

DADOS RECENTES DA NEUROCIÊNCIA FUNDAMENTAM O MÉTODO “*BRAIN-BASED LEARNING*”

Angela Souza da Fonseca Ramos

RESUMO – A Neurociência é essencial para o entendimento da aprendizagem e memória, entretanto pouco se sabe sobre sua aplicação na Educação. Os métodos do *Brain-Based Learning* apresentam técnicas baseadas no funcionamento do cérebro que melhoram o aprendizado, mas essa abordagem não tem sido divulgada apropriadamente na Pedagogia e Psicopedagogia. Neste trabalho, são revisados os princípios do *Brain-Based Learning* e correlacionamos com dados recentes da literatura em Neurociência. O principal objetivo desta revisão é apresentar os novos achados da Neurociência e relacionar com a práxis pedagógica. Neste trabalho, demonstra-se que a plasticidade neural é fundamental para a aprendizagem e que ocorre em todas as etapas da vida humana. Este trabalho relaciona estudos científicos sobre a motivação com a aprendizagem, inclusive com apresentação de estudos moleculares recentes sobre o efeito da recompensa e reforço. Este artigo também apresenta estudos nos quais o estresse moderado contribui positivamente para a aprendizagem, em oposição ao pensamento corrente. Uma técnica amplamente utilizada para estudo individual e em escolas é apresentar o conteúdo escolar por diferentes acessamentos sensoriais, por figuras, textos, sons. A eficiência desse uso tem sido confirmada por estudos recentes que demonstram que estímulos multissensoriais congruentes melhoram a aprendizagem. Dados mais recentes da Neurociência fundamentam os princípios básicos da educação baseada na Neurociência (*Brain-Based Learning*), como demonstrado neste estudo de revisão. Espera-se, com este trabalho, contribuir para um *modus operandi* da Pedagogia mais voltado para o educando e para seu funcionamento cerebral, tornando o aprendizado mais prazeroso e eficiente.

UNITERMOS: Neurociências. Aprendizagem. Brain-based learning.

Angela Souza da Fonseca Ramos – Doutora em Biofísica,
Mestre em Biologia Molecular e Psicopedagoga Clínica,
Brasília, DF, Brasil.

Correspondência
Angela Souza da Fonseca Ramos
SQN – 314 – Bloco E – Apto. 313 – Bairro Asa Norte –
Brasília, DF, Brasil – CEP 70767-050
E-mail: asframos@gmail.com

INTRODUÇÃO

Neurociência é o estudo do sistema nervoso, principalmente do cérebro. O entendimento de como o cérebro funciona tem se expandido para além de descrições anatômicas e fisiológicas. Cada vez mais, estuda-se como o cérebro está relacionado com comportamento, pensamento e sensações. Para entender profundamente o aprendizado, é impossível negligenciar o cérebro e como este funciona. Como dito pela pesquisadora Leslie Hart¹: "Ensinar sem levar em conta o funcionamento do cérebro seria como tentar desenhar uma luva sem considerar a existência da mão". Por outro lado, Griz² define "A Psicopedagogia é uma área de atuação que trata do processo de aprendizagem humana e das dificuldades que ocorrem neste processo". Portanto, é nesse contexto que este trabalho foi criado, com o objetivo de trazer para a Psicopedagogia uma visão neurobiológica de como atuar de forma baseada no funcionamento do cérebro².

Este artigo trata-se de um breve estudo dos aspectos neurobiológicos da aprendizagem no senso restrito. Aqui o aprender é tratado apenas como ato de adquirir um conhecimento teórico ou prático e acessar a memória sobre esse conhecimento, além de associá-lo em sequência. Outras formas mais complexas de inteligência ou habilidade não serão tratadas neste trabalho, assim como aspectos de formação de caráter e princípios morais, tão importantes na área da educação.

Por este trabalho, espera-se trazer alguma contribuição diferencial, aproximando um pouco mais a Pedagogia da Biologia, explicando em detalhes o funcionamento do cérebro e como retemos e acessamos alguma informação específica da memória. Serão trazidas as últimas descobertas da Neurociência. Para isso, é necessário restringir o assunto e não será tratada a importância do sistema sensorial para acionar nossa memória.

Embora o método *Brain-Based Learning* date dos anos 1970, seus princípios têm sido confirmados pelos últimos estudos da Neurociência. O objetivo geral deste artigo é trazer importantes

informações sobre as últimas descobertas na área da Neurociência e mostrar a aplicação dessas informações no processo ensino-aprendizagem dentro do arcabouço do *Brain-Based Learning*.

MÉTODO

Para realizar este trabalho, foi realizado levantamento de artigos científicos relevantes publicados em revistas científicas indexadas nas bases de dados Medline e SciELO. Dentre os artigos encontrados, foram selecionados preferencialmente aqueles publicados por cientistas de renome em revistas de grande credibilidade, cujo enfoque foi a estruturação do conhecimento sobre o funcionamento fisiológico e molecular do cérebro, trazendo comprovações irrefutáveis que podem contribuir para o entendimento do aprendizado. Paralelamente, pesquisou-se sobre o assunto de neuroeducação e *Brain-Based Learning*, apoiando-se em artigos e livros da área. Neste trabalho, concatenaram-se as novas informações científicas com o que se tem propagado na linha do *Brain-Based Learning*.

