10.1016/j.tics.2011.06.004

MacLeod, S., Reynolds, M. G., & Lehmann, H. (2018). The mitigating effect of repeated memory reactivations on forgetting. *npj Science of Learning, 3*, 9. doi:10.1038/s41539-018-0025-x

Markant, D. B., & Gureckis, T. M. (2014). Is it better to select or to receive? Learning via active and passive hypothesis testing. *Journal of Experimental Psychology: General*, *143*(1), 94-122. doi:10.1037/a0032108

Markant, D., Ruggeri, A., Gureckis, T. M., & Xu, F. (2016). Enhanced memory as a common effect of active learning. *Mind, Brain, and Education, 10*, 142-152. doi:10.1111/MBE.12117

Mayer, R. E. (2017). How can brain research inform academic learning and instruction? *Educational Psychology Review, 29*, 835-846. doi:10.1007/S10648-016-9391-1

McKenzie, S., & Eichenbaum, H. (2011). Consolidation and reconsolidation: Two lives of memories?. *Neuron*, *71*(2), 224-233. doi:10.1016/j.neuron.2011.06.037

Michael, J. (2006). Where's the evidence that active learning works?. *Advances in Physiology Education*, *30*(4), 159-167. doi:10.1152/advan.00053.2006

Okano, K., Kaczmarzyk, J. R., Dave, N., Gabrieli, J. D. E., & Grossman, J. C. (2019). Sleep quality, duration, and consistency are associated with better academic performance in college students. *npj Science of Learning,* 4, 16. doi:10.1038/s41539-019-0055-z.

Owens, M. T., & Tanner, K. D. (2017). Teaching as brain changing: Exploring connections between neuroscience and innovative teaching. *CBE Life Sciences Education*, *16*(2), fe2. doi:10.1187/cbe.17-01-0005.

Paiva, M. R. F., Parente, J. R. F., Brandão, I. R., & Queiroz, A. H. B. (2016). Metodologias ativas de ensino-aprendizagem: Revisão integrativa. *SANARE – Revista de Políticas Públicas, 15*(2), 145-153.

Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education, 93*(3), 223-231. doi:10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x

Ribeiro, S., & Stickgold, R. (2014). Sleep and school education. *Trends in Neuroscience and Education, 3*(1), 18-23. doi:10.1016/j.tine.2014.02.004

Richards, B. A., & Frankland, P. W. (2017). The persistence and transience of memory. *Neuron*, *94*(6), 1071-1084. doi:10.1016/j.neuron.2017.04.037

Robertson, E. M., & Genzel, L. (2020). Memories replayed: Reactivating past successes and new dilemmas. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *375*(1799), 20190226. doi:10.1098/rstb.2019.0226

Roediger, H. L., III, & Butler, A. C. (2011). The critical role of retrieval practice in long-term retention. *Trends in Cognitive Sciences*, *15*(1), 20-27. doi:10.1016/j.tics.2010.09.003

Roediger, H. L., III, & McDermott, K. B. (2018). Remembering what we learn. In *Cerebrum: The Dana forum on brain science*, *2018*, cer-08-18.

Rosner, Z. A., Elman, J. A., & Shimamura, A. P. (2013). The generation effect: Activating broad neural circuits during memory encoding. *Cortex, 49*(7), 1901-1909. doi:10.1016/j.cortex.2012.09.009

Ruggeri, A., Markant, D. B., Gureckis, T. M., Bretzke, M., & Xu, F. (2019). Memory enhancements from active control of learning emerge across development. *Cognition*, *186*, 82-94. doi:10.1016/j.cognition.2019.01.010

Ruiz-Primo, M. A., Briggs, D., Iverson, H., Talbot, R., & Shepard, L. A. (2011). Impact of undergraduate science course innovations on learning. *Science*, *331*(6022), 1269-1270. doi:10.1126/science.1198976

San Martin, A., Rela, L., Gelb, B., & Pagani, M. R. (2017). The spacing effect for structural synaptic plasticity provides specificity and precision in plastic changes. *Journal of Neuroscience*, *37*(19), 4992-5007. doi:10.1523/JNEUROSCI.2607-16.2017

Schaefer, N., Rotermund, C., Blumrich, E. M., Lourenco, M. V., Joshi, P., Hegemann, R. U., Jamwal, S., … & Turner, A. J. (2017). The malleable brain: Plasticity of neural circuits and behavior: A review from students to students. *Journal of Neurochemistry*, *142*(6), 790-811. doi:10.1111/jnc.14107

Schlichting, M. L., & Preston, A. R. (2015). Memory integration: Neural mechanisms and implications for behavior. *Current Opinion in Behavioral Sciences, 1,* 1-8. doi:10.1016/j.cobeha.2014.07.005

Sekeres, M. J., Moscovitch, M., & Winocur, G. (2017). Mechanisms of memory consolidation and transformation. In N. Axmacher, & B. Rasch (Eds.), *Studies in neuroscience, psychology and behavioral economics. Cognitive neuroscience of memory consolidation* (pp.17-44). Cham, SWI: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-45066-7_2

Sekeres, M. J., Winocur, G., & Moscovitch, M. (2018). The hippocampus and related neocortical structures in memory transformation. *Neuroscience Letters*, *680*, 39-53. doi:10.1016/j.neulet.2018.05.006

Shams, L., & Seitz, A. R. (2008). Benefits of multisensory learning. *Trends in Cognitive Sciences*, *12*(11), 411-417. doi:10.1016/j.tics.2008.07.006

Shing, Y. L., & Brod, G. (2016). Effects of prior knowledge on memory: Implications for education. *Mind, Brain, and Education, 10*(3), 153-161. doi:10.1111/mbe.12110

Soderstrom, N. C., & Bjork, R. A. (2015). Learning versus performance: An integrative review. *Perspectives on Psychological Science*, *10*(2), 176-199. doi:10.1177/1745691615569000

Squire, L. R., Genzel, L., Wixted, J. T., & Morris, R. G. (2015). Memory consolidation. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, *7*(8), a021766. doi:10.1101/cshperspect.a021766

Stern, E. (2017). Individual differences in the learning potential of human beings. *npj Science of Learning,* 2, 2. doi:10.1038/s41539-016-0003-0

Tambini, A., & Davachi, L. (2019). Awake reactivation of prior experiences consolidates memories and biases cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, *23*(10), 876-890. doi:10.1016/j.tics.2019.07.008

Thelen, A., & Murray, M. M. (2013). The efficacy of single-trial multisensory memories. *Multisensory Research*, *26*(5), 483-502. doi:10.1163/22134808-00002426

Theobald, E. J., Hill, M. J., Tran, E., Agrawal, S., Arroyo, E. N., Behling, S., … & Freeman, S. (2020). Active learning narrows achievement gaps for underrepresented students in undergraduate science, technology, engineering, and math. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *117*(12), 6476-6483. doi:10.1073/pnas.1916903117

Van Atteveldt, N., Murray, M. M., Thut, G., & Schroeder, C. E. (2014). Multisensory integration: Flexible use of general operations. *Neuron*, *81*(6), 1240-1253. doi:10.1016/j.neuron.2014.02.044

van Kesteren, M. T. R., & Meeter, M. (2020). How to optimize knowledge construction in the brain. *npj Science of Learning, 5*, 5. doi:10.1038/s41539-020-0064-y

van Kesteren, M. T. R., Brown, T. I., & Wagner, A. D. (2016). Interactions between memory and new learning: Insights from fMRI multivoxel pattern analysis. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *10*, 46. doi:10.3389/fnsys.2016.00046.

van Kesteren, M. T. R., Krabbendam, L., & Meeter, M. (2018). Integrating educational knowledge: Reactivation of prior knowledge during educational learning enhances memory integration. *npj Science of Learning, 3*, 11. doi:10.1038/s41539-018-0027-8

van Kesteren, M. T. R., Rignanese, P., Gianferrara, P. G., Krabbendam, L., & Meeter, M. (2020). Congruency and reactivation aid memory integration through reinstatement of prior knowledge. *Scientific Reports, 10*(1), 4776. doi:10.1038/s41598-020-61737-1

Voss, J. L., Galvan, A., & Gonsalves, B. D. (2011). Cortical regions recruited for complex active-learning strategies and action planning exhibit rapid reactivation during memory retrieval. *Neuropsychologia, 49 (14)*, 3956-3966. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2011.10.012

Voss, J. L., Gonsalves, B. D., Federmeier, K. D., Tranel, D., & Cohen, N. J. (2011). Hippocampal brain-network coordination during volitional exploratory behavior enhances learning. Nature Neuroscience, 14(1), 115-120. doi:10.1038/nn.2693

Vygotsky, L. V. (2001). *A construção do pensamento e da linguagem*. São Paulo: Martins Fontes.

Watagodakumbura, C. (2015). Some useful pedagogical practices: Educational neuroscience perspective. *Journal of Studies in Education, 5*(4), 191-221. doi:10.5296/jse.v5i4.8521

Zatorre, R. J., Fields, R. D., & Johansen-Berg, H. (2012). Plasticity in gray and white: Neuroimaging changes in brain structure during learning. *Nature Neuroscience, 15*(4), 528-536. doi:10.1038/nn.3045.

