

CONTRIBUIÇÕES DA NEUROCIÊNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO DAS HABILIDADES ARITMÉTICAS NA PERSPECTIVA DA EDUCAÇÃO INCLUSIVA

Contributions of neuroscience to the development of arithmetic skills in the perspective of inclusive education

Nicole Francisca Henriques dos Santos Castro ¹

Vivili Maria Silva Gomes ²

Resumo

A neurociência é fascinante pois possibilita a compreensão de fenômenos que nos definem. No entanto, muitos profissionais da educação se veem no dilema: Como esses conhecimentos podem contribuir para minha prática pedagógica de forma efetiva e eficaz, tanto para o processo como para os resultados? O presente artigo se propõe a apresentar pesquisas sobre o processo de desenvolvimento cerebral, em especial o desenvolvimento das habilidades matemáticas, correlacionando-os a métodos de intervenção possíveis e factíveis no contexto educacional que poderão auxiliar na aprendizagem matemática, com especial atenção à educação inclusiva. Um melhor domínio sobre os mecanismos biológicos da aprendizagem, em especial a aprendizagem matemática, foco deste artigo, se constituem em um suporte metodológico que possibilitará ao educador obter o pleno desenvolvimento de sua ação pedagógica, auxiliando na seleção da melhor estratégia a ser aplicada na educação inclusiva. Os estudos mostrados neste artigo apontam para a relevância da integração entre neurociência e educação matemática e sua contribuição para os desafios presentes na sala de aula, em especial para uma educação mais inclusiva. Para tanto, se faz necessário que a neurociência seja cada vez mais considerada e integrada nas formações iniciais e continuadas.

Palavras-chave: Neurociência, Educação Matemática, Desenvolvimento Cerebral.

Abstrat

Neuroscience is fascinating, as it allows us to comprehend the phenomena that define us. However, many education professionals face a dilemma: How can such knowledge contribute to my teaching practice in an effective and efficient manner, both for the process and the results? This article aims to present research on the brain development process, in particular the development of mathematical skills, correlating them with possible and feasible intervention methods in the educational context, which can contribute to mathematical learning, with special attention to inclusive education. A better command over the biological mechanisms of learning,

¹ Mestra em Neurociência e Cognição pela UFABC, Fundação Butantan – nicole.fsh.castro@gmail.com

² Doutora em Ciências USP, Professora Adjunta do Centro de Matemática, Computação e Cognição da UFABC – vivili.gomes@ufabc.edu.br

especially mathematical learning, which is the focus of this article, constitute a methodological support that will enable the educators' pedagogical action to achieve its full development, assisting them in choosing the best strategy to be applied in inclusive education. The studies shown in this article, evidence the significance of integration between neuroscience and mathematics education and its contribution to the challenges present in the classroom, especially for a more inclusive education. For this purpose, it is key that neuroscience be ever more considered and integrated into initial and continuing teacher training.

Keywords: Neuroscience, Mathematical Education, Brain Development.

Introdução

O desejo de compreender a essência do ser humano, como pensamos, processamos emoções e sentimentos torna a neurociência tão fascinante (RIBEIRO, 2013). A expansão tecnológica propiciada pelo advento dos computadores e da internet alterou consideravelmente o conhecimento a cerca da cognição humana. Porém, ainda observamos um grande descompasso entre produção científica e divulgação desses conhecimentos, o que se torna um desafio aos profissionais da educação, pois necessitam realizar a transposição desses saberes para a prática pedagógica.

Conhecimentos advindos de estudos da neurociência e cognição buscam desvendar mecanismos relacionados à organização neuronal de processos como a aprendizagem, a utilização desses achados poderá contribuir de forma significativa para o aprimoramento de teorias do ensino, incentivando os educadores a transpor conceitos conservadores historicamente cultivados sobre o aprender e ensinar (METRING, 2011).

Existem fortes evidências de que as crianças recém-nascidas demonstram habilidades matemáticas básicas (LEIBOVICH, 2017), como demonstrado por Wynn (1992) através de seus experimentos com bebês, indicando reações relacionadas à adição e subtração de objetos (até quatro elementos) e a capacidade de realização de cálculos simples a partir dos seis meses de idade. De acordo com estudos de Piaget, a partir da teoria do conceito numérico da criança, demonstrou-se que no período operatório (6 a 7 anos) a criança é capaz de utilizar de forma consciente o pensamento lógico matemático (RITTLE-JOHNSON; SCHNEIDER; STAR, 2015).

Para Piaget, construímos nosso conhecimento através das dúvidas no momento em que buscamos saná-las, aprimorando as respostas conforme cada etapa da vida, formando um círculo contínuo de aprendizagem. Na educação infantil as crianças poderão adquirir conhecimentos que serão utilizados por toda sua vida, durante esse período crítico a escola apresenta uma vital importância para o desenvolvimento adequado, pois construirá a base do aprendizado, em especial da aprendizagem matemática (HENRIQUES-SANTOS, 2013).

Os professores apresentam um papel extremamente importante nessa fase do desenvolvimento, conforme afirmam Fiorentini e Oliveira:

O conhecimento matemático do professor não se limita aos aspectos conceituais, procedimentais e atitudinais da matemática escolar ou acadêmica. A compreensão da matemática, enquanto objeto de ensino e aprendizagem, implica, também, conhecer sua epistemologia e história, sua arqueologia e genealogia, sua linguagem e semiose e sua dimensão político-pedagógica no desenvolvimento das pessoas e da cultura humana. A matemática também precisa ser compreendida em sua relação com o mundo, enquanto instrumento de leitura e

compreensão da realidade e de intervenção social, o que implica uma análise crítica desse conhecimento. (FIORENTINI; OLIVEIRA, 2013, p. 925)

A cognição matemática é essencial para o sucesso acadêmico e pessoal desses jovens. Diversos estudos evidenciam que o desenvolvimento cognitivo aritmético se inicia numa fase muito precoce da vida das crianças (ABREU-LIMA; LIGO; MONTEIRO, 2012). Várias iniciativas buscam compreender a razão pela qual persiste o padrão de insucesso no domínio da matemática e a proposta deste estudo é evidenciar a importância da formação continuada de educadores e como os estudos advindos da neurociência podem auxiliá-los nos desafios da sala de aula, em especial no contexto da educação inclusiva.

Fundamentos do Desenvolvimento Cerebral

O avanço tecnológico ocorrido nas últimas décadas propiciou acesso direto a mecanismos do funcionamento cerebral. Atualmente é possível estudar crianças e adultos realizando operações matemáticas, observando sua atividade neural em tempo real, bem como o impacto de diferentes condições emocionais sobre a atividade cerebral (BASTOS, 2008; BOALER, 2018; STERNBERG, 2008).

O Sistema Nervoso (SN) é composto por células que apresentam duas origens embrionárias, a maior parte delas provém da parede do tubo neural, que se forma a partir da invaginação do neuroepitélio embrionário (ectoderma). As células do neuroepitélio embrionário darão origem a três linhagens celulares principais: os neuroblastos, os glioblastos e as células ependimárias. Os neuroblastos originarão os diferentes tipos de neurônios do SN, os glioblastos formarão a macróglia (astrócitos, oligodendrócitos, células de Schwann) e as células ependimárias o revestimento interno dos ventrículos cerebrais e plexo coróide (LENT, 2001; HOF *et al.*, 2003).