NEUROCIÊNCIA DA APRENDIZAGEM

A aprendizagem ocorre em diversos animais e é crucial para a sobrevivência. Aprender como procurar alimentos ou a afastar-se de algo nocivo permite a perpetuação da espécie. Em humanos, a aprendizagem inclui procedimentos, como a habilidade de andar de bicicleta, nadar (memória procedural); trajetórias, como aprender rotas, caminhos (memória espacial e perceptiva); aprender a classificar e organizar (memória declarativa semântica); realizar procedimentos não-automáticos, como fazer uma receita culinária (memória declarativa episódica, que inclui lembranças de fatos). Como vemos, os diferentes tipos de aprendizagem estão relacionados com tipos de memórias, como veremos adiante nesse tópico.

O QUE É A MEMÓRIA?

Segundo Guyton & Hall³, a memória pode ser definida fisiologicamente da seguinte forma:

"Fisiologicamente, memórias são armazenadas no cérebro pela mudança da

sensibilidade básica da transmissão sináptica entre neurônios, como resultado da atividade neural prévia. As vias novas ou facilitadas são chamadas de traços de memória. Eles são importantes porque uma vez que os traços são estabelecidos, eles podem ser seletivamente ativados pelos processos mentais para reproduzir as memórias."³

De acordo com Squire⁴, temos principalmente dois sistemas de memória: a memória declarativa (explícita) que é armazenada no lobo temporal medial e no hipocampo; e a memória não-declarativa (implícita), que é armazenada no cerebelo, *estriatum* e amígdalas. Temos quatro tipos de memória não-declarativa: *priming*, que é a memória relacionada ao reconhecimento de palavras, ocorre no neocórtex; procedural, que está relacionada a procedimentos motores, como quando andamos de bicicleta ou dirigimos, acontece no *estriatum*, associativa, que está relacionada aos condicionamentos e depende da amígdala ou do cerebelo quando é exclusivamente motora; e não-associativa, que inclui a habituação e sensibilização e depende de várias vias reflexas⁵. A aprendizagem formal escolar está relacionada com o sistema da memória declarativa, que inclui fatos, eventos, lugares, objetos, aquela memória presente no consciente, que se pode declarar⁶. A memória declarativa pode ser classificada como episódica, referente a percepção, sensações e sequência de fatos, também pode ser a memória de lembranças; ou como semântica, com organização e hierarquização de informações, por exemplo, saber que Paris é a capital da França, mais relacionada ao conhecimento formal⁵.

Segundo Squire⁴, enquanto o conteúdo da aprendizagem está relacionado à memória declarativa, o hábito de estudo e a habilidade de aprender fazem parte da memória não-declarativa (inconsciente). Na memória não-declarativa, experiências modificam comportamentos, mas não requerem nenhuma memória consciente.

A memória trata-se de uma facilitação de uma via neural, que reproduz uma percepção, seja visual, auditiva, tátil, olfativa ou integrativa. A

memória pode ser de curto, de médio e de longo prazo. Podemos descrever o processo da memória como facilitação, solidificação e, por fim, evocação da memória. A primeira etapa está relacionada com a memória de curto prazo, também chamada de traços de memória, depois com a formação da memória de médio e longo prazo e, finalmente, com a capacidade de resgatar determinada informação guardada na memória. A memória é acessada quando o cérebro repete o mesmo estado de atividade cerebral, presente no estado original quando um dado é percebido, uma imagem, um som, um cheiro ou uma informação. Áreas do hipocampo e córtex entorrinal participam desse processo⁷.

A formação da memória de longo prazo está intimamente ligada à aprendizagem e tem sido uma das grandes perguntas da Neurociência. Barrett et al.⁵ explicam a formação da memória em termos de plasticidade neural.

PLASTICIDADE NEURAL E APRENDIZAGEM

A transformação da memória de curto prazo em memória de longo prazo está ligada à alteração da força de conexões sinápticas específicas, que envolve transdução de sinal, alteração dos canais iônicos da membrana plasmática dos neurônios e ativação de genes e síntese proteica. A formação da memória pode ocorrer quando determinada via neural é facilitada ou formada. Isso é realizado pela potenciação de longo prazo (LTP). Quando ocorre o oposto, ou seja, quando a força sináptica de uma via neural é diminuída, os estímulos externos deixam de provocar uma resposta. Este é o caso da habituação, que ocorre pela depressão de longo prazo (LTD)³.

LTP e LTD ocorrem em todos os tipos de memória, em diferentes organismos vivos.

