

Desenvolvimento da Aprendizagem Matemática: relações neurobiológicas esperadas pelo Sistema Nervoso Central

Development of Mathematics Learning: neurobiological relations expected by the Central Nervous System

Laerte Fonseca¹

Resumo: O objetivo principal deste artigo é promover a mobilização e sensibilização iniciais da atenção dos leitores para refletirem sobre seus próprios conhecimentos e concepções acerca do Desenvolvimento da Aprendizagem Matemática (DAM) considerando os resultados das pesquisas fundamentadas na Neurociência Cognitiva. Para tanto, considerou-se os pontos de vista de Lezak *et al* (1976), Luria (1980), Kandel (1991), Le Doux (2001), Gazzaniga (2006), Lent (2002, 2008), Malloy-Diniz *et al* (2008), Willingham (2011), Izquierdo (2011) e Fonseca (2015). O itinerário metodológico utilizado nesse trabalho pautou-se na pesquisa bibliográfica e de campo de Fonseca (2011, 2012, 2015), valorizando o alicerce da Neurociência Cognitiva como possibilidade de desvelar a neuroanatomofisiologia do Sistema Nervoso Central (SNV) – ambiente interno, enfocando os mecanismos de entrada, processamento e saída da informação proveniente do meio ambiente externo. As conclusões sinalizaram a necessidade da Educação Básica considerar a sinfonia orquestrada das funções cognitivas para um DAM típico.

Palavras-chave: Neurociência Cognitiva, Sistema Nervoso Central, Desenvolvimento da Aprendizagem Matemática, Funções Cognitivas, Educação Básica.

Abstract: The main purpose of this article is to promote early mobilization and sensitization of the attention of readers to reflect on their own knowledge and ideas about the Development of Mathematics Learning (DML) considering the results of research based on Cognitive Neuroscience. Therefore, it was considered the views of Lezak *et al* (1976), Luria (1980), Kandel (1991), Le Doux (2001), Gazzaniga (2006), Lent (2002, 2008), Malloy-Diniz *et al* (2008), Willingham (2011), Izquierdo (2011) and Fonseca (2015). The methodological itinerary used in this work was guided in literature and Fonseca field (2011, 2012, 2015), valuing the foundation of Cognitive Neuroscience as a possibility to unveil the neuroanatomophysiological Central Nervous System (CNS) - internal environment, focusing on the input mechanisms, processing and output of information from the external environment. The findings signaled the need of

Keywords: Cognitive Neuroscience, Central Nervous System, Development of Learning Mathematics, Cognitive Functions, Basic Education.

¹ Pós-Doutorando em Educação Matemática (UNIAN/SP). Docente do Instituto Federal de Sergipe e docente do PPGECIMA-UFS – laerte.fonseca@uol.com

INTRODUÇÃO

Em tempos da inquestionável disponibilidade da informação via redes sociais, a decisão de escrever este artigo repousou sobre a explícita negligência que algumas agências responsáveis pela institucionalização do ensino de matemática vinculado à Educação Básica, bem como as dos cursos de formação inicial para professores dessa área do conhecimento e, por consequência final, sempre que os agentes didáticos imediatos (pedagogos e professores de matemática), têm alimentado as salas de aulas do referido nível educativo para apresentarem os conteúdos escolares sem levarem em consideração os princípios do processamento cerebral da informação do tipo matemática que, neste caso, foi aqui denominado de *locus* do Desenvolvimento da Aprendizagem Matemática (DAM).

Desta forma, o objetivo principal deste artigo foi promover a mobilização e sensibilização iniciais da atenção dos leitores para refletirem sobre seus próprios conhecimentos e concepções acerca do Desenvolvimento da Aprendizagem Matemática (DAM) considerando os resultados das pesquisas fundamentadas na Neurociência Cognitiva – área vanguardista do conhecimento que considera as relações entre anatomia (estrutura) e funcionamento (função) do cérebro para reger, adequadamente, os comportamentos esperados nos alunos a fim de que possa ocorrer à demonstração da maturidade cognitiva, prontidão para o mundo do trabalho e evolução humana, sinônimos da referida aprendizagem.