Zeithamova, D., Mack, M. L., Braunlich, K., Davis, T., Seger, C. A., van Kesteren, M. T. R., & Wutz, A. (2019). Brain mechanisms of concept learning. *Journal of Neuroscience*, *39*(42), 8259-8266. doi:10.1523/JNEUROSCI.1166-19.2019

Zhao, X., Wang, C., Liu, Q., Xiao, X., Jiang, T., Chen, C., & Xue, G. (2015). Neural mechanisms of the spacing effect in episodic memory: A parallel EEG and fMRI study. *Cortex, 69*, 76-92. doi:10.1016/j.cortex.2015.04.002

PRINCÍPIO 10: A AUTORREGULAÇÃO E A METACOGNIÇÃO POTENCIALIZAM A APRENDIZAGEM

Andrade, H. G., & Valtcheva, A. V. (2009). Promoting learning and achievement through self-assessment. *Theory Into Practice, 48*, 12-19. doi:10.1080/00405840802577544

Ardila, A. (2016). Is “self-consciousness” equivalent to “executive function”?. *Psychology & Neuroscience, 9*(2), 215-220. doi:10.1037/pne0000052

Blair, C. (2016). Executive function and early childhood education. *Current Opinion in Behavioral Sciences, 10*, 102-107. doi:10.1016/j.cobeha.2016.05.009

Brod, G., Bunge, S. A., & Shing, Y. L. (2017). Does one year of schooling improve children’s cognitive control and alter associated brain activation?. *Psychological Science, 28*(7), 967-978. doi:10.1177/0956797617699838

Chen, P., Chavez, O., Ong, D. C., & Gunderson, B. (2017). Strategic resource use for learning: A self-administered intervention that guides self-reflection on effective resource use enhances academic performance. *Psychological Science*, *28*(6), 774-785. doi:10.1177/0956797617696456

Dent, A. L., & Koenka, A. C. (2016). The relation between self-regulated learning and academic achievement across childhood and adolescence: A meta-analysis. *Educational Psychology Review, 28*, 425-474. doi:10.1007/S10648-015-9320-8

Destan, N., Hembacher, E., Ghetti, S., & Roebers, C. M. (2014). Early metacognitive abilities: The interplay of monitoring and control processes in 5- to 7-year-old children. *Journal of Experimental Child Psychology, 126*, 213-228. doi:10.1016/j.jecp.2014.04.001

Diamond, A. (2014). Want to optimize executive functions and academic outcomes?: Simple, just nourish the human spirit. *Minnesota Symposia on Child Psychology (Series), 37*, 205-232.

Diamond, A., & Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental Cognitive Neuroscience, 18*, 34-48. doi:10.1016/j.dcn.2015.11.005

Education Endowment Foundation. (2018). *Metacognition and self-regulated learning*. Londres: Education Endowment Foundation.

Edwards, S., & Cooper, N. (2010). Mind mapping as a teaching resource. *The Clinical Teacher, 7*(4), 236-239. doi:10.1111/j.1743-498X.2010.00395.x

Engelhardt, L. E., Harden, K. P., Tucker-Drob, E. M., & Church, J. A. (2019). The neural architecture of executive functions is established by middle childhood. *NeuroImage, 185*, 479-489. doi:10.1016/j.neuroimage.2018.10.024

Fiske, A., & Holmboe, K. (2019). Neural substrates of early executive function development. *Developmental Review, 52*, 42-62. doi:10.1016/j.dr.2019.100866

Guay, F., Ratelle, C. F., Roy, A., & Litalien, D. (2010). Academic self-concept, autonomous academic motivation, and academic achievement: Mediating and additive effects. *Learning and Individual Differences, 20*, 644-653. doi:10.1016/j.lindif.2010.08.001

Heatherton, T. F. (2011). Neuroscience of self and self-regulation. *Annual Review of Psychology, 62*, 363-390. doi:org/10.1146/annurev.psych.121208.131616

Hofmann, W., Schmeichel, B. J., & Baddeley, A. D. (2012). Executive functions and self-regulation. *Trends in Cognitive Sciences, 16*(3), 174-180. doi:10.1016/j.tics.2012.01.006

Kelley, W. M., Wagner, D. D., & Heatherton, T. F. (2015). In search of a human self-regulation system. *Annual Review of Neuroscience, 38*, 389-411. doi:10.1146/annurev-neuro-071013-014243

Kim, N. Y., Wittenberg, E., & Nam, C. S. (2017). Behavioral and neural correlates of executive function: Interplay between Inhibition and updating processes. *Frontiers in Neuroscience, 11*, 378. doi:10.3389/fnins.2017.00378

Liew, J. (2012). Effortful control, executive functions, and education: Bringing self-regulatory and social-emotional competencies to the table. *Child Development Perspectives, 6*, 105-111. doi:10.1111/J.1750-8606.2011.00196.X

Lyons, K. E., & Zelazo, P. D. (2011). Monitoring, metacognition, and executive function: Elucidating the role of self-reflection in the development of self-regulation. In J. B. Benson (Ed.), *Advances in child development and behavior* (vol. 40, pp. 379–412). Burlington: Elsevier Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-386491-8.00010-4

Mannion J. (2018) *Metacognition, self-regulation, oracy: A mixed methods case study of a complex, whole-school learning to learn intervention*. (Doctoral dissertation, University of Cambridge).

Mega, C., Ronconi, L., & De Beni, R. (2014). What makes a good student? How emotions, self-regulated learning, and motivation contribute to academic achievement. *Journal of Educational Psychology, 106*(1), 121-131. doi:10.1037/a0033546

Metcalfe J. (2017). Learning from errors. *Annual Review of Psychology, 68*, 465-489. doi:10.1146/annurev-psych-010416-044022

Metcalfe, J., & Schwartz, B. L. (2016). The ghost in the machine: Self-reflective consciousness and the neuroscience of metacognition. In J. Dunlosky & S. K. Tauber (Eds.), *Oxford Library of Psychology. The Oxford handbook of metamemory* (pp.407-424). Oxford, UK: Oxford University Press. doi:10.1093/oxfordhb/9780199336746.013.19

Moriguchi Y. (2014). The early development of executive function and its relation to social interaction: A brief review. *Frontiers in Psychology, 5*, 388. doi:10.3389/fpsyg.2014.00388

Nguyen, C. T. (2012). The roles of teachers in fostering autonomous learning at the university level. *Procedia – Social and Behavioral Sciences, 47*, 605-609. doi:10.1016/j.sbspro.2012.06.703

Panadero, E., Joensson, A., & Botella, J. (2017). Effects of self-assessment on self-regulated learning and self-efficacy: Four meta-analyses. *Educational Research Review, 22*, 74-98. doi:10.1016/J.EDUREV.2017.08.004

Ritchhart, R., & Perkins, D. (2008). Making thinking visible. *Educational Leardership, 65*(5), 57-61.

Roebers, C. M. (2017). Executive function and metacognition: Towards a unifying framework of cognitive self-regulation. *Developmental Review, 45*, 31-51. doi:10.1016/j.dr.2017.04.001

Roebers, C. M., & Feurer, E. (2016). Linking executive functions and procedural metacognition. *Child Development Perspectives, 10*(1), 39-44. doi:10.1111/cdep.12159

Schroder, H. S., Fisher, M. E., Lin, Y., Lo, S. L., Danovitch, J. H., & Moser, J. S. (2017). Neural evidence for enhanced attention to mistakes among school-aged children with a growth mindset. *Developmental Cognitive Neuroscience, 24*, 42-50. doi:10.1016/j.dcn.2017.01.004

Schroeder, N. L., Nesbit, J. C., Anguiano, C., & Adesope, O. O. (2018). Studying and constructing concept maps: A meta-analysis. *Educational Psychology Review, 30*(2), 431-455. doi:10.1007/S10648-017-9403-9

Sharma, R., Jain, A., Gupta, N., Garg, S., Batta, M., & Dhir, S. K. (2016). Impact of self-assessment by students on their learning. *International Journal of Applied and Basic Medical Research, 6*(3), 226-229. doi:10.4103/2229-516X.186961

Sierens, E., Vansteenkiste, M., Goossens, L., Soenens, B., & Dochy, F. (2008). The synergistic relationship of perceived autonomy support and structure in the prediction of self-regulated learning. *British Journal of Educational Psychology, 79*(1), 57-68. doi:10.1348/000709908X304398

Son, L. K., Furlonge, N. B., & Agarwal, P. K. (2020). *Metacognition: How to improve students' reflections on learning*. Retrievalpractice.org in collaboration with Barnard College and the Klingenstein Center, Teachers College, Columbia University, New York, NY. Recuperado de http://pdf.retrievalpractice.org/MetacognitionGuide.pdf

Vaccaro, A. G., & Fleming, S. M. (2018). Thinking about thinking: A coordinate-based meta-analysis of neuroimaging studies of metacognitive judgements. *Brain and Neuroscience Advances, 2*, 1-14. doi:10.1177/2398212818810591

Watkins, C., Carnell, E., Lodge, C., Wagner, P., & Whalley, C. (2001). Learning about learning enhances performance. *National School Improvement Network Bulletin, 13*, 1-9. Institute of Education, University of London.

Wride, M. (2017). *Guide to self-assessment*. Trinity College: University of Dublin. Recuperado de https://www.tcd.ie/CAPSL/Assets/pdf/Academic%20Practice%20Resources/Guide%20to%20Student%20Self%20Assessment%20March%202021.pdf.

Yan, Z. (2020). Self-assessment in the process of self-regulated learning and its relationship with academic achievement. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, *45*(2), 224-238. doi:10.1080/02602938.2019.1629390

Zelazo, P. D., & Carlson, S. M. (2012). Hot and cool executive function in childhood and adolescence: Development and plasticity. *Child Development Perspectives, 6*(4), 354-360. doi:10.1111/j.1750-8606.2012.00246.x

Zelazo, P.D., Blair, C. B., and Willoughby, M. T. (2016). *Executive function: Implications for Education*. (NCER 2017-2000) Washington, DC: National Center for Education Research, Institute of Education Sciences, U.S. Department of Education.