Em *Aplysia*, a memória implícita não-associativa de curto prazo transforma-se em memória de longo prazo da seguinte forma: ocorre a estimulação do terminal pré-sináptico facilitador no mesmo momento em que o terminal sensorial é estimulado, liberando serotonina no terminal sensorial; a serotonina age nos receptores seroto-

ninérgicos na membrana plasmática do terminal sensorial, que ativam a enzima adenilciclase no interior da célula, iniciando a transdução de sinal com a formação da adenosina monofosfato cíclica (AMPC); AMPC ativa uma proteína quinase que fosforila um componente do canal de K^+ , bloqueando-o; o bloqueio desses canais levam a um potencial de ação prolongado (pois atrasam a hiperpolarização e finalização do potencial); o potencial de ação prolongado causa a ativação dos canais de Ca^{2+} , com grande entrada de Ca^{2+} no interior do terminal sináptico sensorial. Esses íons de cálcio aumentam a liberação de neurotransmissor, facilitando a transmissão sináptica para o neurônio seguinte. Além disso, a repetição do estímulo nocivo causa ativação gênica e síntese de proteínas, levando ao crescimento físico de novas sinapses, que ocorre pelo alongamento de botões sinápticos⁸.

A memória declarativa de longo prazo é formada por LTP no hipocampo⁵. O neurotransmissor glutamato liberado pelo neurônio pré-sináptico se liga aos receptores de ácido amino-3-hidroxi-5-metil-4-isoxazol propiônico (AMPA) e de N-metil-D-aspartato (NMDA) na membrana plasmática do neurônio pós-sináptico. A despolarização iniciada pela ativação dos receptores AMPA atenua o bloqueio de Mg^{2+} no canal do receptor NMDA e o Ca^{2+} entra no neurônio pós-sináptico com o Na^+ . O aumento do Ca^{2+} ativa a calmodulina quinase, a proteína quinase C e a tirosina quinase. Estas induzem a LTP. A calmodulina quinase II fosforila os receptores AMPA, aumentando sua condutância e o número de receptores AMPA na membrana celular. Após a indução da LTP, um sinal químico (óxido nítrico) é liberado pelo neurônio pós-sináptico e é transmitido ao neurônio pré-sináptico, causando aumento da duração na liberação do glutamato⁵.

Outra forma de plasticidade neural⁸ com formação de memória declarativa ocorre com a participação de receptores de glutamato (GluR1) e pela ativação gênica pelo fator de transcrição *cAMP Responsiv Element Binding Protein* (CREB-1). Nesse mecanismo de indução de LTP e memória, a transdução de sinal ocorre via

receptor de NMDA (NMDAR). A plasticidade de curto prazo (algumas horas) é produzida pela sinalização de Ca^{2+} dependente de NMDAR e o recrutamento de novos receptores de glutamato. A plasticidade de longo prazo (dias) requer ativação gênica dependente de CREB pela ação de múltiplas proteínas quinases. A plasticidade e a memória também requerem a síntese constitutiva da isoforma ativa de proteína quinase C⁸.

A plasticidade neural, também denominada flexibilidade cognitiva, tem se mostrado ativa para todas as idades. Cavallini et al.⁹ demonstraram que idosos com idade entre 70 e 99 anos responderam a métodos de treinamento cerebral, apresentando melhoras na capacidade cognitiva e memória.

MEMÓRIA E MOTIVAÇÃO

Sabe-se que a relação emocional de seu aluno com o conteúdo ou até com o próprio professor é crucial para a aprendizagem, podendo-se tornar grande fonte de motivação ou grande bloqueio contra determinado aprendizado¹⁰. Guyton & Hall³ explicam isso da seguinte forma:

“Áreas especiais nas regiões límbicas basais do cérebro determinam se uma informação é importante ou não e tomam a decisão subconsciente de armazenar a informação como um traço de memória sensibilizada ou suprimi-la.”³

Deve-se enfatizar que o sistema límbico está relacionado com as emoções³.

Em estudo de caso médico, comprovou-se que a retirada do hipocampo impossibilitava a formação de memória a longo ou médio prazo³. Guyton & Hall³ sugerem que isso ocorra, pois essa região é responsável pela punição e recompensa:

“Estímulos sensoriais ou pensamentos que causam dor ou aversão excitam os centros límbicos de punição, e os estímulos que causam prazer, felicidade ou uma sensação de recompensa excitam os centros límbicos de recompensa. Todos eles juntos fornecem o humor básico e as motivações da pessoa. Entre essas motivações está a força motriz do cérebro para lem-

*brar aquelas experiências e pensamentos que são agradáveis ou desagradáveis. Especialmente os hipocampus e, em um grau menor, os núcleos médio-dorsais do tálamo, outra estrutura límbica, mostraram-se especialmente importantes para tomar a decisão de quais dos nossos pensamentos são importantes o suficiente numa base de recompensa ou punição pra serem dignos da memória."*³

Outros trabalhos confirmam a importância do sistema de recompensa para a aprendizagem¹¹⁻¹³. A recompensa pode também ser o prazer de saciar a curiosidade. Precisamos de motivação para aprender. Isso não é apenas uma impressão difusa oriunda da experiência como educandos ou professores, trata-se de uma conclusão baseada na Neurociência. O centro de motivação é o hipocampo³ e está definida sua importância para a consolidação da memória¹⁴.