Abrigando-se em alguns argumentos de autoridade de lentes como Lezak *et al* (1976), Luria (1980), Kandel (1991), Le Doux (2001), Gazzaniga (2006), Lent (2002, 2008), Malloy-Diniz *et al* (2008), Willingham (2011) e Izquierdo (2011), por exemplo, buscou-se discutir sobre o DAM em dois momentos: primeiramente, desvelando o itinerário da captação, decodificação e reação de um estímulo sensorial, reflexos de um diálogo dinâmico entre os treze sistemas biológicos do corpo humano; na sequência, identificou-se o nível de organização biológica (organismo) que tem sido focado pelo GT-09 (Processos cognitivos e linguísticos em Educação Matemática) da SBEM como instituição que mais se aproxima das expectativas da Neurociência Cognitiva; e, finalmente, refletiu-se sobre a cognição como resultado de um conhecimento estruturado pelas capacidades do pensamento e do raciocínio, permitindo a Fonseca (2015), defender

uma hierarquia de princípios neurocognitivos para facilitar a escolha mais adequado do estímulo ambiental certo tendo em vista o DAM dos alunos da Educação Básica.

Na segunda parte, procurou-se apresentar, na prática, como tais princípios foram implementados no estudo realizado por Fonseca (2011, 2012) para tratar o desenvolvimento da aprendizagem das noções de funções trigonométricas apresentadas aos estudantes do Ensino Médio que, segundo o autor, destacaram evidências de significativa aprendizagem quando comparados com modelos de ensino que não consideraram as perspectivas da Neurociência Cognitiva embutidas em tais estudos.

Por fim e, considerando-se as características pontuais neste trabalho, as observações apresentadas sinalizaram a necessidade da Educação Básica ponderar a sinfonia orquestrada das funções cognitivas para um DAM típico, ou seja: alinhar as escolhas metodológicas para o ensino de matemática com as diretrizes educativas esperadas pelos órgãos oficiais.

PARTE I

De fora para dentro: a captação, decodificação e reação de um estímulo sensorial (CDRES) ou relações neurobiológicas esperadas pelo Sistema Nervoso Central.

Nascemos: e uma nova vida se inicia fora do útero materno. É preciso oxigenar todo o corpo através da primeira respiração. O oxigênio (O_2) é o primeiro estímulo sensorial e natural disponível no meio ambiente externo captado pelo órgão do olfato que impulsionará os treze sistemas do corpo humano (Nervoso/Sensorial, Respiratório, Cardiovascular, Digestório, Endócrino, Excretor, Urinário, Esquelético, Muscular, Imunológico, Linfático, Reprodutor e Tegumentar) a se desenvolverem e funcionarem vitalmente, objetivando um constante estado de homeostase (boa saúde) que representa a base do bem-estar.

Reside nessa primeira interação entre os meios ambientes externo e interno a gênese do ciclo natural (CDRES) de processamento de uma informação. Partilham desse raciocínio os cientistas norte-americanos Tortora e Derrickson (2012) que, fundamentados na neuroanatomofisiologia do corpo humano, apresentam os seis níveis de organização e

os treze sistemas destacados, já que, para eles “[...] a função nunca pode ser completamente separada da estrutura [...]”. (TORTORA e DERRICKSON, 2012, p. 2).

Conforme esses pesquisadores, os seis níveis de organização do corpo humano estão dispostos em ordem crescente (hierarquicamente organizados), a saber: *químico*, *celular*, *tecidual*, *orgânico*, *sistêmico* e de *organismo*. Este último, também considerado um *ser humano*, resulta da articulação dos treze sistemas descritos acima. É sobre este nível que certo número das investigações científicas concentra suas forças para tentar compreender cenários das relações entre ensino e aprendizagem na Educação Básica. A esse respeito pode-se citar, no campo da Educação Matemática, os esforços dos Grupos de Trabalho da Sociedade Brasileira de Educação Matemática – SBEM que se verificam, por meio dos objetivos e ementas, essas relações; são eles:

[GT-01] Matemática na Educação Infantil e nos Anos Iniciais do Ensino Fundamental

[GT-02] Educação Matemática nas séries finais do Ensino Fundamental

[GT-03] Educação Matemática no Ensino Médio

[GT-04] Educação Matemática no Ensino Superior

[GT-05] História da Matemática e Cultura

[GT-06] Educação Matemática: novas tecnologias e Educação à distância

[GT-07] Formação de professores que ensinam Matemática

[GT-08] Avaliação em Educação Matemática

[GT-09] Processos cognitivos e linguísticos em Educação Matemática

[GT-10] Modelagem Matemática

[GT-11] Filosofia da Educação Matemática

[GT-12] Ensino de Probabilidade e Estatística

[GT-13] Diferença, Inclusão e Educação Matemática

No entanto, dentre estes, há uma abertura para considerar as contribuições da Neurociência Cognitiva (que investiga as relações no cérebro entre os cinco primeiros níveis de organização do corpo humano) como possibilidade de informar e esclarecer os mecanismos de interação entre os dois tipos de meio ambientes (interno e externo). Refere-se ao GT-09, cujo objeto principal está delimitado pelos *Processos Cognitivos e Linguísticos em Educação Matemática*. Sobre os processos cognitivos, os resultados das pesquisas da Neurociência Cognitiva têm apontado para a necessidade de compreender e