Zepeda, C. D., Richey, J. E., Ronevich, P., & Nokes-Malach, T. J. (2015). Direct instruction of metacognition benefits adolescent science learning, transfer, and motivation: An in vivo study. *Journal of Educational Psychology, 107*, 954-970. doi:10.1037/EDU0000022

Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory Into Practice, 41*(2), 64-70. doi:10.1207/s15430421tip4102_2

PRINCÍPIO 11: QUANDO O CORPO PARTICIPA, A APRENDIZAGEM É MAIS EFETIVA

Abrahamson, D., & Bakker, A. (2016). Making sense of movement in embodied design for mathematics learning. *Cognitive Research: Principles and Implications, 1*(1), 33. doi:10.1186/s41235-016-0034-3

Bahnmueller, J., Dresler, T., Ehlis, A. C., Cress, U., & Nuerk, H. C. (2014). NIRS in motion: Unraveling the neurocognitive underpinnings of embodied numerical cognition. *Frontiers in Psychology, 5*, 743, 1-5. doi:10.3389/fpsyg.2014.00743

Basso, J. C., & Suzuki, W. A. (2017). The effects of acute exercise on mood, cognition, neurophysiology, and neurochemical pathways: A review. *Brain Plasticity, 2*, 127-152. doi:10.3233/BPL-160040

Bidzam-Bluma, I., & Lipowska, M. (2018). Physical activity and cognitive functioning of children: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 15*(4), 800. doi:10.3390/ijerph15040800.

Cardona, J. F. (2017). Embodied cognition: A challenging road for clinical neuropsychology. *Frontiers in Aging Neuroscience, 9,* 388. doi:10.3389/fnagi.2017.00388

Coe, D. P., Pivarnik, J. M., Womack, C. J., Reeves, M. J., & Malina, R. M. (2006). Effect of physical education and activity levels on academic achievement in children. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 38*(8), 1515-1519. doi:10.1249/01.mss.0000227537.13175.1b

de Greeff, J. W., Bosker, R. J., Oosterlaan, J., Visscher, C., & Hartman, E. (2018). Effects of physical activity on executive functions, attention and academic performance in preadolescent children: A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport, 21*(5), 501-507. doi:10.1016/j.jsams.2017.09.595

Dijkerman, C., & Lenggenhager, B. (2018). The body and cognition: The relation between body representations and higher level cognitive and social processes. *Cortex, 104*, 133-139. doi:10.1016/j.cortex.2018.06.001

Doherty, A., & Miravalles, A. F. (2019). Physical activity and cognition: Inseparable in the classroom. *Frontiers in Education, 4*, 105. doi:10.3389/feduc.2019.00105

Donnelly, J. E., Hillman, C. H., Castelli, D., Etnier, J. L., Lee, S., Tomporowski, P., Lambourne, K., &. Szabo-Reed, A. N. (2016). Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: A systematic review. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 48*(6),1197-1222. doi:10.1249/MSS.0000000000000901.

Esteban-Cornejo, I., Tejero-Gonzalez, C. M., Sallis, J. F., & Veiga, O. L. (2015). Physical activity and cognition in adolescents: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport, 18*(5), 534-539. doi:10.1016/j.jsams.2014.07.007

Fugate, J. M. B., Macrine, S. L., & Cipriano, C. (2018). The role of embodied cognition for transforming learning. *International Journal of School & Educational Psychology, 7*(4), 274-288. doi:10.1080/21683603.2018.1443856

Goldin-Meadow, S. (2017). Using our hands to change our minds. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 8*(1-2), e1368. doi:10.1002/wcs.1368.

Halverson, E. R., & Sheridan, K. (2014). The maker movement in education. *Harvard Educational Review, 84*(4), 495-504. doi:10.17763/haer.84.4.34j1g68140382063

Hochman, J., & MacDermott-Duffy, B. (2015). Effective writing instruction: Time for a revolution. *Perspectives on Language and Literacy, 41*(2), 31-37.

Immordino-Yang, M. H., & Damasio, A. (2007). We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education. *Mind, Brain, and Education, 1*(1), 3-10. doi:10.1111/j.1751-228X.2007.00004.x

James, K. H. (2017). The importance of handwriting experience on the development of the literate brain. *Current Directions in Psychological Science, 26*(6), 502-508. doi:10.1177/0963721417709821

James, K. H., & Berninger, V. (2019). Brain research shows why handwriting should be taught in the computer age. *Learning Difficulties Australia Bulletin, 51*(1), 25-30.

Kiefer, M., & Trumpp, N. M. (2012). Embodiment theory and education: The foundations of cognition in perception and action. *Trends in Neuroscience and Education, 1*(1), 15-20. doi:10.1016/j.tine.2012.07.002

Kiverstein, J., & Miller, M. (2015). The embodied brain: Towards a radical embodied cognitive neuroscience. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*, 237. doi:10.3389/fnhum.2015.00237

Kontra, C., Lyons, D. J., Fischer, S. M., & Beilock, S. L. (2015). Physical experience enhances science learning. *Psychological Science, 26*(6), 737-749. doi:10.1177/0956797615569355

Kosmas, P., & Zaphiris, P. (2018). Embodied cognition and its implications in education: An overview of recent literature. *International Journal of Educational and Pedagogical Sciences, 12*(7), 970-976. doi:10.1999/1307-6892/10009334

Kosmas, P., Ioannou, A., & Zaphiris, P. (2018). Implementing embodied learning in the classroom: Effects on children's memory and language skills. *Educational Media International, 56(*1), 59-74. doi:10.1080/09523987.2018.1547948

Leisman, G., Moustafa, A. A., & Shafir, T. (2016). Thinking, walking, talking: Integratory motor and cognitive brain function. *Frontiers in Public Health, 4,* 94. doi:10.3389/fpubh.2016.00094

Leung, A. K. Y., Qui, L., Ong, L. S., & Tam, K. P. (2011). Embodied cultural cognition: Situating the study of embodied cognition in socio-cultural contexts. *Social and Personality Psychology Compass, 5*(9), 591-608. doi:10.1111/j.1751-9004.2011.00373.x

Macedonia, M. (2019). Embodied learning: Why at school the mind needs the body. *Frontiers in. Psychology, 10*, 2098. doi:10.3389/fpsyg.2019.02098

Mavilidi, M. F., Okely, A. D., Chandler, P., Cliff, D. P., & Paas, F. (2015). Effects of integrated physical exercises and gestures on preschool children's foreign language vocabulary learning. *Educacional Psychology Review, 27*(3), 413-426. doi:10.1007/s10648-015-9337-z

Mavilidi, M. F., Ruiter M., Schmidt, M., Okely, A. D., Loyens, S., Chandler, P., & Paas, F. (2018). A narrative review of school-based physical activity for enhancing cognition and learning: The importance of relevancy and integration. *Frontiers in Psychology, 9*, 2079. doi:10.3389/fpsyg.2018.02079

Meeusen, R., Schaefer, S., Tomporowski, P., & Bailey, R. (2017). *Physical activity and educational achievement: Insights from exercise neuroscience*. Nova York: Routledge.

Montes, J. L. (2012). *El cerebro y la educación: Neurobiología del aprendizaje*. Santiago de Chile: Taurus.

Mueller, P. A., & Oppenheimer, D. M. (2014). The pen is mightier than the keyboard: Advantages of longhand over laptop note taking. *Psychological Science, 25*(6), 1159-1168. doi:10.1177/0956797614524581

Pessoa, L. (2014). Understanding brain networks and brain organization. *Physics of Life Reviews, 11*(3), 400-435. doi:10.1016/j.plrev.2014.03.005

Price, T. F., Peterson, C. K., & Harmon-Jones, E. (2012). The emotive neuroscience of embodiment. *Motivation and Emotion, 36*, 27-37. doi:10.1007/s11031-011-9258-1

Roffey, T., Sverko, C., & Therien, J. (2016). The making of a makerspace: Pedagogical and physical transformations of teaching and learning. *Curriculum Guide: ETEC 510*, 1-41. Recuperado de http://www.makerspaceforeducation.com/uploads/4/1/6/4/41640463/makerspace_for_education_curriculum_guide.pdf

Santangelo, T., & Graham, S. (2016). A comprehensive meta-analysis of handwriting instruction. *Educational Psychology Review, 28*(2), 225-265. doi:10.1007/s10648-015-9335-1

Savina, E., Garrity, K., Kenny, P., & Doerr, C. (2016). The benefits of movement for youth: A whole child approach. *Contemporary School Psychology, 20*(3), 282-292. doi:10.1007/s40688-016-0084-z

Schmidt, M., Benzing, V., Wallman-Jones, A., Mavilidi, M. F., Lubans, D. R., & Paas, F. (2019). Embodied learning in the classroom: Effects on primary school children's attention and foreign language vocabulary learning. *Psychology of Sport & Exercise, 43*, 45-54. doi:10.1016/j.psychsport.2018.12.017

Shapiro, L., & Stolz, S. A. (2019). Embodied cognition and its significance for education. *Theory and Research in Education, 17*(1), 19-39. doi:10.1177/1477878518822149

Skulmowski, A., & Rey, G. D. (2018). Embodied learning: Introducing a taxonomy based on bodily engagement and task integration. *Cognitive Research: Principles and Implications, 3*(1), 6. doi:10.1186/s41235-018-0092-9

Szucs, D., & Goswami, U. (2007). Educational Neuroscience: Defining a new discipline for the study of mental representations. *Mind, Brain and Education, 1*(3), 114-127. doi:10.1111/j.1751-228X.2007.00012.x

van der Kamp, J., Withagen, R., & Orth, D. (2019). On the education about/of radical embodied cognition. *Frontiers in Psychology, 10,* 2378. doi:10.3389/fpsyg.2019.02378

van der Meer, A. L. H., &; van der Weel, F. R. (2017). Only three fingers write, but the whole brain works: A high-density EEG study showing advantages of drawing over typing for learning. *Frontiers in Psychology, 8,* 706. doi:10.3389/fpsyg.2017.00706

Weisberg, S. M., & Newcombe, N. S. (2017). Embodied cognition and STEM learning: Overview of a topical collection in CR-PI. *Cognitive Research: Principles and Implications, 2*(1), 38. doi:10.1186/s41235-017-0071-6

Yoo, J., & Loch, S. (2016). Learning bodies: What do teachers learn from embodied practice? *Issues in Educational Research, 26*(3), 528-542.