MEMÓRIA CONTEXTUALIZADA

Recentemente, Miller et al.¹⁵ demonstraram que humanos têm maior tendência de lembrar-se de dados consecutivos, quando estes estão contextualizados a localizações espaciais. Esse grupo testou a memória de humanos para lembrar itens comprados em uma cidade virtual com rotas definidas. Em outras palavras, quando os dados estão inseridos em um ambiente espacial, mesmo sendo virtual, podemos nos lembrar de forma mais rápida e mais fácil. Nesse mesmo trabalho, o grupo mostrou padrões da atividade neuronal no hipocampo, amígdala e córtex entorrinal, em células responsivas à localização. Comprovaram, também, a atividade relacionada à contextualização espacial durante a vocalização dos itens, ou seja, o conteúdo formal da aprendizagem¹⁵.

APRENDIZAGEM E ESTRESSE

Evidências do trabalho de Roozendaal e colaboradores demonstram que hormônios do estresse liberados pelas glândulas adrenais estão criticamente envolvidos na modulação da consolidação da memória¹⁶. Epinefrina e glico-

corticoides administrados após a exposição a situações de estresse aumentaram a consolidação da memória de longo prazo, pela ativação de mecanismos noradrenérgicos no complexo basolateral da amígdala. Em contraste ao aumento do efeito de consolidação, altos níveis de circulação dos hormônios do estresse dificultam o acesso à memória e à memória de trabalho. Ou seja, o estresse moderado pode ajudar a consolidação da memória, entretanto altos níveis podem prejudicá-la¹⁶. Outros grupos de pesquisa confirmam esses dados, de que estresse moderado pode facilitar memória de dados, enquanto estresse agudo tem efeito oposto^{17,18}.

Tubon et al.¹⁹ afirmam que o fator de transcrição CREB está envolvido com diferentes sistemas de formação de memória de longo prazo e plasticidade. No trabalho de Tubon et al.¹⁹, os autores também afirmam que CREB implica na regulação de centenas de genes e é capaz de responder a uma ampla variedade de sinais, incluindo estresse. Curiosamente, esse fator de transcrição não está relacionado a comportamentos¹⁹.

Alberini²⁰ descreve a importância do fator de transcrição CREB para a ativação de genes envolvidos com a memória e mostra que o estresse pode estar ativando esse fator. O estresse é um fator que estimula a via de transdução *Mitogen-activated protein kinase* (MAPK) para ativação do fator de transcrição CREB²⁰.

ESTÍMULO MULTISSENSORIAL E MEMÓRIA

Alguns grupos de pesquisa em diversos países têm demonstrado que o estímulo multisensorial tem efeito positivo sobre a aprendizagem. A Finlândia ocupa o primeiro lugar no ranking mundial de qualidade de ensino, o *Programme for International Student Assessment* (PISA). O grupo finlandês, de Heikkilä et al.²¹, enfatiza que a percepção é essencialmente multisensorial em humanos e investigou os efeitos de estímulos audiovisuais no desempenho da memória. Os participantes memorizaram estímulos auditivos e visuais, congruentes ou incongruentes ou neutros.

Foi demonstrado que o desempenho da memória mostrou-se melhor quando os estímulos visuais e auditivos concomitantes eram semanticamente congruentes. Esses resultados sugerem que experiências multissensoriais semanticamente congruentes resultam em melhora da memória cognitiva²¹.

Thelen & Murray²² resumizam, em seu artigo de revisão, evidências de que experiências multissensoriais têm efeito de longo prazo sobre estímulos unissensoriais visuais ou auditivos. Também colocam em seu artigo que estímulos multissensoriais só apresentam eficiência após múltiplas repetições. Concluem que associações multissensoriais formadas influenciam o processamento unissensorial posterior a promover distintas representações do objeto, o que se manifesta como uma rede neural diferenciável, cuja atividade está relacionada ao desempenho da memória²².

COMO A NEUROCIÊNCIA PODE AUXILIAR O MODUS OPERANDI DA PEDAGOGIA: BRAIN-BASED LEARNING

Vimos como diferentes aspectos neurobiológicos da memória estão relacionados com a aprendizagem. Neste tópico será abordado como esses dados da Neurociência podem auxiliar o processo ensino-aprendizagem, seja em sala de aula, seja em intervenção psicopedagógica individual.

Segundo Leslie Wilson²³, *Brain-Based Learning* ou aprendizagem baseada no cérebro é uma abordagem baseada em como a Neurociência pode prover um arcabouço biológico para o processo ensino-aprendizagem, e como ajuda a explicar comportamentos de aprendizagem. Segundo Wilson²³, trata-se de um metaconceito que inclui uma mistura eclética de técnicas. Essa forma de aprendizagem também engloba os seguintes conceitos educacionais: estilos de aprendizagem, múltiplas inteligências, aprendizado cooperativo, simulações práticas, aprendizagem experimental, aprendizagem baseada em estudo de caso, educação psicomotora²³.

Os princípios centrais que norteiam o *Brain-Based Learning* estão listados abaixo (adaptado de Caine et al.^{24,25}). A literatura em Neurociência tem confirmado esses princípios. Aqui, relacionamos alguns dos princípios com os achados recentes da Neurociência descritos no capítulo anterior, citando as referências.