considerar a hierarquia das funções cognitivas quando se objetiva mobilizar o fenômeno da aprendizagem escolarizada.

Pela repetição e uso do termo “cognitiva”, poderia o leitor interessado², questionar sua utilização, tanto pelas considerações da Psicologia (Cognitiva) como da Neurociência (Cognitiva), cabendo aqui um esclarecimento inicial para que este estruture, de modo adequado, a sua percepção acerca dos domínios dessas áreas do conhecimento e possa refletir sobre a sua própria perspectiva do Desenvolvimento da Aprendizagem Matemática (DAM).

No entanto, antes mesmo de focar o termo cognição, faz-se necessário delimitar em qual estágio do ciclo circadiano³ ela será analisada. Considerando que, em média, as pessoas dormem (relaxam o sistema atencional e, por consequência, a consciência) oito horas e permanecem em vigília (alerta ou consciência ativada) doze horas, Kandel *et al.* (1976), postula que a cognição é um dos seus principais componentes dessa maior duração temporal, juntando-se a emoção e a vontade. Dessa forma, define a cognição como um tipo de conhecimento derivado do pensamento e do raciocínio (KANDEL *et al.*, 1976).

Pensamento e raciocínio abrigam duas capacidades que exige um tipo específico de esforço e, por isso, precisam ser adequadamente desenvolvidas: pensar e raciocinar. Para o cientista norte americano Willingham (2011), o pensamento reúne três propriedades: pensar é *vagaroso, cansativo e incerto*. Conforme o referido pesquisador, raciocinar é apenas uma propriedade do pensamento e, nestes termos, pensar é definido como “*solucionar problemas, raciocinar, ler algo complexo ou realizar qualquer trabalho mental que exija algum esforço.*” (WILLINGHAM, 2011, p. 16)

² Supondo que esse seja um professor ou estudante de licenciatura em Matemática.

³ Do latim “*circa diem*”, o termo **circadiano** significa “*cerca de um dia*”. Para Tortora e Derrickson (2012), determina o período de aproximadamente 24 horas sobre o qual se baseia o ciclo biológico do corpo humano, sendo influenciado principalmente pela variação de luz, temperatura, marés e ventos entre o dia e a noite. Consequentemente, o ciclo circadiano regula todos os ritmos materiais, bem como muitos dos ritmos psicológicos do corpo humano, com influência sobre, por exemplo, a digestão, o estado de vigília e sono, a renovação das células, o controle da temperatura do organismo e, sobretudo, segundo Kandel *et al.* (1976), de todas as funções cognitivas.

Com efeito, e, considerando-se as características sobre o pensamento, é senso comum entre os neurocientistas neurocognitivos que o ato de pensar não é uma capacidade disponível no cérebro, exigindo-se, para tanto, o treinamento apropriado. Entretanto, Willingham (2011) defende que os seres humanos são naturalmente curiosos e essa qualidade se constitui na oportunidade ideal para desenvolver alguns tipos de pensamento. Aproveitar esse atributo e respeitar as condições determinantes para que a curiosidade prospere exige que as situações ambientais contenham tipos de Tarefas adequadas aos objetivos que circundam a natureza do objeto envolvido, bem como as condições neurocognitivas relacionada à maturação neurobiológica esperada pelo cérebro também verificadas no estudo de Fonseca (2015).

Como exemplo de curiosidade, pode-se destacar a matemática, como expressão da mente humana sempre que reflete a busca da perfeição estética, recorrendo, inclusive, aos ensinamentos da lógica formal constituída da linguagem axiomática. Esse arquétipo representa uma oportunidade para demonstrar que um tipo particular de pensamento, o matemático, derivou-se das várias motivações identificadas ao longo de sua história para mantê-lo vivo, evolutivo e absoluto, satisfazendo, dessa forma, as condições ambientais (internas e externas) para mobilizá-lo adequadamente.