PRINCÍPIO 12: A CRIATIVIDADE REORGANIZA MÚLTIPLAS CONEXÕES CEREBRAIS E EXERCITA O CÉREBRO APRENDIZ

Aberg, K. C., Doell, K. C., & Schwartz, S. (2017). The "creative right brain" revisited: Individual creativity and associative priming in the right hemisphere relate to hemispheric asymmetries in reward brain function. *Cerebral Cortex, 27*(10), 4946-4959. doi:10.1093/cercor/bhw288

Abraham, A. (2013). The promises and perils of the neuroscience of creativity. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*, 246. doi:10.3389/fnhum.2013.00246

Abrahan, V. D., & Justel, N. (2019). Creatividad: Una revisión descriptiva sobre nuestra capacidad de invención e innovación. *Revista CES Psicología, 12*(3), 35-49. doi:10.21615/cesp.12.3.3

Amaral, A. L. (2011). *A constituição da aprendizagem criativa no processo de desenvolvimento da subjetividade*. (Doctoral dissertation. Universidade de Brasília).

Baas, M., Nijstad, B. A., & De Dreu, C. K. W. (2015). The cognitive, emotional and neural correlates of creativity. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*, 275. doi:10.3389/fnhum.2015.00275

Barbot, B., Besançon, M., & Lubart, T. (2015). Creative potential in educational settings: Its nature, measure, and nurture. *Education 3-13, 43*(4), 371-381. doi:10.1080/03004279.2015.1020643

Beaty, R. E. (2020). The creative brain. *Cerebrum: The Dana Forum on Brain Science, 2020,* cer-02-20.

Beaty, R. E., Benedek, M., Kaufman, S. B., & Silvia, P. J. (2015). Default and executive network coupling supports creative idea production. *Scientific Reports, 5*, 10964. doi:10.1038/srep10964

Beaty, R. E., Benedek, M., Silvia, P. J., & Schacter, D. L. (2016). Creative cognition and brain network dynamics. *Trends in Cognitive Sciences, 20*(2), 87-95. doi:org/10.1016/j.tics.2015.10.004

Beaty, R. E., Benedek, M., Wilkins, R. W., Jauk, E., Fink, A., Silvia, P. J., Hodges, D. A., Koschutnig, K., & Neubauer, A. C. (2014). Creativity and the default network: A functional connectivity analysis of the creative brain at rest. *Neuropsychologia, 64*, 92-98. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2014.09.019

Beaty, R. E., Chen, Q., Christensen, A. P., Qiu, J., Silvia, P. J., & Schacter, D. L. (2018). Brain networks of the imaginative mind: Dynamic functional connectivity of default and cognitive control networks relates to openness to experience. *Human Brain Mapping, 39*(2), 811-821. doi:10.1002/hbm.23884

Beaty, R. E., Kenett, Y. N., Christensen, A. P., Rosenberg , M. D., Benedek, M., Chen, Q., Fink, A., Qiu, J., Kwapil, T. R., Kane, M. J., & Silvia, P. J. (2018). Robust prediction of individual creative ability from brain functional connectivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 115*(5), 1087-1092. doi:10.1073/pnas.1713532115

Beaty, R. E., Thakral, P. P., Madore, K. P., Benedek, M., & Schacter, D. L. (2018). Core network contributions to remembering the past, imagining the future, and thinking creatively. *Journal of Cognitive Neuroscience, 30*(12), 1939-1951. doi:10.1162/jocn_a_01327

Benedek, M., & Fink, A. (2019). Toward a neurocognitive framework of creative cognition: The role of memory, attention, and cognitive control. *Current Opinion in Behavioral Sciences, 27*, 116-122. doi:10.1016/j.cobeha.2018.11.002

Blazhenkova, O., & Kozhevnikov, M. (2016). Types of creativity and visualization in teams of different educational specialization. *Creativity Research Journal, 28*(2), 123-135. doi: 10.1080/10400419.2016.1162638

Bloom, L., & Dole, S. (2018). Creativity in education: A global concern. *Global Education Review, 5* (1), 1-4.

Boccia M., Piccardi, L., Palermo, L., Nori, R., & Palmiero, M. (2015). Where do bright ideas occur in our brain? Meta-analytic evidence from neuroimaging studies of domain-specific creativity. *Frontiers in Psychology, 6*, 1195. doi:10.3389/fpsyg.2015.01195

BRASIL. Ministério da Educação. (2017). Base Nacional Comum Curricular: Educação é a base. Recuperado de http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf.

Buckner, R. L., Andrews-Hanna, J. R., & Schacter. D. L. (2008). The brain's default network: Anatomy, function, and relevance to disease. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1124*(1), 1-38. doi:10.1196/annals.1440.011

Chakravarty, A. (2010). The creative brain: Revisiting concepts. *Medical Hypotheses, 74*(3), 606-612. doi:10.1016/j.mehy.2009.10.014

Corballis, M. C., & Häberling, I. S. (2017). The many sides of hemispheric asymmetry: A selective review and outlook. *Journal of the International Neuropsychological Society, 23*(9-10), 710-718. doi:10.1017/S1355617717000376

Darbellay, F., Moody, Z., & Lubart, T. (2017). *Creativity, design thinking and interdisciplinarity*. Singapore: Springer Nature. doi:10.1007/978-981-10-7524-7

Dietrich, A., & Haider, H. (2017). A neurocognitive framework for human creative thought. *Frontiers in Psychology, 7*, 2078. doi:10.3389/fpsyg.2016.02078

Ellamil, M., Dobson, C., Beeman, M., & Christoff, K. (2012). Evaluative and generative modes of thought during the creative process. *NeuroImage, 59*(2) (2012) 1783-1794. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.08.008

Feng, Q., He, L., Yang, W., Zhang, Y., Wu, X., & Qiu, J. (2019). Verbal creativity is correlated with the dynamic reconfiguration of brain networks in the resting state. *Frontiers in Psychology, 10*, 894. doi:10.3389/fpsyg.2019.00894

Fink, A., Benedek, M., Grabner, R. H., Staudt, B., & Neubauer, A. C. (2007). Creativity meets neuroscience: Experimental tasks for the neuroscientific study of creative thinking. *Methods, 42*(1), 68-76. doi:10.1016/j.ymeth.2006.12.001

Fink, A., Benedek, M., Koschutnig, K., Papousek, I., Weiss, E. M., Bagga, D., & Schöpf, V. (2018). Modulation of resting-state network connectivity by verbal divergent thinking training. *Brain and Cognition, 128*, 1-6. doi:10.1016/j.bandc.2018.10.008

Fink, A., Grabner, R. H., Gebauer, D. Reishofer, G. Koschutnig, K., & Ebner, F. (2010). Enhancing creativity by means of cognitive stimulation: Evidence from an fMRI study. *NeuroImage, 52*(4), 1687-1695. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.05.072

Fogarty L., Creanza, N., & Feldman, M. W. (2015). Cultural evolutionary perspectives on creativity and human innovation. *Trends in Ecology & Evolution, 30*(12), 736-754. doi:10.1016/j.tree.2015.10.004

Gajdamaschko, N. (2005). Vygotsky on imagination: Why an understanding of the imagination is an important issue for schoolteachers. *Teaching Education, 16*(1), 13-22. doi:10.1080/1047621052000341581

Gotlieb, R. J. M., Hyde, E., Immordino-Yang, M. H., & Kaufman, S. B. (2018). Imagination is the seed of creativity. In J. Kaufman, & R. Sternberg (Eds.). *The Cambridge Handbook of Creativity* (Cambridge Handbooks in Psychology, pp.709-731). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781316979839.036

Gu, S., Gao, M., Yan, Y., Wang, F., Tang, Y. Y., & Huang, J. H. (2018). The neural mechanism underlying cognitive and emotional processes in creativity. *Frontiers in Psychology, 9*, 1924. doi:10.3389/fpsyg.2018.01924

Khalil, R., Godde, B., & Karim, A. A. (2019). The link between creativity, cognition, and creative drives and underlying neural mechanisms. *Frontiers in Neural Circuits, 13*, 18. doi:10.3389/fncir.2019.00018

Kleibeuker, S. W., Stevenson, C. E., van der Aar, L., Overgaauw, S., van Duijvenvoorde, A. C., & Crone, E. A. (2017). Training in the adolescent brain: An fMRI training study on divergent thinking. *Developmental Psychology, 53*(2) 353-365. doi:10.1037/dev0000239

Kounios, J., & Beeman. M. (2014). The cognitive neuroscience of insight. *Annual Review of Psychology, 65*, 71-93. doi:10.1146/annurev-psych-010213-115154

Lindell, A. K. (2011). Lateral thinkers are not so laterally minded: Hemispheric asymmetry, interaction, and creativity. *Laterality, 16*(4), 479-498. doi:10.1080/1357650X.2010.497813

Lindqvist, G. (2003). Vygotsky's theory of creativity. *Creativity Research Journal, 15*(2-3), 245-251. doi:10.1080/10400419.2003.9651416

Madore, K. P., Thakral, P. P., Beaty, R. E., Addis, D. R., & Schacter, D. L. (2019). Neural mechanisms of episodic retrieval support divergent creative thinking. *Cerebral Cortex, 29(*1), 150-166. doi:10.1093/cercor/bhx312

Plucker, J., & Zabelina, D. (2009). Creativity and interdisciplinarity: One creativity or many creativities? *ZDM Mathematics Education, 41*(1), 5-11. doi:10.1007/s11858-008-0155-3

Raravi, P., & Madhusudan, H. K. (2017). Enhancing constructive learning by integrating theory and practice. *Journal of Engineering Education Transformations, 30*(3), 340-345.