1. O cérebro é um processador em paralelo (confirmado em 2008 por Raji et al.²⁶), mas não pode realizar muitas atividades ao mesmo tempo;
2. O cérebro percebe o todo e as partes simultaneamente;
3. A informação é estocada em múltiplas áreas do cérebro, conseqüentemente, há múltipla memória e múltiplas vias neuronais (confirmado em 2010 por Barrett et al.⁵);
4. Aprender engaja todo o corpo. A aprendizagem é mente e corpo: movimento, alimentação, ciclos de atenção e aprendizagem modulada quimicamente;
5. A busca por significados é inata nos humanos;
6. A busca por significados ocorre por meio de padronização;
7. As emoções são críticas para a padronização e dirige nossa atenção e memória (confirmado em 2014 por Leal et al.²⁷);
8. O significado é mais importante que uma informação isolada (confirmado os achados de Thelen e Murray²⁸, em 2013);
9. Aprender envolve atenção focada e percepção periférica (confirmado, em 2013, por Miller et al.²⁹);
10. Nós temos dois tipos de memória: espacial e de rotas (confirmado por Bahar & Shapiro³⁰, em 2012);
11. Nós entendemos melhor quando fatos estão inseridos na memória espacial natural (confirmado, em 2013, por Miller et al.²⁹);
12. O cérebro é social, desenvolve-se melhor em contato com outros cérebros;
13. O aprendizado complexo é ativado pelo desafio e inibido pelo estresse agudo (confirmado por Schacher & Hu, em 2014³¹);

14. Cada cérebro organiza seu aprendizado de forma única (estudado por Gandini et al.³², em 2008);
15. Aprender é um desenvolvimento.

A partir da revisão da literatura em Neurociências propomos:

1. A exposição a diferentes ambientes promove a plasticidade neural e, conseqüentemente, o aprendizado¹⁴;
2. O cérebro humano é modulado pela repetição de estímulo^{33,34};
3. O estresse moderado, como desafio, estimula a aprendizagem¹⁸.

Alguns elementos de ensino interativo emergem desses conceitos neurocientíficos. Implicações para uma melhor prática de ensino e uma aprendizagem otimizada²³:

- **Imersão orquestrada**: procurar reconstruir o objeto de estudo no ambiente de sala de aula ou levar os alunos até o mais próximo possível da realidade estudada. Essa técnica é baseada nos itens 9 e 11 descrito acima e procura imergir o conteúdo na percepção espacial do aluno;
- **Estado de alerta relaxado**: deve haver um esforço para eliminar o medo enquanto mantém um ambiente altamente desafiante. Essa técnica é baseada nos itens 7 e 13. Wilson sugere que o professor use música erudita calma, luz mais próxima da natural e que use um aroma de baunilha. Essas estratégias permitem acalmar os alunos, além de estimular vários sentidos, remetendo ao item 4.
- **Processamento ativo**: o estudante é capaz de consolidar melhor novo conteúdo se este foi deduzido a partir de conhecimentos do próprio aluno. Assim, a nova informação será conectada com as pré-existent. Essa estratégia baseia-se nos itens 3, 5 e 8.

Já Morais³⁵ traz em seu livro as seguintes observações para uma aprendizagem de sucesso. Morais³⁵ coloca que a memória e as emoções são interligadas. Também sugere que se promovam atividades sociais, nas quais os neuroaprendizes

possam discutir os tópicos e se ensinarem mutuamente. Esse tópico remete aos itens 7 e 12 de Caine, descritos acima.

Morais³⁵ afirma "Estruturalmente e aos poucos o cérebro se modifica em sua arquitetura cognitiva como resultado das experiências". Sugere o uso de práticas para que o neuroaprendiz sofra experiências e indica que devemos desafiá-lo a associar experiências prévias com as novas que está mediando (correspondente aos itens 5, 8 e 11).

*"Quanto mais estímulos, incentivos, desafios e recompensas, maiores e mais densas serão as redes sinápticas se conectando. A capacidade de aprender não cessa. A plasticidade neuronal, capacidade de se renovar e gerar novos neurônios mostra que diante de tarefas mais complexas que "exijam" maior quantidade de atributos das funções executivas envolvidas (atenção, concentração, memória, criatividade), mais eficientes se tornam!"*³⁵

Essa citação de Morais³⁵ refere-se aos itens 1, 2, 3 e 4 de Caine, descritos no tópico acima.

*"A Fisiologia cerebral funciona naturalmente para perceber, detectar e gerar padrões. Isso faz parte da evolução biológica do ser humano: Checar e testar hipóteses. Leve para sala desafios de resolução de casos reais e ou simulativos. As simulações trabalham muito a criatividade e a inovação. O pensar em saídas e soluções. São neurométodos eficazes de apreensão do conhecimento ali gerado, pois ocorrem internamente as tentativas e aproximações, além da busca de evidências que comprovem ou refutem as hipóteses."*³⁵

Essa citação de Morais³⁵ relaciona-se com o item 6 de Caine, descrito acima.