Relacionando a definição de “pensar” delimitada por Willingham (2011) com as expectativas embutidas numa atividade matemática, facilmente verifica-se quão amalgamadas elas se encontram. Isso permite concluir que certa parte das bases para a formação do pensamento deriva-se da matemática, razão pela qual é oficialmente abrigado e “estimulado” (possivelmente treinado) pelos órgãos governamentais ao longo de, no mínimo 12 anos, segundo o funcionamento da Educação Básica no Brasil.

Considerando os fundamentos teóricos que definiram e alicerçaram os termos “cognição”, “pensamento” e “raciocínio” apresentados acima, faz-se necessário mostrar aos leitores como esses integrantes do sistema de vigília podem se interessar por uma informação (estímulo) proveniente do meio ambiente externo, especificamente, quando se referir a um objeto matemático⁴.

⁴ Entenda-se por **objeto matemático** (ou *objetos não ostensivos*) como as noções, conceitos, ideias, possíveis de serem evocados por algum tipo de representação. (BOSCH e CHEVALLARD, 1999).

Em Fonseca (2015), o caminho (*input e output*) da informação processada pelo cérebro foi considerado para verificar o limiar de existência da função cognitiva denominada Memória de Longo Prazo (MLP) quando se pretendia evocar no Ensino Superior as noções de funções trigonométricas estudadas no Ensino Médio.

Segundo o autor, tais funções matemáticas constituem-se parte de um alicerce para a compreensão do Cálculo Diferencial e Integral, base inicial para todos os cursos de ciências exatas no Ensino Superior. Então, como manter ou preservar na “mente” dos estudantes os conceitos, definições, propriedades, representações algébricas e geométricas, algebrismos, etc., de um objeto matemático possivelmente estudado no Ensino Médio?

Tal inquietação justificou o interesse do pesquisador em compreender como a MLP é formada e preservada para estar disponível ou facilmente acessada depois de um tempo considerado; no caso acima, depois de três anos.

Sendo assim e, para tornar o mais compreensível possível esta leitura, os processos que acontecem no interior da “caixa preta” (o cérebro), serão apresentados por meio da experiência científica desenvolvida na tese de doutoramento do referido autor.

Da Neurociência Cognitiva, Lezak *et al* (1976) e Kandel *et al.* (1976), consideram que um **estímulo ambiental** reflete um **tipo de sinal** mobilizado no ambiente externo (sala de aula de matemática, por exemplo); ponderando a possibilidade de existir tal sinal esperado pelo cérebro para o amadurecimento cognitivo (aprendizagem) e levando em conta as orientações pedagógicas entendidas como necessárias pelos documentos oficiais (PCNs, por exemplo) para apresentar aos alunos os objetos matemáticos, pergunta-se: então, por que a maioria dos estudantes não aprendem matemática? Contemporaneamente, esse questionamento está fundamentado em dados internacionais apresentados pela OCDE (2013a, b)⁵ quando o fenômeno do insucesso escolar pode ser explicado pelo contingente significativo dos resultados do PISA⁶ 2012 em que a disciplina Matemática ainda continua liderando o ranking internacional.

Para Fonseca (2015) uma das respostas contemporâneas para essa inquietação reside no fato do Ensino de Matemática não acompanhar a evolução científica, sobretudo

⁵ Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico.

⁶ *Programme for International Student Assessment* (Programa Internacional de Avaliação de Estudantes)

as descobertas do funcionamento do cérebro humano, quando perde oportunidades de atualizar e interpolar nas metodologias de ensino desta disciplina escolar os achados da Neurociência Cognitiva (NC) responsáveis por desvelarem o fenômeno da aprendizagem.

Em sua pesquisa este pesquisador, baseando-se nos fundamentos Luria (1980), Kandel (1991), Le Doux (2001), Gazzaniga (2006), Lent (2002, 2008), Malloy-Diniz *et al* (2008), Izquierdo (2011) e Willingham (2011), rearranja os princípios constituintes da base molecular da cognição para que possa ocorrer a aprendizagem:

P1(NC) – A procura do cérebro por significado é inata.

P2(NC) – A busca por significado acontece por padronização.

P3(NC) – A padronização está submetida a toda fisiologia do cérebro, tendo as emoções importância crítica para a mesma e, conseqüentemente, para a nova aprendizagem.

P4(NC) – A nova aprendizagem requer a sinfonia orquestrada das funções cognitivas: sensação, percepção, emoção, atenção, memória (MLP e MCP), funções executivas e aprendizagem.