Raymond, S. M. (2017). Neural foundations of creativity: A systematic review. *Revista Colombiana de Psiquiatría, 46*(3), 187-192.

Ren, Z., Yang, W., & Qiu, J. (2018). Neural and genetic mechanisms of creative potential. *Current Opinion in Behavioral Sciences, 27*, 40-46. doi:10.1016/j.cobeha.2018.09.003 2

Ritter, S. M., & Dijksterhuis, A. (2014). Creativity: The unconscious foundations of the incubation period. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 215. doi:10.3389/fnhum.2014.00215

Ritter, S. M., Gu, X., Crijns, M., & Biekens, P. (2020). Fostering students' creative thinking skills by means of a one-year creativity training program. *PloS One, 15*(3), e0229773. doi:10.1371/journal.pone.0229773

Robinson, K., & Aronica, L. (2013). *Finding your element: How to discover your talents and passions and transform your life*. Nova York: Penguin Books.

Runco, M. A. (2003). Education for creative potential. *Scandinavian Journal of Educational Research, 47*(3), 317-324. doi:10.1080/00313830308598

Saggar, M., Xie, H., Beaty, R. E., Stankov, A. D., Schreier, M., & Reiss, A. L. (2019). Creativity slumps and bumps: Examining the neurobehavioral basis of creativity development during middle childhood. *NeuroImage, 196*, 94-101. doi:10.1016/j.neuroimage.2019.03.080

Sawyer, K. (2011). The cognitive neuroscience of creativity: A critical review. *Creativity Research Journal, 23*(2), 137-154. doi:10.1080/10400419.2011.571191

Schacter, D. L., Addis, D. R., Hassabis, D., Martin, V. C., Spreng, R. N., & Szpunar, K. K. (2012). The future of memory: Remembering, imagining, and the brain. *Neuron, 76*(4), 677-694. doi:10.1016/j.neuron.2012.11.001.

Seeley, W. W. (2019). The salience network: A neural system for perceiving and responding to homeostatic demands. *Journal of Neuroscience, 39*(50), 9878-9882. doi:10.1523/JNEUROSCI.1138-17.2019

Sicherl-Kafol, B., & Denac, O. (2010). The importance of interdisciplinary planning of the learning process. *Procedia Social and Behavioral Sciences, 2*(2), 4695-4701. doi:10.1016/j.sbspro.2010.03.752

Stevenson, C. E., Kleibeuker, S. W., de Dreu, C. K. W., & Crone, E. A. (2014). Training creative cognition: Adolescence as a flexible period for improving creativity. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*, 827. doi:10.3389/fnhum.2014.00827

Sun, J., Chen, Q., Zhang, Q., Li, Y., Li, H., Wei, D., Yang, W., & Qiu, J. (2016). Training your brain to be more creative: Brain functional and structural changes induced by divergent thinking training. *Human Brain Mapping, 37*(10), 3375-3387. doi.10.1002/hbm.23246

Wang, D., Buckner, R. L., & Liu, H. (2014). Functional specialization in the human brain estimated by intrinsic hemispheric interaction. *Journal of Neuroscience, 34*(37):12341-12352. doi:10.1523/JNEUROSCI.0787-14.2014

Xue, H., Lu, K., & Hao, N. (2018). Cooperation makes two less-creative individuals turn into a highly-creative pair. *NeuroImage, 172*, 527-537. doi:10.1016/j.neuroimage.2018.02.007

Zabelina, D. L., & Ganis, G. (2018). Creativity and cognitive control: Behavioral and ERP evidence that divergent thinking, but not real-life creative achievement, relates to better cognitive control. *Neuropsychologia, 118*, 20-28. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2018.02.014

Zabelina, D. L., Colzato, L., Beeman, M., & Hommel, B. (2016). Dopamine and the creative mind: Individual differences in creativity are predicted by interactions between dopamine genes DAT and COMT. *PloS One, 11*(1), e0146768. doi:10.1371/journal.pone.0146768

Zaidel, D. W. (2014). Creativity, brain, and art: Biological and neurological considerations. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*, 389. doi:10.3389/fnhum.2014.00389

Zhou, Z. (2018). What cognitive neuroscience tells us about creativity education: A literature review. *Global Education Review, 5* (1), 20-34.

CAPÍTULO 7 – OLHANDO PARA O FUTURO DA APRENDIZAGEM

African Development Bank, Asian Development Bank, European Bank for Reconstruction and Development, & Banco Interamericano de Desarrollo. (2018). *El futuro del trabajo: perspectivas regionales*. Washington D. C.: Inter-American Development Bank.

Al-Azawi, R., Albadi, A., Moghaddas, R, & Westlake, J. (2019). Exploring the potential of using augmented reality and virtual reality for STEM education. In L. Uden, D. Liberona, G. Sanchez, & S. Rodríguez-González (Eds.), *Learning technology for education challenges* (8th International Workshop, LTEC 2019, Zamora, Spain, July 15-18, 2019, Proceedings, Book Series: Communications in Computer and Information Science, 36-44). Cham, SWI: Springer. doi:10.1007/978-3-030-20798-4

Au, R. C. P., Watkins, D. A., & Hattie, J. (2010). Academic risk factors and deficits of learned hopelessness: A longitudinal study of Hong Kong secondary school students. *Educational Psychology, 30*(2), 125-138. doi:10.1080/01443410903476400

Australian Government. (2017). *Australia 2030: Prosperity through innovation*. Australia: Canberra.

Baron, N. S. (2017). Reading in a digital age. *Phi Delta Kappan, 99*(2), 15-20. doi:10.1177/0031721717734184

Bauman, Z. (2001). *Modernidade líquida*. São Paulo: Jorge Zahar Editor.

Becker, S. A., Freeman, A., Hall, C. G., Cummins, M., & Yuhnke, B. (2016). *NMC/CoSN Horizon Report: 2016 K-12 Edition*. Austin, Texas: The New Media Consortium.

Bittar, M. (2009). *História da educação: Da antiguidade à época contemporânea*. São Carlos: EdUFSCar.

Blanco, I. F., & Carvalho, A. P. L. C. (2017). Máquinas que aprendem: O que nos ensinam? In R. Lent, A. Buchweitz, & M. B. Mota, (Orgs.). *Ciência para a educação: Uma ponte entre dois mundos*. São Paulo: Atheneu.

Blazar, D., & Kraft, M. A. (2017). Teacher and teaching effects on students' attitudes and behaviors. *Educational Evaluation and Policy Analysis, 39*(1), 146-170. doi: 10.3102/0162373716670260.

Börner, K., Scrivner, O., Gallant, M., Ma, S., Liu, X., Chewning, K., Wu, L., & Evans, J. A. (2018). Skill discrepancies between research, education, and jobs reveal the critical

need to supply soft skills for the data economy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *115*(50), 12630-12637. doi:org/10.1073/pnas.1804247115

Brasil. (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm.

Braund, M., & Reiss, M. J. (2019). The 'great divide': How the arts contribute to science and science education. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, *19*, 219 –236. doi:10.1007/s42330-019-00057-7.

Brosch, T., Scherer, K. R., Grandjean, D., & Sander, D. (2013). The impact of emotion on perception, attention, memory, and decision-making. *Swiss Medical Weekly, 143*, w13786. doi:10.4414/smw.2013.13786.

Bull, A., & Gilbert, J. (2012). *Swimming out of our depth: leading learning in 21st century schools.* New Zealand: New Zealand Council for Educational Research.

Chen, Q., Beaty, R. E., Wei, D., Yang, J., Sun, J., Liu, W., Yang, W., Zhang, Q., & Qiu, J. (2016). Longitudinal alterations of frontoparietal and frontotemporal networks predict future creative cognitive ability. *Cerebral Cortex, 28*(1), 103-115. doi:10.1093/cercor/bhw353

Chernyshenko, O., Kankaraš, M., & Drasgow, F. (2018). *Social and emotional skills for student success and wellbeing: Conceptual framework for the OECD study on social and emotional skills*, OECD Education Working Papers, No. 173, OECD Publishing, Paris. doi:10.1787/db1d8e59-en

Chiappe, A., Samper, A. M. T., Wills, A. E., & Restrepo, I. (2020). Rethinking 21st century schools: The quest for lifelong learning ecosystems. *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação, 28*(107), 521-544. doi:10.1590/S0104-40362019002702138.