Outro importante trabalho na área trata-se do artigo de Friedlander et al.³⁶, que utilizam a Neurociência para sugerir aos estudantes e professores de Medicina como o processo ensino-aprendizagem pode ser melhorado. Esses autores afirmam que a memória é um processo

dinâmico, no qual a informação representada é um sujeito para as nossas experiências pessoais, o contexto ambiental do aprendizado, eventos subsequentes, níveis de atenção, estresse e outros fatores. O artigo apresenta o aprendizado como uma alteração funcional e estrutural da rede neural e baseia-se em experimentos celulares, moleculares e funcionais (fMRI – ressonância magnética funcional).

Abaixo descrevemos os aspectos propostos por Friedlander et al.³⁶ a serem considerados para melhorar o aprendizado de estudantes de Medicina. A cada tópico relacionamos com estudos de Neurociência mais recentes:

- **Repetição:** os autores sugerem que os professores trabalhem os tópicos diversas vezes por diferentes perspectivas. Propõe-se que isso não se trata de redundância, mas que os tópicos podem ser tratados de forma mais profunda em diferentes momentos. Estudos cognitivos utilizando fMRI em humanos têm demonstrado que o aumento da memória de reconhecimento (quando um assunto é reconhecido por quando é repetido) resulta da redução do processo, o que é caracterizado como supressão neural de repetição (encurtamento de um processo neural)³⁷. A importância da repetição tem sido confirmada por Mittner et al.³⁴;
- **Recompensa e Reforço:** segundo os autores, recompensa é a chave da aprendizagem em todos os estágios da vida, para todas as espécies, incluindo humanos¹³. Explicam que se trata de um processo biológico de detecção de associações, principalmente se o estímulo e a recompensa ocorrerem concomitantemente. A eficiência das recompensas é compreendida inclusive molecularmente¹². Além disso, o sistema intrínseco do cérebro de recompensa, presente nos neurônios da área tegmental ventral, representa o principal papel para o reforço do comportamento aprendido do educando¹¹;
- **Visualização:** a visualização, tão bem conhecida por cirurgiões, engaja não somen-

te vias tálamo-corticais visuais superiores do cérebro humano, mas também provê a oportunidade para o desenvolvimento e refinamento das representações internas de objetos complexos e sólidos e sua localização no espaço. Esse aspecto da aprendizagem pode ser alcançado por assistir a um procedimento, por exemplo³⁸;

- **Engajamento ativo:** evidências neurobiológicas demonstram que alterações funcionais no circuito neuronal que estão associadas com a aprendizagem ocorrem se o aprendiz estiver ativamente engajado³⁹. Aqui também consideramos outros autores da aprendizagem baseada na Neurociência (*Brain-Based Learning*), como Morais³⁵ e os trabalhos clássicos de Caine et al.^{24,25};
- **Estresse moderado:** apesar das consequências do estresse serem geralmente consideradas prejudiciais, há evidências que sinais moleculares associados ao estresse podem facilitar a potenciação de sinapses nos circuitos cerebrais envolvidos na formação de memória e no reforço de aprendizagem comportamental. Entretanto, altos níveis de estresse têm efeito oposto¹⁶;
- **Sono e descanso:** o sono e o descanso têm papel fundamental na consolidação da memória e na memória de curto prazo. Está relacionado à recapitulação dos eventos ocorridos durante o sono⁴⁰. Além do sono propriamente dito, momentos de pausa são importantes entre resoluções de problemas e atividades de raciocínio;
- **Focar, evitando distrações:** os autores ressaltam que realizar diferentes atividades ao mesmo tempo diminui a eficiência da aprendizagem e, portanto, impede uma compreensão profunda e completa. Recomenda-se uma abordagem multimodal, integrando diferentes formas de apresentação das informações relevantes para o tópico e encorajando os estudantes a utilizarem diferentes mecanismos de atenção ao foco, diminuindo a dispersão. O uso de tecnologias podem proporcionar multitarefas relacionadas ao conteúdo⁴¹;

- Estilos individuais de aprendizagem: existem diferentes estilos de aprendizagem, vários tipos de inteligência. Cada estudante deve encontrar sua própria estratégia de estudo. O professor, por sua vez, deve incentivá-los a fazer isso e procurar diferentes métodos nas aulas, para que alcance todos os tipos de inteligência³²;
- Processamento multissensorial: os autores sugerem que o ensino siga múltiplas abordagens que acessem diferentes processos sensoriais para potencializar o processo de aprendizagem²². Eles propõem que maior quantidade de neurônios envolvidos de diferentes áreas cerebrais contribui para um melhor armazenamento da memória.