P5(NC) – A existência da Memória de Longo Prazo (MLP) é condição fundamental para conectar-se e alimentar a Memória de Trabalho (MT) ou Memória de Curto Prazo (MCP), onde ocorre a nova aprendizagem. (FONSECA, 2015, p. 171)

Logo, para que os alunos possam “pensar em matemática”, recrutando o raciocínio lógico e, conseqüentemente, alimentando e ampliando a sua área cognitiva, o professor precisa selecionar o **estímulo ambiental certo**⁷ (EAC). Isto significa dizer: deve-se levar em conta escolher um **tipo de sinal** que espelhe o conjunto regido pelos cinco princípios acima destacados.

PARTE II

A possibilidade de existência de CDRES ou de relações neurobiológicas produzidas no Sistema Nervoso Central

⁷ Sobre as lentes do cientista neurocognitivo Schiffman (2005), um EAC corresponde a um Potencial de Ação. Para este pesquisador “nem sempre os neurônios, ao gerarem uma carga elétrica ou serem estimulados, necessariamente produzem e transmitem impulsos aos neurônios adjacentes. Cada neurônio tem um nível mínimo de estimulação que deve ser atingido, de modo que ele dispare e transmita um impulso. Esse nível mínimo de estimulação necessária para o neurônio disparar chama-se *limiar neural*. [...]. Assim, quando diversas cargas elétricas no interior de um neurônio acumulam-se e excedem o limiar neural, o estado elétrico do neurônio altera-se rapidamente — uma mudança que dura 1 milissegundo (ms, ou 1/1000 de um segundo). Essa alteração é chamada **potencial de ação** (ou **potencial de pico** ou, simplesmente, *pico*, porque num dado ponto a carga elétrica num neurônio aumenta rapidamente para um pico e, então, decresce de modo igualmente rápido). Potenciais de ação obedecem o **princípio de tudo ou nada**. (SCHIFFMAN, 2005, p. 10)

A seguir, inspirando-se em Fonseca (2012, 2015), são apresentados alguns exemplos didáticos para auxiliar aos leitores a seleção do EAC:

Noção Matemática enfocada: *Funções Trigonométricas*

P1(NC) – o SIGNIFICADO: escolher como TEMA GERADOR o **Estudo do Som**

- SENTIDO MOBILIZADO (ou de entrada, input): *audição*;
- Recomenda-se que os alunos ouçam vários tipos de sons, onde variações *frequência, amplitude, velocidade, comprimento de onda e intensidade* deverão ser identificados pelos mesmos;
- Na sequência, sugere-se que a importância do estudo do som seja apresentada aos estudantes segundo a história da acústica, destacando as principais necessidades ao longo da evolução da humanidade;
- Para finalizar essa etapa, aguçar a curiosidade dos estudantes por meio de algumas aplicações utilizando softwares dinâmicos em que eles possam articular as características auditivas às representações geométricas (visuais) privilegiando o segundo sentido mobilizado – a *visão*. A figura abaixo exemplifica:

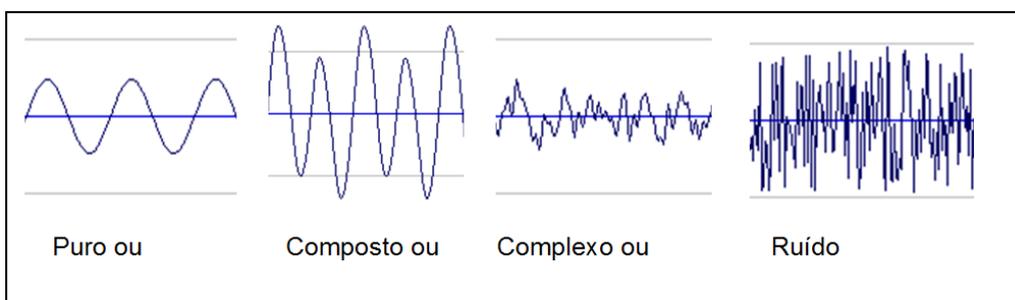


Figura 1: Tipos de sons.
Fonte: Fonseca (2012, p. 23)

P2(NC) – a PADRONIZAÇÃO: reiterar comparações entre os estímulos sonoros e gráficos articulados no **Estudo do Som**

- O constante envolvimento do aluno com as quatro subetapas do P1(NC) promove comparações contínuas de aspectos e variáveis (natureza, cor, forma, intensidade, amplitude, frequência) que favorecem o estabelecimento de algum tipo de relação entre eles, auxiliando o cérebro a padronizar o tipo de sinal que está sendo estimulado no ambiente;

P3(NC) – a EMOÇÃO POSITIVA (PRAZER): ativação das estruturas do sistema límbico do cérebro.