Ching, Y. H., Hsu, Y. C., & Baldwin, S. (2018). Developing computational thinking with educational technologies for young learners. *Tech Trends, 62*(6), 563-573. doi:10.1007/s11528-018-0292-7.

Clark, R. C., &. Mayer, R. E. (2008). Learning by viewing versus learning by doing: Evidence-based guidelines for principled learning environments. *Performance Improvement, 47*(9), 5-13. doi:10.1002/pfi.20028

Dewey, J. (2002). *A Escola e a Sociedade. A Criança e o Currículo*. Lisboa: Relógio D'Água.

Duncan, S., & Barrett, L. F. (2007). Affect is a form of cognition: A neurobiological analysis. *Cognition & Emotion, 21*(6), 1184-1211. doi:10.1080/02699930701437931.

Dweck, C. S. (2017, setembro 26). Growth mindset and the future of our children. *Parents League Review*. Recuperado de https://www.parentsleague.org/blog/growth-mindset-and-future-our-children.

Dweck, C. S. (2017). *Mindset: a nova psicologia do sucesso*. São Paulo: Objetiva.

European Comission, Education, Audiovisual and Culture Executive Agency – EACEA, & Eurydice. (2019). *Digital education at school in Europe*. Eurydice Report. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2797/763.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. (2019). *The state of food security and nutrition in the world 2019: Safeguarding against economic slowdowns and downturns*. Rome: FAO.

Freire, P. (1996). *Pedagogia da autonomia: Saberes necessários à prática educativa*. São Paulo: Paz e Terra.

Galán, J. G. (2017). Educational architecture and emerging technologies: Innovative classroom models. *Revista Educativa Hekademos, 22,* 7-18.

García-Peñalvo, F. J., & Mendes, A. J. (2018). Exploring the computational thinking effects in pre-university education. *Computers in Human Behavior, 80*, 407-411. doi:10.1016/j.chb.2017.12.005.

Gipple, J. (2020). *The learning ecosystem*. Washington: ICS Learning Group.

Google for education. (2020). *O futuro da sala de aula*. Recuperado de https://edu.google.com/latest-news/future-of-the-classroom/?modal_active=none.

Gordon Commission. (2013). *To Assess, to teach, to learn: A vision for the future of assessment*. Princeton: The Gordon Commission on the Future of Assessment in Education.

Hannon, V., Patton, A., & Temperley, J. (2011). *Developing an innovation ecosystem for education.* California: Innovation Unit for Global Education, Cisco Systems, Inc.

Harris, A., & de Bruin, L. R. (2018). Secondary school creativity, teacher practice and STEAM education: An international study. *Journal of Educational Change, 19*, 153-179. doi:10.1007/s10833-017-9311-2.

Hod, Y. (2017). Future learning spaces in schools: Concepts and designs from the learning sciences. *Journal of Formative Design in Learning.* doi:10.1007/s41686-017-0008-y.

Hsu, H. P., Wenting, Z., & Hughes, J. E. (2018). Developing elementary students' digital literacy through augmented reality creation: Insights from a longitudinal analysis of questionnaires, interviews, and projects. *Journal of Educational Computing Research, 57*, 1400-1435. doi:10.1177/0735633118794515

Hurst, B., Wallace, R., & Nixon, S. B. (2013). The impact of social Interaction on student learning. *Reading Horizons, A Journal of Literacy and Language Arts, 52*(4), 375-398. Recuperado de https://scholarworks.wmich.edu/reading_horizons/vol52/iss4/5

Immordino-Yang, M. H., & Sylvan, L. (2010). Admiration for virtue: Neuroscientific perspectives on a motivating emotion. *Contemporary Educational Psychology, 35*(2),110-115. doi:10.1016/j.cedpsych.2010.03.003.

Immordino-Yang, M.H., & Damasio, A. (2007). We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education. *Mind, Brain and Education, 1*(1), 3-10. doi:10.1111/j.1751-228X.2007.00004.x

International Labour Office. (2013). *Global employment trends for youth 2013: A generation at risk.* Geneva: International Labour Organization.

Jensen, B., Sonnemann, J., Roberts-Hull, K., & Hunter, A. (2016). *Beyond PD: Teacher professional learning in high-performing systems.* Washington, D.C.: National Center on Education and the Economy.

Jones, L. M., & Mitchell, K. J. (2016). Defining and measuring youth digital citizenship. *New Media & Society, 18*(9), 2063-2079. doi:10.1177/1461444815577797.

Kamecka, M. (2007). Educating and passing knowledge: The role of private tutors in the formation of polish youth of noble origins in the sixteenth to eighteenth centuries. *Paedagogica Historica, 43*(4), 509-523. doi:10.1080/00309230701437841.

Kong, S. C., Abelson, H., & Lai, M. (2019). Introduction to computational thinking education. In Kong, S. C., & Abelson, H. (eds.), *Computational Thinking Education* (pp 1-10). Singapore: Springer. doi:10.1007/978-981-13-6528-7_1.

Konopka, C. L., Adaime, M. B., & Mosele, P. H. (2015). Active teaching and learning methodologies: Some considerations. *Creative Education, 6*(14), 1536-1545. doi:10.4236/ce.2015.614154.

Korte, M., & Schmitz, D. (2016). Cellular and system biology of memory: Timing, molecules, and beyond. *Physiological Reviews, 96*(2), 647-693. doi:10.1152/physrev.00010.2015

Kuhlmann, J. (2019). The role of the teacher in a personalized, competency-based classroom. Knowledgeworks. Cincinnati: Knowledgeworks. Recuperado de https://knowledgeworks.org/resources/role-teacher-personalized-competency-based-classroom/

Lechner, C. M., Anger, S., & Rammstedt, B. (2019). Socioemotional skills in education and beyond: Recent evidence and future research avenues. In R. Becker (ed.), *Research Handbook on Sociology of Education.* London, UK: Edward Elgar Publishing.

Loh, K. K., & Kanai, R. (2016). How has the internet reshaped human cognition? *The Neuroscientist, 22*(5), 506-520. doi:10.1177/1073858415595005

Meltzoff, A. N., Kuhl, P. K., Movellan, J., & Sejnowski, T. J. (2009). Foundations for a new science of learning. *Science, 325*(5938), 284-289. doi:10.1126/science.1175626.

Merga, M. K., & Roni, S. M. (2017). The influence of access to eReaders, computers and mobile phones on children's book reading frequency. *Computers & Education, 109*, 187-196. doi:10.1016/j.compedu.2017.02.016.

Middaugh, E., Clark, L. S., & Ballard, P. J. (2017). Digital media, participatory politics, and positive youth development. *Pediatrics, 140*(Supplement 2), S127-S131. doi:10.1542/peds.2016-1758Q.

Miller, G. (2012). Why are you and your brain unique? *Science, 338*(6103), 35-36. doi:10.1126/science.338.6103.35

Montessori, M. (2003). *Para educar o potencial humano*. São Paulo: Papirus.

Mueller, S., & Toutain, O. (2015). *The outward looking school and its ecosystem. Entrepreneurship 360. Thematic paper,* OECD/LEED Programme/European Commission.

NCCA - National Council for Curriculum and Assessment. (2018). *Investigation of curriculum policy on coding in six jurisdictions.* Ireland: NCCA.

Neri, M. C. (2009). *O tempo de permanência na escola e as motivações dos sem-escola.* Rio de Janeiro: FGV/IBRE/CPS.

Northey, G., Govind, R., Bucic,T., Chylinski, M., Dolan, R., & van Esch, P. (2018). The effect of "here and now" learning on student engagement and academic achievement. *British Journal of Educational Technology, 49*(2), 321-333. doi:10.1111/bjet.12589.

OCDE. (2019). *PISA 2018 Results (Volume I): What students know and can do*. PISA, OECD Publishing, Paris. doi:10.1787/5f07c754-en

Official Norwegian Reports. (2015). *The school of the future: Renewal of subjects and competences*. Norway: Official Norwegian Reports. Recuperado de https://www.regjeringen.no/contentassets/da148fec8c4a4ab88daa8b677a700292/en-gb/pdfs/nou-201520150008000engpdfs.pdf

Pearson. (2019). *The Global Learner Survey*. Inglaterra: Pearson.

Peterson, A., Dumont, H., Lafuente, M., & Law, N. (2018). *Understanding innovative pedagogies: Key themes to analyse new approaches to teaching and learning.* OECD Education Working Papers, No.172, OECD Publishing, Paris. doi:10.1787/9f843a6e-en

Pew Research Center. (2014). *Religious hostilities reach six-year high.* Washington, D.C.: Pew Research Center.

Piaget, J., & Inhelder, B. (1990). *A psicologia da criança*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

Porcheddu, A. (2009). Zygmunt Bauman: Entrevista sobre a educação. Desafios pedagógicos e modernidade líquida. *Cadernos de Pesquisa, 39*(137), 661-684.

Richardson, J. (2018, maio 20). *Augmented reality could rule the classrooms of the future.* [Blog] Recuperado de https://bigthink.com/jake-richardson/augmented-reality-could-rule-the-classrooms-of-the-future.

Ritter, S. M., Gu, X., Crijns, M., & Biekens, P. (2020). Fostering students' creative thinking skills by means of a one-year creativity training program. *PloS One, 15*(3), e0229773. doi:10.1371/journal.pone.0229773

Roorda, D. L., Jak, S., Zee, M., & Oort, F. J. (2017). Affective teacher: Student relationships and students' engagement and achievement: A meta-analytic update and test of the mediating role of engagement. *School Psychology Review, 46*(3), 239-261. doi:10.17105/SPR-2017-0035.V46-3.