Estruturalmente um neurônio típico apresenta três regiões morfológicamente distintas. O corpo celular, que é o centro metabólico da célula, e dele originam-se dois tipos de prolongamentos: os dendritos e o axônio. Os dendritos são processos neurais que podem amplamente ramificarem-se dando origem a uma densa rede de processos denominados árvore dendrítica; nelas encontram-se as espinhas dendríticas, e estas surgem na ramificação dendrítica principal sendo os locais por onde se dá a entrada de informações que os neurônios recebem de outras células. Axônio é um processo tubular fino que se estende do corpo celular do neurônio, apresenta uma série de proteínas especializadas em sua membrana plasmática, as quais permitem a ele transmitir, rapidamente, sinais elétricos pela sua extensão, como apresentado na figura 1 - A (LENT, 2001; HOF *et al.*, 2003).

Anatomicamente, o cérebro é formado pelo telencéfalo e o diencefalo. Os hemisférios encefálicos direito e esquerdo são separados pela fissura sagital. A camada externa do cérebro é recoberta superficialmente pelo córtex cerebral, sendo altamente invaginada, composta por sulcos e giros. Didaticamente, a superfície cortical é subdividida em lobos conforme a relação topográfica com os ossos do crânio (lobos frontal, parietal, occipital, temporal), como evidenciado na figura 1 - B, e apresenta áreas especificamente associadas a determinadas funções sensoriais, motoras ou associativas como na medula e no tronco. A integridade funcional do córtex é essencial para a realização de funções conscientes e associativas complexas (LENT, 2001; HOF *et al.*, 2003).

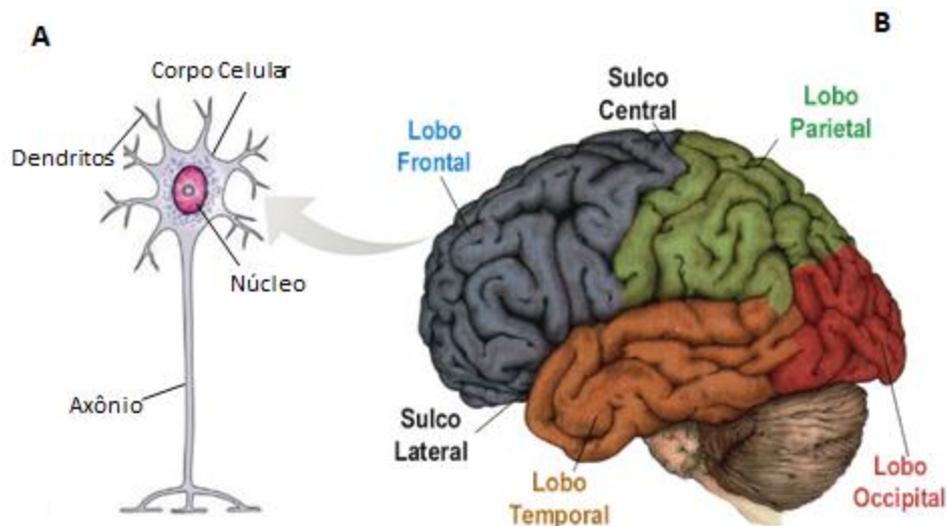
Algumas áreas corticais são consideradas associativas por executarem funções

integrativas de alta ordem que não são nem puramente sensoriais nem puramente motoras. Essas áreas corticais associativas correlacionam a entrada de informações sensoriais à resposta motora efetuando processos mentais que intervêm entre a entrada de informação sensorial e saída da informação motora. Os processos mentais atribuídos a essas áreas incluem interpretação de informação sensorial, associação de percepções com experiências prévias, focalização de atenção e exploração do ambiente (LENT, 2001; HOF *et al.*, 2003).

Para que o cérebro seja capaz de gerar uma percepção integrada, suas células nervosas devem estar interconectadas de forma precisa e ordenada. No entanto, as conexões não são exatamente idênticas. Estudos evidenciam que as conexões celulares podem ser modificadas pela estimulação, atividades ou aprendizado. Eventos específicos são recordados porque a estrutura e conexões entre as células neurais são modificadas por esses eventos (LENT, 2001; HOF *et al.*, 2003).

Um dos fenômenos mais incríveis evidenciado por sucessivos estudos é a Plasticidade Neural, caracterizada pela capacidade do cérebro adaptar-se, em um período muito curto, refutando a antiga teoria de que os cérebros com os quais as pessoas nasciam não poderiam ser alterados (BASTOS, 2008; BOALER, 2018).

Figura 1 – Representação esquemática da organização cortical e estrutura geral de um neurônio. A) Estrutura neuronal (corpo celular, dendritos e axônio); B) Córtex cerebral e sua divisão em lobos (frontal, parietal, temporal e occipital).



Fonte: Imagens adaptadas de Junqueira e Carneiro (2003) e Bear, Connors e Paradiso (2002).

É exatamente por esse fator que os primeiros anos de vida da criança, a chamada Primeira Infância, são essenciais para seu desenvolvimento, tanto físico quanto cognitivo, pois a mesma neuroplasticidade essencial para a adaptação favorável também torna esses jovens cérebros vulneráveis precocemente devido a ambientes estressantes. Portanto, em especial nesse período de maturação das funções neurais, deve-se combinar o enriquecimento ambiental à prevenção de adversidades significativas (SOUZA, 2011).

Neuroimagens fetais indicam que já na fase intrauterina começa o

desenvolvimento neuropsicomotor, na terceira semana de gravidez é possível identificar estruturas nervosas primitivas. O acompanhamento do pré-natal, da forma como se deu o nascimento e a vida escolar é necessário, pois favorece a identificação de possíveis má formações, possibilitando assim um trabalho de estimulação precoce da motricidade e, principalmente, dos processos de aprendizagem (ANSARI, 2008; BASTOS, 2008; KAUFMANN *et al.*, 2013).

A plasticidade neural, em especial nos primeiros anos de vida, confere ao cérebro uma maior facilidade para estabelecer novas ligações. Se for uma informação que se usará somente por um curto período de tempo, essa informação irá para a memória de curto prazo e não haverá o processo de mielinização. Em pouco tempo essa informação será perdida ou apagada. Porém, a repetição daquela mesma informação irá gerar cada vez mais mielinização tornando mais fortes os dendritos responsáveis por guardá-la. Essa mielinização gera uma alteração física no cérebro. Desse modo, entende-se que a aprendizagem estabeleça alterações profundas no cérebro. Como afirma Izquierdo:

Memória é aquisição, a formação, a conservação e a evocação de informações. A aquisição é também chamada de aprendizagem: Só se grava aquilo que foi aprendido. A evocação é também chamada de recordação, lembrança, recuperação. Só lembramos aquilo que gravamos daquilo que foi aprendido. (2002, p. 9)

Diante do exposto, do ponto de vista fisiológico, temos que a memória pode ser definida como a capacidade que uma pessoa possui de alterar seu comportamento em decorrência de experiências prévias, devido a modificações na circuitaria neural em função da interação do indivíduo com o ambiente. (CORSO; DORNELES, 2012; IZQUIERDO, 2002)

Neurobiologia da aprendizagem matemática

Os pesquisadores da Ben-Gurion University of the Negev, Israel, coordenados pelo Dr. Leibovich afirmam que poderemos ensinar matemática de uma forma mais intuitiva e agradável se formos capazes de entender a maneira como o cérebro codifica e compreende os números e os conceitos matemáticos, desde os básicos até os mais complexos (LEIBOVICH, 2017), evidenciando o importante papel da neurociência para a elaboração de novas teorias de ensino que aperfeiçoem a aprendizagem matemática. Uma das maneiras de compreendermos como o cérebro processa as informações matemáticas é através do estudo das funções cognitivas inerentes à execução e fluência-matemática.

A neurociência é um campo interdisciplinar que investiga potenciais substratos neurais para processos mentais, dentro dessa abordagem se desenvolvem as pesquisas sobre cognição numérica, isto é, as bases cognitivas e neurais dos números e da compreensão matemática (WEINSTEIN, 2014).