- A forma como ocorrerá à padronização permitirá o cérebro produzir substâncias químicas denominadas de neurotransmissores específicos e responsáveis pela sensação de prazer (bem estar) que estarão diretamente articuladas à avaliação do sentido que os estímulos iniciais conseguirão, ou não, produzirem;
- Caso isso aconteça, nesse momento o cérebro do aluno permitirá o *sistema atencional* focar e se interessar pelo conteúdo da informação disponibilizada no ambiente;
- São esperadas algumas características (*outputs*) dos alunos até esta fase: *entusiasmo, curiosidade, questionamentos, problematização e criatividade*;

P4(NC) – o FUNCIONAMENTO COGNITIVO: sinfonia orquestrada.

- Garantidas as funções cognitivas iniciais (sensação, percepção, emoção), para continuar mobilizando as próximas, sugere-se preservar algumas propriedades neurocognitivas esperadas pelas mesmas;
- No caso da *função cognitiva atenção*, utilização de recursos didáticos que solicitem dos estudantes constante alteração do estímulo central, mantendo-se a natureza do foco – o **Estudo do Som**. Sugere-se utilizar:
- “[...] simuladores (software dinâmicos) *S1 (Wave Interference 1.07)*, *S2 (Sound Waves 2.12)*, *S3 (Fourier: Making Waves 3.03)* e *S4 (Quantum Tunneling and Wave Packets 1.10)* para fazer manipulações livres”, conforme Fonseca (2012, p. 76). Seguem alguns exemplos:

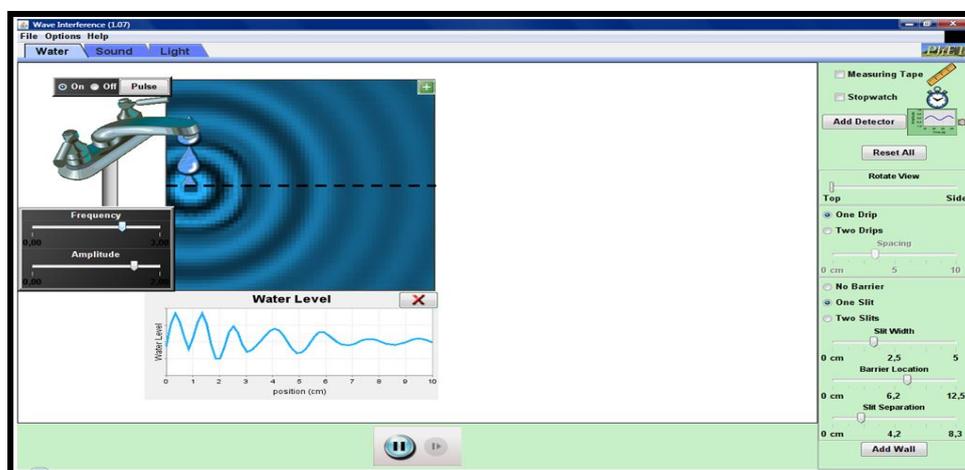


Figura 02 – Representação da simulação das ondas formadas a partir do gotejamento de uma torneira.

Fonte: Fonseca (2012, p. 76)



Figura 03 – Representação da simulação de “sons” formados a partir de dois aparelhos amplificadores de “som”.

Fonte: Fonseca (2012, p. 77)