Root-Bernstein, R., Allen, L., Beach, L., Bhadula, R., Fast, J., Hosey, C., Kremkow, B., Lapp, J., Lonc, K., Pawelec, K., Podufaly, A., Russ, C., Tennant, L., Vrtis, E., & Weinlander, S. (2008). Arts foster scientific success: Avocations of Nobel, National Academy, Royal Society, and Sigma Xi members. *Journal of Psychology of Science and Technology, 1*(2), 51-63. doi:10.1891/1939-7054.1.2.51

Sakata, S., & Kumano, Y. (2018). Attempting STEM education in informal japanese educational facilities through the theme of "sand". *K-12 STEM Education, 4*(4), 401-411.

Schleicher, A. (2012). (Ed.) *Preparing teachers and developing school leaders for the 21st century: Lessons from around the world*. OECD Publishing. http://dx.doi.org/10.1787/9789264xxxxxx-en

Schleicher, A. (2019). *PISA 2018: Insights and Interpretations*. Paris: OECD.

Scott, C. L. (2015). *The futures of learning 1: Why must learning content and methods change in the 21st century*? UNESCO Education Research and Foresight, Paris. [ERF Working Papers Series, No. 13].

Scott, C. L. (2015). *The futures of learning 3: What kind of pedagogies for the 21st century?* UNESCO Education Research and Foresight, Paris. [ERF Working Papers Series, No. 15].

Seaton, F. S. (2017). Empowering teachers to implement a growth mindset. *Educational Psychology in Practice, 34*(1), 41-57. doi:10.1080/02667363.2017.1382333.

Siarova, H., Sternadel, D., & Mašidlauskaitė, R. (2017). *Assessment practices for 21st century learning: Review of evidence*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2766/71491.

Sicherl-Kafol, B., & Denac, O. (2010). The importance of interdisciplinary planning of the learning process. *Procedia Social and Behavioral Sciences, 2*(2), 4695-4701. doi:10.1016/j.sbspro.2010.03.752.

Soland, J., Hamilton, L. S., & Stecher, B. M. (2013). *Measuring 21st century competencies: Guidance for educators*. Califórnia: Rand Corporation.

Strelan, P., Osborn, A., & Palmer, E. (2020). The flipped classroom: A meta-analysis of effects on student performance across disciplines and education levels. *Educational Research Review, 30*, 100314. doi:10.1016/j.edurev.2020.100314

Swanson, J. (2015). *Certifying skills and knowledge: Four scenarios on the future of credentials*. Cincinnati, OH: KnowledgeWorks.

Tawil, S. (2013). Two roads ahead for education: Which one should we take? *DVV International, 80*(1), 115-119. Recuperado de https://www.dvv-international.de/en/adult-education-and-development/editions/aed-802013-post-2015/articles/two-roads-ahead-for-education-which-one-should-we-take/

Teixeira, A. (1969). *Educação e o mundo moderno*. São Paulo: Companhia Nacional.

Tortell, P. D. (2020). Earth 2020: Science, society, and sustainability in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 117* (16) 8683-8691. doi:org/10.1073/pnas.2001919117.

Tuomi, I. (2018). *The impact of artificial intelligence on learning, teaching, and education: Policies for the future*. M. Cabrera, R. Vuorikari, & Y. Punie (Eds.). JRC Science for Policy Report, EUR 29442 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-79-97257-7, doi:10.2760/12297, JRC113226.

Ullman, S. (2019). Using neuroscience to develop artificial intelligence. *Science, 363*(6428), 692-693. doi:10.1126science.aau6595.

UNESCO. (2015). *Rethinking Education: Towards a global common good?* Paris: UNESCO.

UNICEF. (2017). *Children in a digital world*. Nova York: UNICEF.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (2019). Cátedra De Educação Básica. Ciclo Ação e Formação do Professor. São Paulo: USP.

Van der Velde, F. (2010). Where artificial intelligence and neuroscience meet: The search for grounded architectures of cognition. *Advances in Artificial Intelligence, 2010*, 918062, 1-18. doi:10.1155/2010/918062.

Vygotsky, L. S. (2003). *Psicologia Pedagógica*. Porto Alegre: Artmed.

Wolf, M., & Barzillai, M. (2009). The importance of deep reading. *Educational Leadership*, *66*(6), 32-37.

World Economic Forum. (2018). *The future of jobs report*. Geneva: WEF.

Xue, H., Lu, K., & Hao, N. (2018). Cooperation makes two less-creative individuals turn into a highly-creative pair. *NeuroImage, 172*, 527-537. doi:10.1016/j.neuroimage.2018.02.007

Yano, K. (2013). The science of human interaction and teaching. *Mind, Brain, and Education, 7*(1), 19-29. doi:10.1111/mbe.12003



GLOSSÁRIO

Amígdala cerebral. Conjunto de neurônios localizado na parte anterior do lobo temporal. Processa emoções, atribui valor positivo ou negativo a um estímulo e detecta ameaças.

Área pré-frontal. Porção mais anterior do lobo frontal envolvida com a seleção e o planejamento do comportamento, tomada de decisão e memória. *Ver* **Córtex pré-frontal**.

Áreas corticais. Diversas regiões do córtex cerebral. *Ver* **Córtex cerebral**.

Áreas subcorticais. Todas as estruturas do encéfalo que contêm neurônios que não estão no córtex cerebral. *Ver* **Tálamo**, **Núcleos da base**, **Cerebelo**, **Córtex cerebral**.

Axônio. Prolongamento do neurônio que conduz o impulso nervoso do corpo do neurônio até a sinapse onde ocorre a transmissão do impulso nervoso para outros neurônios ou para os órgãos efetores (músculos e glândulas).

Células da glia. Células (neuróglia) que acompanham os neurônios, imprescindíveis para vários aspectos do seu funcionamento, como transmissão de informações, suporte estrutural, nutrição, defesa contra micro-organismos e mielinização.

Cerebelo. Estrutura localizada abaixo do cérebro, posteriormente ao tronco encefálico, envolvida com o equilíbrio, tônus muscular, postura, coordenação motora e também com funções cognitivas, como percepção, atenção, memória, planejamento e execução de ações.

Cérebro. Estrutura do sistema nervoso central que faz parte do encéfalo (cérebro, cerebelo e tronco encefálico). Ele está envolvido com percepção, linguagem, memória, raciocínio abstrato, planejamento de nossas ações, movimentos, raciocínio lógico matemático, imaginação, emoções, entre outras. , O termo “cérebro” é utilizado, com frequência, referindo-se ao encéfalo. *Ver* **Encéfalo**.

Circuito neural. Conjunto de neurônios que mantêm conexões entre si. A denominação dos circuitos neurais está relacionada à sua localização nas diferentes regiões (lobos) do cérebro, por exemplo, circuitos frontais, parietais, occipitais. Também denominado circuito neuronal.

Circuito neuronal. *Ver* **Circuito neural**.

Corpo caloso. Feixe espesso de axônios que conecta os hemisférios cerebrais esquerdo e direito localizados no centro do cérebro.

Córtex cerebral. Camada mais externa do cérebro, onde estão localizados os corpos dos neurônios (substância cinzenta). O córtex recebe sua denominação conforme o lobo ou lobos cerebrais onde se localiza ou conforme sua função, por exemplo: córtex occipital, parietal, temporoparietal, occipito-temporal (localização) ou córtex visual, sensório-motor, auditivo (função), entre outros.

Córtex dorsolateral. Localizado na região lateral e superior da área pré-frontal. *Ver* **Área pré-frontal**.

Córtex occipito-temporal. *Ver* **Córtex cerebral**.

Córtex orbitofrontal. Localizado na região da área pré-frontal. *Ver* **Área pré-frontal**.

Córtex parietal. *Ver* **Córtex cerebral**.

Córtex pré-frontal. Porção mais anterior do lobo frontal envolvida com a seleção e o planejamento do comportamento, tomada de decisão e memória. *Ver* **Córtex cerebral** e **Área pré-frontal**.

Córtex temporoparietal. *Ver* **Córtex cerebral**.

Córtex. Camada mais externa do cérebro. *Ver* **Córtex cerebral.**

Dendritos. Prolongamentos ramificados que partem do corpo do neurônio e recebem informação de outros neurônios. Local onde as sinapses se estabelecem.

Dopamina. Neurotransmissor envolvido com a regulação motora, das emoções e com a motivação. *Ver* **Neurotransmissor**.

Encéfalo. Conjunto das estruturas do sistema nervoso – tronco encefálico, cerebelo e cérebro – contidas no crânio. Em inglês, a palavra *brain* refere-se ao encéfalo.

Fatores epigenéticos. Fatores ambientais que podem modificar a expressão dos genes.

Fatores neurotróficos. Substâncias importantes para a sobrevivência, desenvolvimento, estrutura e função dos neurônios.

fNIRS. Neuroimagem que utiliza a técnica de espectroscopia de luz próxima ao infra-vermelho e avalia o fluxo sanguíneo cerebral.

Funções executivas. Conjunto de funções mentais relacionadas ao planejamento, execução e monitoramento de ações necessárias para atingirmos objetivos e resolvermos problemas.

Função mental. Funções que emergem da atividade do cérebro.

Giro do cíngulo. Localizado na face medial de cada um dos hemisférios cerebrais, acima do corpo caloso, participa de processos emocionais e cognitivos como atenção, detecção de erros, tomada de decisão, memória e controle motor. Sua porção anterior é também denominada córtex cingulado anterior.