CONCLUSÕES

Este trabalho pretendeu contribuir para a apresentação da base neurobiológica para o entendimento da aprendizagem e sua aplicação na pedagogia e psicopedagogia, em especial na educação baseada na Neurociência (*brain-based learning*). É interessante notar que, embora essa linha pedagógica tenha surgido há várias décadas, seus princípios têm-se confirmado pelos estudos mais recentes da Neurociência. Rela-

cionamos os princípios, descritos por diferentes autores, à literatura vigente, embasando-os. Neste trabalho, apresentaram-se estudos sobre a memória e como ela funciona. Mostrou-se que a plasticidade é fundamental para a aprendizagem e que ocorre em todas as etapas da vida humana. A motivação, tão conhecida na área pedagógica e de gestão, foi cientificamente relacionada à aprendizagem, inclusive apresentando estudos moleculares recentes do efeito da recompensa e reforço. De forma oposta à mais comumente divulgada, foram apresentados estudos, nos quais o estresse moderado contribui positivamente para a aprendizagem. Apresentar o conteúdo por diferentes acessamentos sensoriais, por figuras, textos, sons é uma técnica amplamente utilizada para estudo individual e em escolas. A eficácia dessa estratégia tem sido confirmada por estudos recentes que demonstram que estímulos multissensoriais congruentes melhoram a aprendizagem. Dados mais recentes da Neurociência estão relacionados com os princípios da educação baseada na Neurociência (*brain-based learning*). Procurou-se, assim, contribuir para um *modus operandi* da Pedagogia mais voltado para o educando e para seu funcionamento cerebral, tornando o aprendizado mais prazeroso e eficiente.

SUMMARY

Brain-Based Learning is confirmed by recent data in Neuroscience

Neuroscience is essential for understanding learning and memory, but little is known about its application in education. The Brain-Based Learning methods present brain based technics used in order to improve learning, but this approach has not been appropriately divulgated in the Pedagogy and Psychopedagogy areas. Here, we revise the principles of Brain-Based Learning and correlate to recent data of Neuroscience. The principal aim of this review article is present the Neuroscience new insights and correlate to the pedagogic praxis. In this work, we show that the neural plasticity is crucial for the learning and it occurs in all ages of humans. Here, the motivation, including molecular studies of the effect of reward and reinforcement, is related to the learning. This article shows studies about stress, where moderate stress improves learning, in opposition to the current opinion. In school lessons, the use of technics with various sensory accesses, for example, audio, visual and textual presentations, is very common. This approach has been confirmed by scientific studies, which show that multisensory congruent stimulus improve the learning. The basic principles of the Brain-Based Learning are related to the most recent data in neuroscience, as shown here. The expected outcome of this work is to contribute for the *modus operandi* of the Pedagogy in such way that the students and their cerebral functioning are the principal point in order to learning become more pleasant and efficient.

KEY WORDS: Neurosciences. Learning. Brain-based learning.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Aglaia Costa de Souza, pela revisão literária, e a Monica Souza da Fonseca, pela revisão técnica e a Cassius Pereira Ramos, pelas contribuições críticas ao texto.

REFERÊNCIAS

- Hart LA. Human brain and human learning. 3rd ed. Covington: Books for Educators; 2002.
- Griz MGS. Psicopedagogia: um conhecimento em contínuo processo de construção. São Paulo: Casa do Psicólogo; 2009.
- Guyton AC, Hall JE. Fisiologia médica. 11^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2006.
- Squire LR. Memory and brain systems: 1969-2009. J Neurosci. 2009;29(41):12711-6.
- Barrett K, Brooks H, Boitano S, Barman S. Ganong's review of medical Physiology. 23rd ed. New York: McGraw Hill Lange; 2010.
- Kandel ER. The biology of memory: a forty-year perspective. J Neurosci. 2009;29(41):12748-56.
- Gelbard-Sagiv H, Mukamel R, Harel M, Malach R, Fried I. Internally generated reactivation of single neurons in human hippocampus during free recall. Science. 2008;322:96-101.
- Mayford M, Siegelbaum SAE, Kandel ER. Synapses and memory storage. Cold Spring Harb Perspect Biol. 2012;4(6). Disponível em: <http://cshperspectives.cshlp.org/>. Acesso em: 23/9/2014.
- Cavallini E, Bottiroli S, Capotosto E, Beni R, Pavan G, Vecchi T, et al. Self-help memory training for healthy older adults in a residential care center: specific and transfer effects on performance and beliefs. Int J Geriatr Psychiatry. 2014. doi: 10.1002/gps.4230.
- Weiss MLL. Psicopedagogia clínica: uma vi-