Podemos dividir as habilidades matemáticas em biologicamente primárias ou secundárias. Em um contexto de desenvolvimento típico, as habilidades primárias desenvolvem-se sem a necessidade de instrução e estão ligadas à capacidade de aproximação numérica e à numerosidade ou subitização (RYKHLEVSKAIA *et al.*, 2009). As habilidades matemáticas secundárias requerem instrução e prática, sendo caracterizadas pelo desenvolvimento da habilidade espacial formando, assim, a conhecida – linha numérica mental – que consiste na representação dos números ao

longo de uma linha, sendo esta a base que permitirá o cálculo mental (KAUFMANN *et al.*, 2011).

A habilidade básica de perceber e comparar quantidades não simbólicas de itens, denominada numerosidade é percebida tanto em humanos como em outros animais (LENT, 2001; STERNBERG, 2008; WEINSTEIN, 2014) e refere-se à capacidade de discernir rapidamente o número de um conjunto com até quatro elementos, conferindo a capacidade de responder diferencialmente ao acréscimo ou retirada de elementos nesse conjunto (SANCHEZ JÚNIOR; BLANCO, 2018). Vários estudos descritos na literatura sugerem que a subitização tenha base filogenética e, dessa forma, tanto o senso numérico como os processos de subitização, aproximação de grandes numerosidades ou estimativa podem ser observados em seres humanos antes do primeiro ano de vida (DEHAENE *et al.*, 1996; SANCHEZ JÚNIOR; BLANCO, 2018).

Como já mencionado, pesquisas evidenciam que a correta introdução de competências numéricas nos primeiros anos de vida são preditivas para a aprendizagem matemática nos anos escolares, sendo essas habilidades básicas o alicerce para a construção de futuras representações numéricas simbólicas (WYNN, 1992; BASTOS, 2008; WEINSTEIN, 2014).

Em seus estudos Dehaene (1996; 1999; 2000) apresenta o conceito de senso numérico como a capacidade de compreender rapidamente, aproximar e manipular quantidades numéricas. Sendo considerada a capacidade aritmética mais básica e, talvez, inata de reconhecer, representar, comparar, estimar, julgar magnitudes não verbais, somar e subtrair números sem a utilização de recursos de contagem (SANCHEZ JÚNIOR; BLANCO, 2018).

O sistema secundário inclui o Processamento Numérico e pode ser subdividido em compreensão numérica, produção numérica e cálculo (SANCHEZ JÚNIOR; BLANCO, 2018). A criança só terá condições de trabalhar mentalmente com fatos aritméticos, como será requerido em sua formação, se a aprendizagem matemática nos anos iniciais for bem-sucedida, ou seja, quando as noções de números elementares de 0 a 9 (habilidade léxica), a produção de novos números (habilidade sintática), as noções de quantidade, ordem, tamanho, espaço, distância, hierarquia, os cálculos com as quatro operações e o raciocínio matemático forem trabalhados adequadamente (BASTOS, 2008).

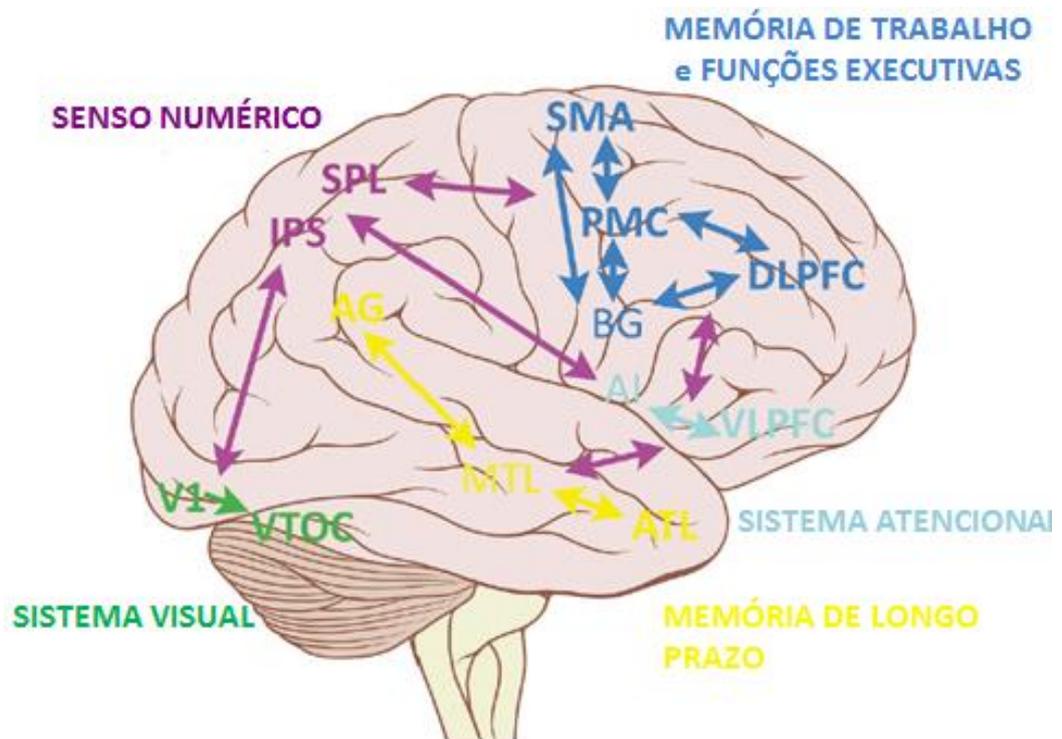
Segundo Bastos (2008), a fluência matemática pode ser analisada sob três aspectos: eficiência, acurácia e flexibilidade. A eficiência é a capacidade de executar os vários passos ou caminhos lógicos e elaborar estratégias para a solução de problemas, estando diretamente relacionada à memória de trabalho. Acurácia se refere ao conhecimento dos fatos numéricos, combinações e outras importantes relações numéricas, informações referentes à memória automática. Já a flexibilidade é o conhecimento de mais de uma abordagem para resolver problemas, que permite ao estudante escolher uma estratégia apropriada e checar o trabalho resultante, apresentando relação direta com o bom desempenho das funções executivas superiores (BASTOS, 2008).

Redes Neurais e a Cognição Matemática

Como enunciado, a cognição matemática depende de habilidades consideradas básicas associadas ao processamento viso-espacial de quantidades (numerosidade, sistema de aproximação numérica e linha numérica mental). Porém, sugere-se que

outras funções como a linguagem, a memória de trabalho e a atenção são fundamentais para o desempenho aritmético (KAUFMANN; KUCIAN; VON ASTER, 2015; PINA *et al.*, 2014; VERDINE *et al.*, 2014). Imagens cerebrais revelam uma rede neural complexa envolvida na realização do processamento e cálculo de números, como evidenciado na Figura 2. Segundo Kucian (2016) e Menon (2014) podemos didaticamente diferenciar o processamento das habilidades aritméticas em cinco redes neurais básicas:

Figura 2 – Modelo da rede neuronal para processamento numérico. Em verde - Regiões do córtex occipital (córtex visual primário (V1), córtex ventro-temporo-occipital (VTOC)). Em lilás - Sulco intraparietal (IPS) e o lobo parietal superior (NPS). Em azul - Áreas parietais (IPS, giro supramarginal) e córtex pré-frontal (córtex pré-motor (PMC), área motora suplementar (SMA), córtex pré-frontal dorsolateral (DLPFC)) e subcorticais (Núcleos da Base, do inglês basal ganglia (BG)). Em amarelo - Giro angular (AG), lobo temporal anterior (ATL) e temporal médio (MTL). Em azul claro - Insula anterior (AI) e córtex pré-frontal ventrolateral (VLPFC).



Fonte: Adaptado de Kucian (2016) e Menon (2014).