Hemisfério esquerdo e direito. Cada um dos lados do cérebro.

Hipocampo. Estrutura localizada no lobo temporal envolvida com memória.

Impulso nervoso. Alteração química e elétrica produzida por um estímulo ou um neurotransmissor que caracteriza a ativação de um neurônio.

Ínsula. Lobo do cérebro, que fica oculto pelos lobos temporal, frontal e parietal, envolvido com processamento de sensações viscerais e das emoções.

Linguagem eletroquímica. *Ver* **impulso nervoso**.

Lobo frontal. Região anterior do cérebro.

Lobo occipital. Região posterior e inferior do cérebro.

Lobo parietal. Região posterior e superior do cérebro.

Lobo temporal. Região lateral e inferior do cérebro.

Medula espinhal. Estrutura localizada dentro da coluna vertebral que contém neurônios e seus axônios. Ela envia comandos motores do encéfalo para o corpo e informações sensoriais das diversas partes do corpo para o encéfalo e, ainda, coordena reflexos. *Ver* **Encéfalo**.

Membrana pós-sináptica. Membrana do neurônio a ser ativado por outro neurônio. Local onde atua o neurotransmissor. *Ver* **Sinapse**.

Mielinização. Processo de formação da bainha de mielina que envolve os axônios, o que aumenta a velocidade de condução dos impulsos nervosos.

Nervo. Feixe de axônios.

Nervos ópticos. Conduzem informações visuais desde a retina até o cérebro.

Neurônio. Unidade funcional básica do sistema nervoso. Constituído pelo corpo celular onde ocorre a produção de proteínas e energia, fundamentais para a manutenção do funcionamento do neurônio. A partir dele estendem-se prolongamentos, os dendritos e o axônio. *Ver* **Axônio** e **Dendrito**.

Neurônios espelho. Ver **Sistema de neurônios espelho**.

Neuroplasticidade. Capacidade do sistema nervoso de se modificar, envolvendo, entre outros processos, "fazer e desfazer ligações" entre neurônios, como consequência das interações com o ambiente. Também denominada plasticidade neural ou plasticidade cerebral.

Neurotransmissor. Substância química liberada na sinapse que possibilita que a informação seja transmitida de um neurônio a outro. *Ver* **Dopamina**, **Noradrenalina**, **Serotonina**.

Noradrenalina. Neurotransmissor relacionado com a ansiedade, o aprendizado e a memória e envolvido com a regulação das vísceras, da atenção, do estado de alerta e do humor. *Ver* **Neurotransmissor**.

Núcleo acumbente. Conjunto de neurônios localizado no interior do cérebro, também denominado estriado ventral, relacionado ao prazer, satisfação, recompensa e motivação.

Núcleos da base. Conjunto de estruturas localizadas no interior do cérebro que tem conexões recíprocas com o córtex cerebral, participando da regulação da motricidade e das estratégias de comportamento.

Pesquisa translacional. Pesquisa que integra as descobertas da ciência (pesquisa básica), de forma mais rápida e eficiente, à pesquisa aplicada ou tecnológica e às práticas baseadas em evidências.

Poda sináptica. Eliminação de sinapses.

Processos axonais e dendríticos. Prolongamentos que emergem do corpo do neurônio. *Ver* **Neurônio**, **Axônio** e **Dendrito**.

Propriocepção. Sensação que fornece informações sobre o estado de contração dos músculos, a posição das articulações e o movimento. Cinestesia.

Receptores sensoriais. Estruturas localizadas nos órgãos dos sentidos que detectam os estímulos do ambiente.

Rede de controle cognitivo/executivo. Rede neural que regula pensamentos e comportamentos necessários para atingir uma meta e envolve circuitos neurais dos lobos frontal e parietal. *Ver* **Rede neural** e **Funções executivas**.

Rede de modo padrão (default). Rede neural ativada quando o indivíduo não está focado em estímulos externos, mas pensando em si mesmo, lembrando-se do passado e planejando o futuro. *Ver* **Rede neural**.

Rede de saliência. Rede neural que seleciona estímulos que merecem atenção, considerando as informações que o corpo envia ao cérebro, as necessidades fisiológicas, as emoções, e as memórias do indivíduo. *Ver* **Rede neural**.

Rede neural frontoparietal. *Ver* **Rede de controle cognitivo/executivo**.

Rede neural. Conjunto de circuitos neurais localizados em diferentes áreas do cérebro e interconectados. Sua ativação produz funções cognitivas específicas. As redes neurais são denominadas conforme sua localização, por exemplo, rede neural frontoparietal, envolve circuitos dos lobos frontal e parietal; ou conforme sua função, por exemplo, rede de controle cognitivo. *Ver* **Circuito neural**.

Representação mental. Registro neural das experiências vivenciadas. Conjunto dos circuitos neurais ativados durante determinada experiência que, quando reativados, reproduzem mentalmente aquela experiência, mesmo na ausência dela.

Serotonina. Neurotransmissor envolvido com a regulação da dor, do sono e vigília, dos estados de humor, entre outras funções. *Ver* **Neurotransmissor**.

Sinapses. Estrutura que comunica dois neurônios. Nela ocorre a transmissão do impulso nervoso, por meio da liberação de neurotransmissor de um neurônio sobre o outro. *Ver* **Neurotransmissor** e **Membrana pós-sináptica**.

Sinaptogênese. Formação de sinapses.

Sistema Ativador Reticular Ascendente (**SARA**). Conjunto de neurônios localizado no tronco encefálico envolvido com a regulação da vigília e do sono.

Sistema de mentalização. Conjunto de circuitos neurais envolvidos com a capacidade de inferir estados internos de outras pessoas a partir de suas ações e do que se conhece sobre essa pessoa.

Sistema de neurônios espelho. Conjunto de circuitos neurais relacionados especialmente à aprendizagem por imitação e à empatia.

Sistema de recompensa. Conjunto de estruturas do encéfalo que, quando ativadas, proporcionam ao indivíduo sensações de satisfação e bem-estar e promovem motivação.

Sistema límbico. Conjunto de estruturas cerebrais envolvidas com o processamento das emoções e da memória.

Sistema nervoso autônomo simpático. Conjunto de estruturas do sistema nervoso que regula o funcionamento das vísceras.

Sistema nervoso. Conjunto de estruturas constituídas por neurônios (células nervosas), situadas dentro do crânio (tronco encefálico, cerebelo e cérebro) e da coluna vertebral (medula espinhal), constituindo o sistema nervoso central e distribuídas pelo corpo (nervos e gânglios), constituindo o sistema nervoso periférico.

Substância branca. Conjunto dos axônios que partem dos corpos dos neurônios localizados no córtex (substância cinzenta) distribuídos no sistema nervoso central. Os axônios que partem de neurônios localizados no córtex cerebral constituem a parte mais central do cérebro. *Ver* **Axônio** e **Córtex cerebral**.

Substância cinzenta. Refere-se ao conjunto de corpos de neurônios. *Ver* **Neurônio**.

Tálamo. Estrutura localizada no interior do cérebro que tem conexões recíprocas com o córtex cerebral e processa os estímulos antes de eles chegarem ao córtex, participando das diversas funções cerebrais. Está envolvido com a regulação do estado de consciência e da dor, e com os processamentos sensorial (exceto olfato), motor, cognitivo e emocional.

Teoria neuronal. Teoria proposta no final do século XIX que representa um marco histórico da Neurociência, por ter concluído que o sistema nervoso é constituído de neurônios que estabelecem contatos entre si.

Tratografia. Técnica de ressonância magnética que permite a identificação dos feixes de axônios que constituem a substância branca do sistema nervoso central. *Ver* **Substância branca**.

Tronco encefálico. Estrutura do sistema nervoso central situada entre a medula espinhal e o cérebro. Contém circuitos neurais relacionados à manutenção de funções vegetativas, como respiração, funcionamento cardíaco, digestão e à regulação da atividade cerebral e dos ciclos de sono e vigília.

Ventrículos cerebrais. Espaços preenchidos por um líquido (líquor) que existem dentro do encéfalo.



DIRETORIA DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA – DIRET
Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti
Diretor de Educação e Tecnologia

SESI/DN
Robson Braga de Andrade
Diretor

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti
Diretor-Superintendente

DIRETORIA DE OPERAÇÕES
Paulo Mól Junior
Diretor de Operações

Serviço Social da Indústria – SESI
Wisley Pereira
Gerente-Executivo do SESI

Ana Luiza Neiva Amaral
Leonor Bezerra Guerra
Autoras

DIRETORIA DE COMUNICAÇÃO – DIRCOM
Ana Maria Curado Matta
Diretora de Comunicação

Gerência de Publicidade e Propaganda
Armando Uema
Gerente de Publicidade e Propaganda

Katia Rocha
Coordenadora de Gestão Editorial

Walner Oliveira
Produção Editorial

DIRETORIA DE SERVIÇOS CORPORATIVOS – DSC
Fernando Augusto Trivellato
Diretor de Serviços Corporativos

Superintendência de Administração – SUPAD
Maurício Vasconcelos de Carvalho
Superintendente Administrativo

Jakeline Mendonça
Normalização

Danúzia Queiroz
Revisão Gramatical

Editorar Multimídia
Projeto Gráfico e Diagramação



www.sesi.org.br

/SESINacional

@SouSESI

@sesinacional

/sesi

/company/sesi-nacional



9 786589 559047

SESI

Serviço Social da Indústria

PELO FUTURO DO TRABALHO