- são diagnóstica dos problemas de aprendizagem escolar. 14ª Edição. Ed. Lamparina. 2012.
11. Fields HL, Hjelmstad GO, Margolis EB, Nicola SM. Ventral tegmental area neurons in learned appetitive behavior and positive reinforcement. *Annu Rev Neurosci.* 2007;30:289-316.
 12. Rebola N, Srikumar BN, Mulle C. Activity-dependent synaptic plasticity of NMDA receptors. *J Physiol.* 2010;588(1):93-9.
 13. Shigemune Y, Abe N, Suzuki M, Ueno A, Mori E, Tashiro M, et al. Effects of emotion and reward motivation on neural correlates of episodic memory encoding: a PET study. *Neurosci Res.* 2010;67:72-9.
 14. Frank LM, Stanleu GB, Brown EN. Hippocampal plasticity across multiple days of exposure to novel environments. *J. Neurosci.* 2004; 24(35):7681-9.
 15. Miller JF, Neufang M, Solway A, Brandt A, Trippel M, Mader I, et al. Neural activity in human hippocampal formation reveals the spatial context of retrieved memories. *Science.* 2013;342(6162):1111-4.
 16. Roozendaal B, Mcewen BS, Chattarji S. Stress, memory and the amygdala. *Nat Rev Neurosci.* 2009;10(6):423-33.
 17. Qin S, Hermans EJ, van Marle HJF, Fernández G. Understanding low reliability of memories for neutral information encoded under stress: alterations in memory-related activation in the hippocampus and midbrain. *J Neurosci.* 2012;32(12):4032-41.
 18. Bos MGN, Schuijjer J, Lodestijn F, Beckers T, Kindt M. Stress enhances reconsolidation of declarative memory. *Psychoneuroendocrinology.* 2014;46:102-3.
 19. Tubon TC Jr, Zhang J, Friedman EL, Jin H, Gonzales ED, Zhou H, et al. dCREB2-mediated enhancement of memory formation. *J Neurosci.* 2013;33(17):7475-87.
 20. Alberini CM. Transcription factors in long-term memory and synaptic plasticity. *Physiol Rev.* 2009;89:121-45.
 21. Heikkilä J, Alho K, Hyvönen H, Tiippana K. Audiovisual semantic congruency during encoding enhances memory performance. *Exp Psychol.* 2014;10:1-8.
 22. Thelen A, Murray MM. The efficacy of single-trial multisensory memories. *Multisens Res.* 2013;26(5):483-502.
 23. Wilson L. Brain-based education: an overview. Disponível em: <http://thesecondprinciple.com/optimal-learning/brainbased-education-an-overview/> Acesso em: 23/9/2014.
 24. Caine G, Nummela-Caine R, Crowell S. Mindshifts: a brain-based process for restructuring schools and renewing education. 2nd ed. Tucson: Zephyr Press; 1999.
 25. Caine RN, Caine G, Mcclintic CE, Klimek K. 12 bain/mind learning principles in action: developing executive functions of the human brain. 2nd ed. Thousand Oaks: Corwin Press; 2009.
 26. Raij T, Karhu J, Kicić D, Lioumis P, Julkunen P, Lin FH, et al. Parallel input makes the brain run faster. *Neuroimage.* 2008;40(4):1792-7.
 27. Leal SL, Tighe SK, Yassa MA. Asymmetric effects of emotion on mnemonic interference. *Neurobiol Learn Mem.* 2014;111:41-8.
 28. Thelen A, Murray MM. The efficacy of single-trial multisensory memories. *Multisens Res.* 2013;26(5):483-502.
 29. Miller JF, Neufang M, Solway A, Brandt A, Trippel M, Mader I, et al. Neural activity in human hippocampal formation reveals the spatial context of retrieved memories. *Science.* 2013;342(6162):1111-4.
 30. Bahar AS, Shapiro ML. Remembering to learn: independent place and journey coding mechanisms contribute to memory transfer. *J Neurosci.* 2012;32(6):2191-203.
 31. Schacher S, Hu J-Y. The less things change, the more they are different: contributions of long-term synaptic plasticity and homeostasis to memory. *Learn Mem.* 2014;21(3):128-34.
 32. Gandini D, Lemaire P, Anton JL, Nazarian B. Neural correlates of approximate quantification strategies in young and older adults: an fMRI study. *Brain Res.* 2008;1246:144-57.
 33. Pedreira C, Mormann F, Kraskov A, Cerf M, Fried I, Koch CE, et al. Responses of human medial temporal lobe neurons are modulated by stimulus repetition. *J Neurophysiol.* 2010; 103:97-107.
 34. Mittner M, Behrendt J, Menge U, Titz C, Hasselhorn M. Response-retrieval in identity negative priming is modulated by temporal discriminability. *Front Psychol.* 2014;20(5): doi: 10.3389/fpsyg.2014.00621.
 35. Morais S. Planejamento educativo. E-Book publicado online pela Cognare: Disponível em: <http://cognareconsulting.wix.com/instituto-cognare> . Acesso em: 27/9/2014.
 36. Friedlander MJ, Andrews L, Armstrong EG, Aschenbrenner C, Kass JS, Ogden P, et al.

- What can medical education learn from the neurobiology of learning? *Academic Medicine*. 2011;86(4):415-20.
37. Vidyasagar R, Stancak A, Parkes LM. A multimodal brain imaging study of repetition suppression in the human visual cortex. *Neuroimage*. 2010;49:1612-21.
38. Kawamichi H, Kikuchi Y, Noriuchi M, Senoo A, Ueno S. Distinct neural correlates underlying two- and three-dimensional mental rotations using three-dimensional objects. *Brain Res*. 2007;1144:117-26.
39. Baumann O, Chan E, Mattingley JB. Dissociable neural circuits for encoding and retrieval of object locations during active navigation in humans. *Neuroimage*. 2010;49:2816-25.
40. Diekelmann S, Born J. The memory function of sleep. *Nat Rev Neurosci*. 2010;11:114-26.
41. Mishra J, Zanto T, Nilakantan A, Gazzaley A. Comparable mechanisms of working memory interference by auditory and visual motion in youth and aging. *Neuropsychol*. 2013;51(10):1896-906.

Trabalho realizado na Clínica Psicopedagógica Aprender, Taguatinga, DF, Brasil.

*Artigo recebido: 20/11/2014
Aprovado: 15/12/2014*

■