- Identificação Visual - Regiões do córtex occipital (córtex visual primário (V1), córtex ventro-temporo-occipital (VTOC)) decodificam a entrada visual para o processamento de magnitudes, dígitos arábicos entre outros.

- Sentido Numérico - O sulco intraparietal (IPS) e o lobo parietal superior (NPS) trabalham em conjunto para formar a representação visuoespacial para quantificação, as regiões no lobo parietal representam as áreas centrais da compreensão numérica, também conhecidas como o local de formação do sentido numérico no cérebro.

- Funções Executivas e Memória de Trabalho - As áreas parietais (IPS, giro supramarginal) e córtex pré-frontal (córtex pré-motor (PMC), área motora suplementar

(SMA), córtex pré-frontal dorsolateral (DLPFC)) juntamente com áreas subcorticais (Núcleos da Base, do inglês basal ganglia (BG)) estão envolvidas na formação da Memória de trabalho e circuitos das funções executivas, criando uma hierarquia de representações de curto prazo que permitem a manipulação de entrada numérica durante vários segundos. As funções executivas, como planejamento, controle e raciocínio lógico também desempenham um papel relevante durante a solução de problemas numéricos.

- Memória de Longo Prazo - O giro angular (AG) no córtex parietal, bem como em regiões temporais, incluindo o lobo temporal anterior (ATL) e temporal médio (MTL), além de importantes áreas subcorticais, como o hipocampo e a amígdala são responsáveis pela formação da memória de longo prazo para fatos numéricos.

- Sistema Atencional - A ínsula anterior (AI) e o córtex pré-frontal ventrolateral (VLPFC) guiam os processos pré-frontais relacionados ao sistema atencional, guiando e mantendo o comportamento na resolução de problemas direcionados a um objetivo.

A rede responsável pelo Senso Numérico é considerada o bloco básico da construção aritmética cerebral, pois coordena a diferenciação de magnitude e cardinalidade do número, além de realizar manipulações da quantidade numérica (MENON, 2014). O IPS é ativado sempre que representações de magnitude numérica são apresentadas, mesmo na ausência de tarefas numéricas propriamente ditas como, por exemplo, a observação de quantidades variáveis de pontos ou objetos (KUCIAN, 2016; KAUFMANN *et al.*, 2013).

Roland e Friberg (apud BASTOS, 2008) foram os primeiros a estudar o fluxo sanguíneo regional durante a execução de cálculos matemáticos, demonstrando que as áreas parietais inferiores e o córtex pré-frontal são ativados nesse processo. Estudos por tomografia com emissão de pósitrons (PET) e ressonância magnética funcional (RMf) também corroboram esses achados. (BASTOS, 2008).

Evidências genéticas, neurobiológicas e epidemiológicas indicam que a aprendizagem matemática envolve ambos os hemisférios, embora a área parietotemporal apresente um especial significado (BUTTERWORTH; VARMA; LAURILLARD, 2011).

As áreas occipitotemporais inferiores de ambos os hemisférios, as quais estão envolvidas no processo de identificação visual que originam a forma dos números arábicos. A área perissilviana esquerda está envolvida na representação verbal dos números, já as áreas parietais inferiores de ambos os hemisférios estão envolvidas na representação analógica quantitativa (BASTOS, 2008).

O processamento numérico e aritmético envolve funções cognitivas relacionadas à memória, atenção, percepção motora e espacial. O córtex pré-frontal está associado a diversos processos cognitivos, sendo exigido em tarefas de cálculo matemático, nas quais desempenha um papel crucial no monitoramento, escolha de estratégia, planejamento e manipulação de informações numéricas (KUCIAN, 2016).

Um adequado processamento aritmético é favorecido pela integridade visual, auditiva e atencional, auxiliando na decodificar visual de forma, das características fonológicas do estímulo, e pelo lobo parietal associado ao sistema atencional favorecendo a construção das representações semânticas de quantidades numéricas (MENON, 2014).

Os sistemas de memória de procedimentos e de trabalho, os quais dependem

dos núcleos da base e dos circuitos frontoparietais criam representações de curta duração, as quais suportam a manipulação de múltiplas quantidades numéricas durante vários segundos (MENON, 2014). Os sistemas de memória episódica e semântica desempenham um papel importante, sendo responsáveis pelo armazenamento da memória de longa duração. O controle pré-frontal dos processos orientam e mantêm a atenção a serviço da tomada de decisões direcionadas (MENON, 2014).

Problemas relacionados aos *déficits* na aprendizagem matemática podem estar relacionados não só a problemas didáticos, mas também podem apresentar base em problemas neurológicos nas estruturas citadas anteriormente, sendo necessária nesses casos, a realização de um estudo diagnóstico, assim como a implementação de intervenções adequadas. Dentro do ambiente escolar o primeiro e principal contato das crianças é com o professor, o qual precisa de um olhar diferenciado para auxiliar da melhor maneira possível o desenvolvimento adequado de seus educandos (BERNARDI; STOBÄUS, 2011; HENRIQUES-SANTOS; GOMES, 2014).

Ação pedagógica e o desenvolvimento das habilidades aritméticas

Após a gestação, os bebês são inseridos em um universo no qual os conhecimentos matemáticos são parte integrante, onde a maior parte dos estímulos a que são expostos envolvem situações relacionadas a números, relações entre quantidades, noções sobre espaço. Mesmo estando no início do seu desenvolvimento cerebral as crianças são capazes de utilizar recursos próprios e pouco convencionais para interpretar o ambiente que as cercam, mesmo de maneira inconsciente elas recorrem a contagem e operações para resolver problemas cotidianos, como conferir figurinhas, marcar e controlar os pontos de um jogo, repartir as balas entre os amigos, mostrar com os dedos a idade, manipular o dinheiro e operar com ele, dentre outras atividades. As crianças não apenas observam, mas também atuam no espaço ao seu redor e, aos poucos, ganham domínio sobre seus deslocamentos, descobrem caminhos, estabelecem sistemas de referência, identificam posições e comparam distâncias (BRASIL, 1998; 2017).

As experiências não verbais significativas apresentam o papel principal na consolidação das habilidades aritméticas essenciais. Para favorecer o desenvolvimento da percepção viso-espacial, é preciso trabalhar com a percepção de figuras e de formas, observar detalhes, semelhanças, diferenças relacionando-as com as experiências do dia-a-dia, tais como fotos, imagens, tamanho, largura e espessura, após esse primeiro passo, deve-se trabalhar com números, letras e figuras geométricas. (LEIBOVICH, 2017; RITTLE-JOHNSON; SCHNEIDER; STAR, 2015; SEIBERT, 2014).

Diversos estudos evidenciam que a maturação cerebral em crianças não esta completa, durante o processo do desenvolvimento cerebral os sistemas neurocognitivos passam por processos de diferenciação funcional em diversas regiões específicas do cérebro (BERL; VAIDYA; GAILLARD, 2006; KARMILOFF-SMITH, 1998; KAUFMANN; KUCIAN; VON ASTER, 2015; KUCIAN; KAUFMANN, 2009). Em relação ao desenvolvimento da cognição numérica, sugere-se que com o aumento da idade e de experiências as representações dos números e suas interconexões sofrem mudanças qualitativas (KUCIAN; KAUFMANN, 2009; KUCIAN, 2016).

Fortes evidências sugerem uma alteração anterior-posterior da atividade

cerebral associada ao processamento de números e aritmética durante o desenvolvimento (ANSARI *et al.*, 2005; KUCIAN *et al.*, 2008; RIVERA *et al.*, 2005). Acredita-se que essas mudanças reflitam na diminuição do recrutamento dos mecanismos de processamento de suporte (frontal) talvez relacionados ao uso de contagem para enumerar e aritmética simples, observando-se assim um aumento na especialização funcional de regiões cerebrais numéricas relevantes (frontoparietais) (KAUFMANN *et al.*, 2011). Além disso, a eficácia do cálculo depende potencialmente do desenvolvimento de estratégias mais sofisticadas que requerem recuperação automatizada de fatos aritméticos e processamento de quantidades, bem como de dígitos arábicos, conhecimentos esses que dependem da educação matemática formal (KUCIAN, 2016).