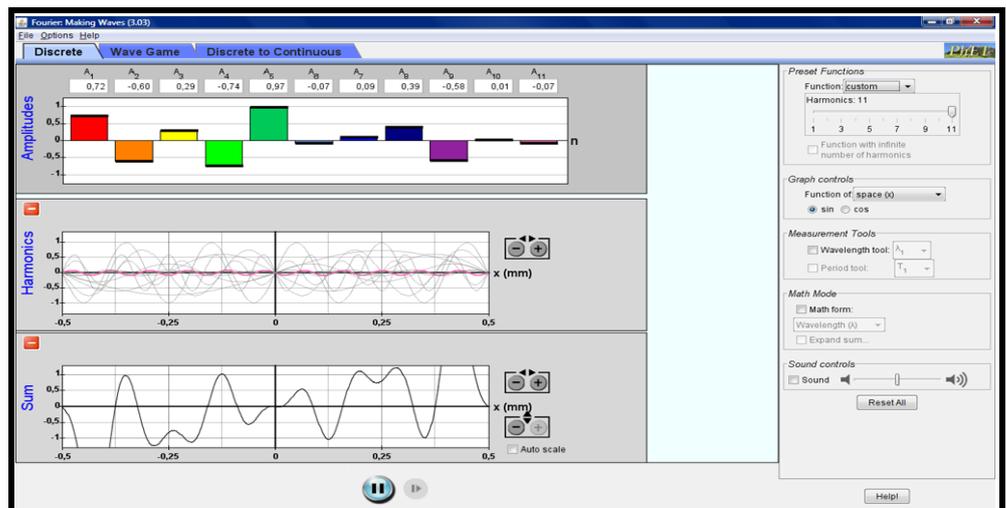


Figura 04 – Representação da simulação de soma de funções (Fourier).

Fonte: Fonseca (2012, p. 77)

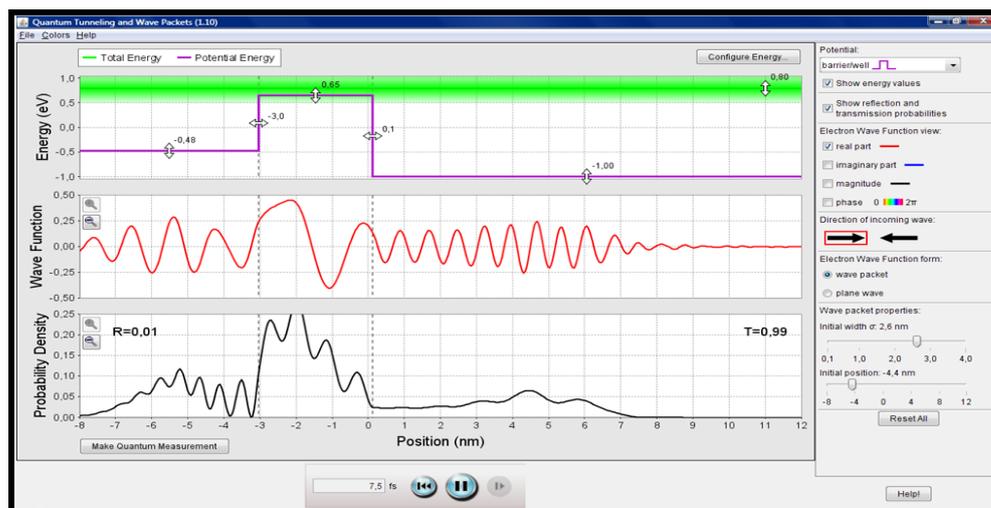


Figura 05 – Representação da simulação de funções como ondas.
Fonte: Fonseca (2011, p. 88)

- Para dar continuidade no processo de mobilização das últimas três funções cognitivas (memória = MLP + MCP, Funções Executivas e aprendizagem), precisa-se de uma avaliação do P5(NC).

P5(NC) – a MEMÓRIA DE LONGO PRAZO: existe e está disponível?

- Para tanto, sugere-se submeter os alunos em um teste que avalie o Nível de Funcionamento do Conhecimento (NFC) considerando os ensinamentos da pesquisadora francesa Aline Robert⁸. Por exemplo: questões relacionadas à *trigonometria do triângulo retângulo*, as *noções de funções* e as *relações trigonométricas fundamentais*. Teoricamente, essas noções estão previstas para o Ensino Fundamental. Serve para analisar se existiu e em que NFC se encontra;
- Caso estas noções matemáticas estejam NFC classificado por Robert (1997, 1998) como disponível, muitas serão as chances de evocar conceitos, definições e propriedades trigonométricas e funcionais necessárias para servirem de âncoras aos novos conceitos que serão apresentados sobre as noções de funções trigonométricas. Assim, a MCP poderá dispor de tais âncoras para auxiliar na compreensão da nova aprendizagem;
- Apesar de serem mencionadas pelo P4(NC), as Funções Executivas (FE)⁹ participam mutuamente com ambos os tipos de memórias. Dentre elas, a

⁸ Para tomar conhecimento dessa abordagem teórica relacionando-a as noções de funções trigonométricas, indica-se a tese de doutoramento de Fonseca (2015).