O universo aritmético faz parte do cotidiano de todo ser humano desde cedo, o fazer matemática esta relacionado à apresentação de ideias, no processo de escutar uma outra pessoa, formulação e divulgação de procedimentos, na resolução de problemas, na previsão ou antecipação de resultados. Portanto, a cognição numérica faz parte de grande parte dos nossos processos de tomada de decisão, na produção de conhecimento e não esta restrita apenas à execução de instruções. Dessa forma, o desenvolvimento aritmético desempenha um papel fundamental na formação de cidadãos autônomos (BRASIL, 1998; 2017).

A análise do estudar noções aritméticas dentro da educação infantil atende às necessidades das próprias crianças de construir conhecimentos que causarão impacto nos mais variados domínios do pensamento e também corresponde a uma necessidade social ao instrumentalizá-las melhor para integrar de forma eficiente a sociedade que as cercam (BRASIL, 1998; 2017).

Apesar da grande gama de aplicações, para auxiliar no desenvolvimento das habilidades aritméticas o professor necessita selecionar o método de intervenção mais adequado a ser aplicado em cada caso (BERNARDI; STOBÄUS, 2006). Como afirma Kagan e Kagan (1998 *apud* SOUSA, 2002):

[...] Podemos aceitar que o melhor ensino e a melhor aprendizagem ocorrem quando usamos a maior variedade de métodos possíveis para facilitar a aprendizagem dos estudantes (p. 107).

Em especial na perspectiva da educação inclusiva deve-se dar enfoque ao ensino da matemática não formal por meio da realização de jogos, atividades lúdicas e colaborativas, as quais envolvam todos os alunos e os coloquem a cargo da própria aprendizagem (FIORENTINI; MIORIM, 1990; HENRIQUES-SANTOS; GOMES, 2014; HENRIQUES-SANTOS, 2013; HENRIQUES-SANTOS, 2014).

Métodos de fácil acesso, que promoverão o desenvolvimento da criança, podem ser aplicados em diversas situações na sala de aula como, por exemplo, o uso das mãos como instrumento de contagem e em alguns casos o uso de calculadora (BERNARDI; STOBÄUS, 2011; CARVALHO, 2013; KAUFMANN *et al.*, 2013; RUBINSTEN, 2015; SILVA, 2006).

O uso de jogos como recurso didático é uma alternativa eficiente que permite o desenvolvimento da criatividade e a formação do raciocínio lógico. Sendo um recurso lúdico que leva à motivação para a aprendizagem, ampliam a autoconfiança, a organização, a concentração, a atenção e o raciocínio dedutivo (FIORENTINI; MIORIM, 1990; ATTOUT; MAJERUS, 2014; SILVA, 2006; HENRIQUES-SANTOS; GOMES, 2014; HENRIQUES-SANTOS, 2013; HENRIQUES-SANTOS, 2014). Jogos são recursos com os quais os educandos podem produzir e compreender conceitos

matemáticos de forma intuitiva, além de incentivarem a criação de estratégias de forma lúdica (RAMOS; MOHN; CAMPOS, 2019; GRANDO, 2000).

Bastos (2008) nos sugere algumas importantes categorias de estímulos e métodos de intervenção que devem ser aplicados no contexto da educação inclusiva:

- Percepção de figuras e formas: experiências graduadas e simples, observando detalhes, semelhanças e diferenças;
- Espaço: localização de objetos em cima, embaixo, no meio, entre, primeiro, último, etc;
- Ordem e sequência: primeiro, segundo, etc., dias da semana, ordem dos números, dos meses, das estações do ano;
- Representação mental: indicar, com as mãos e os dedos, o tamanho e comprimento dos objetos; preencher espaços com figuras de tamanho específico, escolhidas entre outras de mesma forma, porém com tamanhos diferentes;
- Conceitos de números: trabalhar correspondência um a um, construir fileiras idênticas de objetos, associar o símbolo e a compreensão auditiva à quantidade por meio de atividades rítmicas;
- Operações aritméticas: trabalhar adequadamente para que a criança entenda que a adição se dá pelo acréscimo; a subtração, pela diminuição; a divisão se dá repartindo; e a multiplicação é uma sucessão de somas de parcelas iguais.

Diversos estudos contribuíram de maneira significativa para a compreensão do desenvolvimento das habilidades matemáticas. Aebli e colaboradores desenvolveram um modelo didático para descrever o aprendizado da matemática, dividindo-o em quatro passos (1998, *apud* BASTOS, 2008):

- Passo 1: Ação que inclui objetivos reais (por exemplo: “Eu tenho 5 maçãs e tiro 3, quantas ficam?”);

- Passo 2: Ilustração simbólica da operação matemática. A representação realística é modificada para uma forma mais abstrata (por exemplo: “Se eu apagar 3 dos 5 círculos desenhados na lousa, quantos ficarão?”);

- Passo 3: Transformação dos símbolos em números, com a vantagem da aplicabilidade universal (por exemplo: “Quanto é 5 menos 3?”);

- Passo 4: Automatização dos resultados conhecidos, por meio da repetição.

É importante ressaltarmos que a relação entre os numerais com suas respectivas quantidades (números e sua ideia) quando iniciada de modo lúdico, através de brinquedos, brincadeiras, narração de histórias, jogos e atividades cotidianas diversificadas favoreceram o processo de ensino-aprendizagem, fazendo com que se estabeleça uma relação profunda de sentidos e significados entre o conteúdo abordado e o educando (HENRIQUES-SANTOS; GOMES, 2017a; 2017b).

Apesar das limitações metodológicas de sua época, Jean Piaget através do seu método “clínico” contribuiu significativamente para a compreensão do processo de aprendizagem matemática. Obviamente, evidências científicas indicam a existência de habilidades matemáticas inatas, como o senso numérico, porém, é inegável que a aprendizagem da matemática formal é um processo de construção e os estágios observados por Piaget condizem com o desenvolvimento dos conceitos matemáticos observados nas crianças. Constance Kamii, aluna e colaboradora de Piaget, evidenciou a utilidade prática das teorias por ele propostas, no contexto da sala de aula, contribuindo de forma inegável para o desenvolvimento de metodologias de

ensino. Kamii e seus colocadores concederam especial atenção ao “como” as crianças aprendem e ao papel ativo do aluno para o desenvolvimento do seu raciocínio lógico (KAMII, 1990).

De acordo com Piaget os estágios de desenvolvimento pelos quais as crianças passam podem ser mensurados por meio de alguns testes conhecidos como provas piagetianas, nas quais são aplicados desafios de raciocínio lógico-matemático, sendo observada a resposta da criança, sem, no entanto, intervir em sua resolução (LOMASSO; IGLIORI, 2018). As provas piagetianas são uma ferramenta muito rica para o trabalho individualizado realizado com crianças com necessidades educacionais especiais, pois facilitam a percepção do aprendizado e avanço dessas crianças no decorrer da prática pedagógica, além da avaliação do seu processo pessoal de desenvolvimento.

Piaget através de seus estudos sugere a necessidade de estabelecer uma relação quantitativa entre determinados elementos e o número correspondente a essa quantidade para que ocorra a real compreensão do conceito de número na criança. Dessa forma, as provas piagetianas indicam que ensinar número corresponde à síntese classificação, seriação e correspondência termo a termo (LOMASSO; IGLIORI, 2018).

Uma estratégia corroborada pela Neurociência é a importância do estímulo visual para a compreensão matemática, influenciando o desempenho dos estudantes (BOALER, 2018). Da mesma forma como o estímulo tátil e a representação cerebral dos dedos, estudos indicam que existe uma representação mental dos dedos no cérebro mesmo quando não utilizados diretamente no cálculo, sendo que essa representação se mantém mesmo na vida adulta (BERTELETTI; PRADO; BOOTH, 2014; BOALER, 2018; PENNER-WILGER; ANDERSON, 2013).

Dados comportamentais demonstram que a prática de perceber e representar os próprios dedos de diferentes maneiras confere um melhor desempenho em matemática tanto em crianças típicas como atípicas, com especial efeito no aprimoramento do processo de subitização (LADDA *et al.*, 2014; GRACIA-BAFALLI; NOEL, 2008; BOALER, 2018). Uma ferramenta muito eficaz em crianças que apresentam problemas relacionados à aprendizagem matemática, sendo um recurso extremamente útil envolvendo diversos níveis de abstração para resoluções de problemas lógico-matemáticos (KAMII, 1990).

Discussão

Considerando o protagonismo do cérebro no processo de aprendizagem, enfatizamos as contribuições da Neurociência na perspectiva da educação especial para a formação continuada de professores. O diálogo direto entre neurocientistas e educadores pode contribuir para um diagnóstico mais abrangente e confiável do perfil de habilidades e dificuldades dos educandos, auxiliando também no desenvolvimento de intervenções educacionais significativas e mais eficazes.

A aplicação de estratégias pedagógicas baseadas no processamento biológico da cognição matemática serão uma importante ferramenta que promoverá a aprendizagem de fato de crianças portadoras de necessidades educacionais especiais. Como evidenciado anteriormente, é de extrema importância auxiliar no desenvolvimento das habilidades aritméticas primárias, as quais serão a base para o desenvolvimento cognitivo, sendo relevante a aplicação de diferentes tipos de estímulos para o ensino de um mesmo assunto matemático (música, imagens, sons,

material concreto, dramatização) fundamentais não só na educação infantil, mas em todo o processo de ensino aprendizagem, inclusive na educação superior (BOALER, 2018).

A facilitação da linguagem matemática através da apresentação de esquemas visuais promoverá a inclusão de todos os alunos, em especial dos que apresentam dificuldades na aprendizagem matemática, pois estimulará redes neurais que dão suporte à compreensão numérica. A aplicação dessas estratégias leva em consideração o fato de que o processamento aritmético recruta o cérebro como um todo, como evidenciado na figura 2, não apenas uma região específica, à medida que mais áreas são estimuladas aumenta-se a probabilidade de que a compreensão e aprendizagem sejam efetivas.

Dada a importância de uma formação interdisciplinar, para o melhor aproveitamento, tanto do professor como do aluno, este trabalho sugere, em ressonância com diversos outros estudos, uma colaboração entre a neurociência e a educação matemática, na qual ambas as áreas produzirão melhorias no ensino de nossas crianças, em especial, as que apresentam *déficits* de aprendizagem.

Diante do que foi apresentado é extremamente relevante aos professores que ensinam matemática na Educação Infantil e Ensino Fundamental o estudo da Cognição Numérica, a compreensão do processo envolvido no desenvolvimento do raciocínio matemático da criança, desde o senso numérico (sistema primário) até a aprendizagem da Matemática formal (sistema secundário), o qual auxiliará na prática pedagógica desses docentes (SANCHEZ JÚNIOR; BLANCO, 2018).

O investimento em uma educação de qualidade na Primeira Infância é a melhor maneira de reduzir as desigualdades, enfrentar a pobreza e construir uma sociedade com condições sociais mais justas, pois concede possibilidades de desenvolvimento cognitivo pleno, sendo a plasticidade neural uma forte evidência da capacidade do cérebro em responder mediante estímulos que induzem o desenvolvimento (SOUZA, 2011).

Os achados científicos apresentados neste estudo reforçam a hipótese de que a Matemática deve ser tratada como um componente do cotidiano e não como um “bicho de sete cabeças”, pois além de ser uma habilidade a princípio inata faz parte da maioria das atividades desenvolvidas na Primeira Infância, sendo dessa forma o grande desafio do educador manter esse caráter lúdico e orgânico da cognição numérica durante todo o processo de escolarização, o que facilitará grandemente o desenvolvimento de habilidades matemáticas mais complexas mesmo em crianças com necessidades especiais.

Conclui-se que a compreensão da cognição numérica é fundamental para todos os docentes, em especial o professor que atua na Educação Especial, favorecendo sua prática de ensino, auxiliando na escolha de métodos para favorecer a aprendizagem matemática. O uso de diferentes estímulos e a integração do lúdico no processo de ensino-aprendizagem mostram-se as ferramentas mais adequadas para a sala de aula em todas as idades (BRASIL, 2017; BASTOS, 2008; HENRIQUES-SANTO; GOMES, 2014).

Na medida que o professor tem ciência de como a cognição numérica se desenvolve, passa a perceber a importância do desenvolvimento de determinadas habilidades mais básicas pela criança, as quais facilitarão a aquisição de habilidades mais complexas. Desse modo, esses profissionais desenvolverão com maior

praticidade atividades direcionadas efetivamente ao desenvolvimento cognitivo de seus alunos (SANCHEZ JÚNIOR; BLANCO, 2018).

Diante do exposto, sugere-se que os profissionais busquem aprimorar-se cada vez mais em seus conhecimentos sobre o processo do desenvolvimento cognitivo, levando-o em consideração durante o planejamento de suas práticas pedagógicas.

Considerações finais

Nas últimas décadas os neurocientistas adquiriram uma compreensão mais elaborada das formas como nosso cérebro trabalha; percebe-se que apesar da Matemática recrutar uma rede neural complexa, seus mecanismos cognitivos podem ser estimulados e potencializados por estratégias simples aplicadas em sala de aula, que estimulem sistemas como o viso-espacial e motor, dando enfoque também para a discriminação dos dedos, não exclusivamente na contagem, constituindo-se estratégias essenciais para auxiliar o desenvolvimento cerebral e o futuro sucesso acadêmico, tornando as aulas de Matemática muito mais prazerosas e com significado e sentido para alunos típicos e atípicos. Este artigo, com seu intuito apresentado inicialmente, trouxe ao longo de sua exposição, várias razões pelas quais persiste o padrão de insucesso no domínio da aprendizagem matemática. Por meio de uma síntese bibliográfica que integra neurociência, cognição e educação matemática pode-se evidenciar a contribuição desses estudos e dessa integração para os desafios presentes na sala de aula, principalmente, para a inclusão e para a educação especial. Para que essa contribuição se efetive, faz-se necessário que a neurociência seja cada vez mais considerada e integrada nas formações iniciais e continuadas de professores, em particular, os que ensinam matemática.

Referências

- ABREU-LIMA, I.M.P.; LIGO, T.M.S.; MONTEIRO, A.F. **Representação na linha numérica: um estudo exploratório em crianças de idade pré-escolar**. In: **12º Colóquio Internacional de Psicologia e Educação - Educação, aprendizagem e desenvolvimento: olhares contemporâneos através da investigação e da prática**. Anais. Lisboa: ISPA, 2012, p. 1611-1624. Disponível em: http://repositorio.ispa.pt/bitstream/10400.12/5518/1/CPE_12_1611-1624.pdf. Acesso em: 15 jun. 2020.
- ANSARI, D. Effects of development and enculturation on number representation in the brain. *Nature reviews. Neuroscience*, v. 9, n. 4, p. 278-291, 2008.
- ANSARI, D.; GARCIA, N.; LUCAS, E.; HAMON, K.; DHITAL, B. . Neural correlates of symbolic number processing in children and adults. *Neuroreport*, v.16, p. 1769-1773, 2005.
- ATTOUT, L. , MAJERUS, S. Working memory deficits in developmental dyscalculia: The importance of serial order. *Child Neuropsychology*, v. 21, n. 4, p. 432-450. 2014.
- BASTOS, J. A. (Org.) **O cérebro e a matemática**. 1. ed. São José do Rio Preto: Independente, 2008.
- BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências: Desvendando o sistema nervoso**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002

BERL, M. M.; VAIDYA, C. J.; GAILLARD, W. D. Functional imaging of developmental and adaptive changes in neurocognition. **NeuroImage**, v. 30, 679-691. 2006.

BERNARDI, J. STOBBAUS, C. D. Discalculia: conhecer para incluir. **Rev. Educ. Espec.**, Santa Maria, v. 24, n. 39, p. 47-60, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/educacaoespecial/article/view/2386>. Acesso em: 30 jul. 2018.

BERTELETTI, I., PRADO, J., BOOTH, J. R. Children with mathematical learning disability fail in recruiting verbal and numerical brain regions when solving simple multiplication problems. **Cortex**, v. 57, p. 143-155, 2014.

BOALER, J. O cérebro e a aprendizagem de matemática. In: OLIVEIRA, P. A. de (Org.). **Mentalidades matemáticas: estimulando o potencial dos estudantes por meio da matemática criativa, das mensagens inspiradoras e do ensino inovador**. 1. Ed. Natal: Penso Editora, p. 1-9. 2018.

BRASIL. Referencial Curricular Nacional para a Educação Infantil. Brasília: MEC; SEF, 1998. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/volume3.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2020.

_____. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular: educação é a base. Brasília: MEC, 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: 28 set. 2020.

BUTTERWORTH, B; VARMA, S; LAURILLARD D. Dyscalculia: from brain to education. **Science**, v. 27, n. 6033, p. 1049-1053, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/51169475_Dyscalculia_From_Brain_to_Education. Acesso em: 29 jun. 2020.

CARVALHO, A. M. F. T. **Educação matemática e psicologia cognitiva: intervenção integrada em discalculia do desenvolvimento**. In: **VI Congresso Internacional de Ensino da Matemática**. Anais. Canoas: ULBRA. 2013. p. 353-364. Disponível em: <http://www.conferencias.ulbra.br/index.php/ciem/vi/paper/viewFile/1070/353>. Acesso em: 29 jun. 2020.

CORSO, L.V.; DORNELES, B.V. Qual o papel que a memória de trabalho exerce na aprendizagem da matemática?. **Bolema [online]**, v.26, n. 42b, p.627-648, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-636X2012000200011>. Acesso em: 14 jan. 2019.

DEHAENE, S.; TZOURIO, N.; FRAK, V.; RAYNAUD, L.; COHEN, L.; MEHLER, J.; MAZOYER, B. Cerebral actions during number multiplication and comparison a PET study. **Neuropsychologia**, v.34, p.1097-1106, 1996. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0028393296000279>. Acesso em: 14 jan. 2019.

DEHAENE, S.; SPELKE, E; PINEL, P; STANESCU, R.; TSIVKIN, S. Sources of mathematical thinking: behavioral and brainimaging evidence. **Science**, v. 284, p. 970-974, 1999. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/284/5416/970> Acesso em: 10 ago. 2018.

DEHAENE, S. Cerebral bases of number processing and calculation. In: GAZZANIGA, M.S. **The new cognitive neuroscience**. 2. ed. MIT, p. 987-998. 2000.

FIORENTINI, D.; OLIVEIRA, A. T. C. C. O Lugar das Matemáticas na Licenciatura em Matemática: que matemáticas e que práticas formativas? **Bolema - Mathematics**

Education Bulletin, v. 27, n. 47, p. 917-938, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-636X2013000400011. Acesso em: 10 jul. 2020.

FIORENTINI, D.; MIORIM, M.A. Uma reflexão sobre o uso de materiais concretos e jogos no Ensino da Matemática. **Boletim da SBEM**. SBM: São Paulo, a. 4, n. 7, 1990.

GRACIA-BAFALLUY, M.; NOËL, M. P. Does finger training increase young children's numerical performance? **Cortex**, v. 44, n. 4, p. 368-375, 2008.

GRANDO, R.C. **O conhecimento matemático e o uso de jogos na sala de aula**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, UNICAMP, 2000. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/251334/1/Grando_ReginaCelia_D.pdf. Acesso em: 15 out. 2020.

HENRIQUES-SANTOS, N F; GOMES, V. M. S. **Discalculia do desenvolvimento - integração entre neurociências e educação no apoio ao professor de educação infantil**. In: **IV ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**. Anais. IVEIC. Santo André: 2014. Disponível em:

<http://ic.ufabc.edu.br/simposios/index.php?conference=EIC&schedConf=4EIC2014&page=paper&op=view&path%5B%5D=1782>. Acesso em: 10 jun.2020.

_____. **Discalculia do Desenvolvimento: a Neurociência no Apoio à Educação Matemática Inclusiva**. In: LONGO, C.A.C.; HANITA, M. Y.; QUEIROZ, P.H. (Orgs.). **A pesquisa na formação inicial de professores**. 1. ed. São Carlos: Pedro & João Editores, 2017a, p. 99-113.

_____. **Neurociência e Educação Matemática no Apoio à Criança com Discalculia**. In: CARDOSO, V.C.; GOMES, V. M.S. (Orgs.). **Retratos da experiência sobre o ensinar e aprender matemática**. 1. ed. São Carlos: Pedro & João Editores, 2017b, p. 59-74.

HENRIQUES-SANTOS, N. F. **Integração entre Neurociências e Educação no estudo da Discalculia**. In: **IV Encontro Nacional das Licenciaturas/III Encontro Nacional PIBID**. Anais. ENALIC : Uberaba: 2013.

_____. **Discalculia do desenvolvimento - integração entre neurociências e educação no apoio ao professor de educação infantil**. In: **V Encontro Nacional das Licenciaturas/IV Encontro Nacional PIBID**. Anais. ENALIC Natal: 2014. Disponível em: <http://www.pibid.ufrn.br/eventos/venalic/anais/anexos/5124.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2020.

HOF, P. R.; TRAPP, B. D.; VELLIS, J.; CLAUDIO, L.; COLMAN. D. Cellular components of nervous tissue. IN: SQUIRE, L.; BLOOM, F. E.; McCONNELL, S.K.; ROBERTS, J. L.; SPITZER, N. C.; ZIGMOND, M. **Fundamental neuroscience**. 2. ed. San Diego, California: Academic Press. p. 49-78. 2003.

IZQUIERDO, I. **Memórias. Estudos Avançados**, v. 3, n. 6, p. 89-112, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ea/v3n6/v3n6a06.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2019.

JUNQUEIRA, L.C.; CARNEIRO, J. **Histologia Básica**, Texto e Atlas 12. ed. 2017. Disponível em:

<https://archive.org/details/HistologiaBasicaTextoEAtlasJunqueiraCarneiro12rEd/page/n185/mode/1up>. Acesso em: 29 jul. 2020.

KAMII, C. **A criança e o número: Implicações educacionais da teoria de Piaget para a atuação junto a escolares de 4 a 6 anos**. 11. ed. Campinas: Papyrus, 1990.

KARMILOFF-SMITH, A. Development itself is the key to understanding developmental disorders. **Trends in Cognitive Sciences**, v.2, p. 389-398, 1998

KAUFMANN, L.; MAZZOCCO, M.M; DOWKER, A.;VON ASTER. M.; GÖBEL, M.S; 7, GRABNER, G.H.; HENIK, A.; JORDAN, N.C.; KARMILOFF-SMITH, A.D.; KUCIAN, K; RUBINSTEN, O; SZUCS, D.; SHALEV, R.; NUERK, H.C. Dyscalculia from a developmental and differential perspective. **Frontiers in Psychology**, v. 4, n. 21, p. 1-5, 2013. Disponível em:

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2013.00516/full>. Acessado em 20 dez 2018.

KAUFMANN, L., WOOD, G., RUBINSTEN, O., HENIK, A. Meta-analyses of developmental fMRI studies investigating typical and atypical trajectories of number processing and calculation. **Developmental Neuropsychology**, v. 36, p.763-787, 2011.

KAUFMANN, L., KUCIAN, K., VON ASTER, M. Development of the numerical brain. In: DOWKER, A.; COHEN KADOSH R. (eds.) **Oxford handbook of numerical cognition**. Oxford University Press, p. 485-501, 2015.

KUCIAN, K.; KAUFMANN, L. A developmental model of number representation. **Behavioral and Brain Sciences**, v. 32, p. 340-341, 2009.

KUCIAN, K. Developmental dyscalculia and the brain. In: BERCH, D. C.; GEARY, K.; MANN KOEPKE, K. (Eds.), **Mathematical cognition and learning: V. 2. Development of mathematical cognition: Neural substrates and genetic influences**, p. 165-193, 2016. Elsevier Academic Press. Disponível em : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801871-2.00007-1>. Acesso em: 10 jul. 2020.

KUCIAN, K.; VON ASTER, M.; LOENNEKER, T.; DIETRICH, T.; MARTIN, E. Development of neural networks for exact and approximate calculation: A fMRI study. **Developmental Neuropsychology**, v. 33, p. 447-473, 2008.

LADDA, A. M.; PFANNMOELLER, J.P.; KALISCH, T.; ROSCHKA, S.; PLATZ, T.; DINSE, H.R.; LOTZE, M. Effects of combining 2 weeks of passive sensory stimulation with active hand motor training in healthy adults. **PloS one**, v. 9, n. 1, 2014. Disponível em: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0084402>. Acesso em: 05 jul. 2020.

LENT, R. **Cem Bilhões de Neurônios**. 1. ed. São Paulo: Atheneu 2001.

LEIBOVICH, T.; KATZIN, N.; HAREL, M.; HENIK, A. From “sense of number” to “sense of magnitude”: The role of continuous magnitudes in numerical cognition. **Behavioral and Brain Sciences**, 40, n. 164, p. 1-62 .2017. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/behavioral-and-brain-sciences/article/from-sense-of-number-to-sense-of-magnitude-the-role-of-continuous-magnitudes-in-numerical-cognition/460747F80685E25CC7256D83AD149718>. Acessado em: 20 ago. 2019.

LOMASSO, E.; IGLIORI, S.B.C. Uma engenharia didática para a formação continuada de professores polivalentes: o conceito de número. **Rev. Prod. Disc. Educ.Matem.**,

São Paulo, v.7, n.1, p. 120-132, 2018. Disponível em : <http://200.144.145.24/pdemat/article/view/37066/25293>. Acesso em: 27 jul.2020.

MENON, V. Arithmetic in the child and adult brain. In: R. Cohen Kadosh; A. Dowker (Eds.), **The oxford handbook of numerical cognition**. Oxford: Oxford University Press., p. 1-23. 2014. Disponível em:

https://med.stanford.edu/content/dam/sm/scsnl/documents/Menon_Arithmetic_in_the_Child_14.pdf. Acessado em: 15 jan. 2020.

METRING, R. **Neuropsicologia e aprendizagem: fundamentos necessários para planejamento do ensino**. Rio de Janeiro: Wak, 2011.

PENNER-WILGER, M.; ANDERSON, M. L. The relation between finger gnosis and mathematical ability: why redeployment of neural circuits best explains the finding.

Frontiers in Psychology, v. 4, n. 877, 2013. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3851991/>. Acesso em: 01 ago. 2020.

PINA, V., FUENTES, L.J., CASTILLO, A., DIAMANTOPOULOU, S. Disentangling the effects of working memory, language, parental education and Non-verbal intelligence on children's mathematical abilities. **J Front Psychol**, v. 5, p. 415, 2014.

RAMOS, M.L.S.; MOHN, R.F.F.; CAMPOS, R.C. Vivendo e aprendendo a jogar: ensinando matemática por meio de jogos. **Educação Matemática em Revista**, Brasília, v. 24, n. 63, p. 91-107, jul./set. 2019. Disponível em:

<http://sbem.iuri0094.hospedagemdesites.ws/revista/index.php/emr/article/view/1753>.

Acesso em: 20 out. 2020.

RIBEIRO, S. Tempo de cérebro. **Estudos Avançados: Neurociências**, v. 27, n. 77, p. 7-22, 2013.

RITTLE-JOHNSON, B.; SCHNEIDER, M.; STAR, J. R. Not a One-Way Street: Bidirectional Relations Between Procedural and Conceptual Knowledge of Mathematics. **Educational Psychology Review**, v. 27, n. 4, p. 587-597, 2015.

RIVERA, S. M.; REISS, A. L.; ECKERT, M. A.; MENON, V. Developmental changes in mental arithmetic: Evidence for increased functional specialization in the left inferior parietal cortex. **Cerebral Cortex**, v. 15, p. 1779-1790, 2005.

RUBINSTEN, O. Link between cognitive neuroscience and education: the case of clinical assessment of developmental dyscalculia. **Frontiers in human neuroscience**, v. 9, p. 304, 2015.

RYKHLEVSKAIA, E.; UDDIN, L. Q.; KONDOS, L.; MENON, V. Neuroanatomical correlates of developmental dyscalculia: Combined evidence from morphometry and tractography. **Frontiers in Human Neuroscience**, v.3, n. 51, p. 3-51, 2009.

SANCHEZ JUNIOR, S.L.; BLANCO, M.B. O desenvolvimento da Cognição Numérica: compreensão necessária para o professor que ensina Matemática na Educação Infantil. **Revista Thema**, v. 1, n. 15, p. 241-254, 2018.

SEIBERT, T. E. Contribuições da neurociências para a educação matemática de uma pessoa com necessidades educativas especiais intelectivas. **Revista Educação Especial**, v. 27, n. 48, p. 233-248. 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/educacaoespecial/article/view/7627> . Acessado em 10 fev. 2018.

SILVA, W. **Discalculia: Uma Abordagem à Luz da Educação Matemática**. 2006. Monografia. p. 1- 45. Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2006.

SOUSA, D. A. **Cómo Aprende el Cerebro: una guía para el maestro em la clase**. 2.ed. California, USA: Thousand Oaks: Corwin Press, 2002.

SOUZA, S. R. Saúde Integral da Criança. In: CYPEL, S. (Org.). **Fundamentos do Desenvolvimento Infantil: da gestação aos 3 anos**. 1. ed. São Paulo: Puericultura, p. 18-31. 2011.

STERNBERG, R. J. **Psicologia cognitiva**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

VERDINE, B.N., IRWIN, C.M., GOLINKOFF, R.M., HIRSH-PASEK, K. Contributions of executive function and spatial skills to preschool mathematics achievement. **J Exp Child Psychol**. v. 126, p.37-51, 2014.

WEINSTEIN, Y.; GILMORE; A. W.; SZPUNAR, K. K.; MCDERMOTT, K.B. The role of test expectancy in the build-up of proactive interference in long-term memory. **Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition**, v. 40, 1039-1048, 2014.

WYNN, K. Children's acquisition of the number words and the counting system. **Cognitive Psychology**. v. 24, n. 2, p. 220-251,1992.