⁹ As **FUNÇÕES EXECUTIVAS** (FE) são habilidades relacionadas à capacidade das pessoas de se empenharem em comportamentos orientados a objetivos, ou seja, à realização de ações voluntárias,

flexibilidade cognitiva, pode ser avaliada nos domínios da matemática, segundo defende Douady (1984), sob na presença de uma ferramenta didática poderosa denominada “*jogo de quadros*” e “*mudança de quadros*”¹⁰. No Protocolo Experimental de Fonseca (2015), pode-se verificar que a tarefa C permite investigar o grau da flexibilidade cognitiva dos estudantes submetidos à experiência quando a tarefa é apresentada no quadro algébrico e em solução inicial no quadro geométrico, tendo que executar, dessa forma, uma mudança de quadro;

- Tal como as FE, a última função cognitiva, a *aprendizagem* (Ap), será reconhecida como existente quando o aluno demonstrar a capacidade de reter e evocar na/dá MLP um conteúdo (informação) mantida na MCP, conforme foi descrito na circuitaria descrita em Fonseca (2015) na figura abaixo:

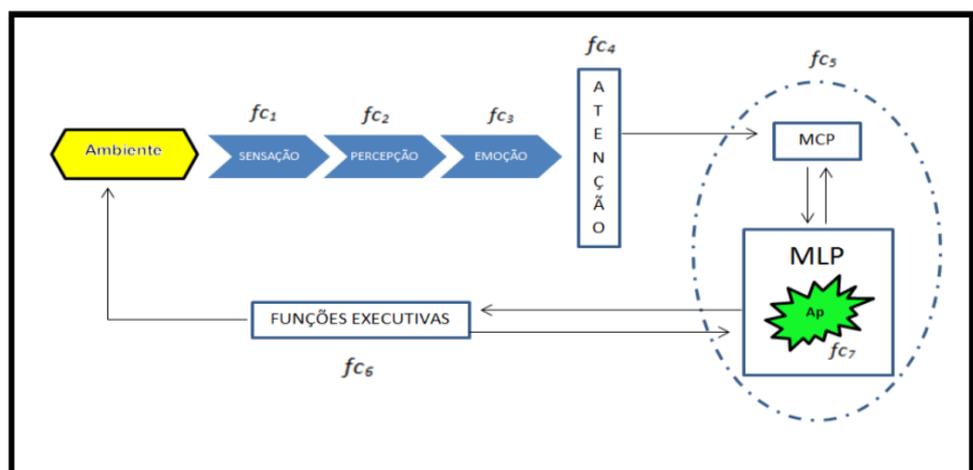


Figura 06 – Circuitaria das Funções Cognitivas.
Fonte: Fonseca (2015, p. 187)

Cabe aqui o destaque do progresso relativo aos resultados das mobilizações e sensibilizações para estimular as funções cognitivas consideradas no estudo de Fonseca (2011, 2012) uma vez que apresentaram evidências no desempenho da aprendizagem matemáticas dos voluntários das pesquisas quando comparado com o

independentes, autônomas, auto organizadas e direcionadas para metas específicas. (GAZZANIGA *et al.*, 2002). Tais funções se desenvolvem dos 12 meses de vida aos 20 anos (idade que se encontram maduras). (SEABRA e DIAS, 2012). Para Lezak *et al* (1976), Gazzaniga (2006), Lent (2008), Malloy-Diniz *et al* (2008) e Miotto (2012), pode-se decompor as FE em: *planejamento, controle inibitório, tomada de decisões (julgamento), flexibilidade cognitiva, memória operacional, categorização e fluência.*

¹⁰ Para tomar conhecimento dessa abordagem teórica, indica-se Almouloud (2007).

desempenho de voluntários sujeitos de um ensino de matemática que não apreciava os postulados da Neurociência Cognitiva.

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

No presente estudo, objetivou-se promover a mobilização e sensibilização iniciais da atenção dos leitores para refletirem sobre seus próprios conhecimentos e concepções acerca do Desenvolvimento da Aprendizagem Matemática (DAM) considerando os resultados das pesquisas fundamentadas na Neurociência Cognitiva.

Como resultados iniciais, reuniram-se argumentos de autoridade a respeito do funcionamento do processamento da informação no cérebro, identificou-se certo tipo de interesse institucional (GT-09/SBEM) por tal perspectiva e analisaram-se os bastidores da cognição, destacando sua estrutura (pensamento e raciocínio) e funcionamento (mecanismos e tipos de estímulos associados). Ao que tudo indica, tais implicações estarão disponíveis para auxiliar aos atores do ensino de matemática a justificarem suas possíveis e inovadoras escolhas didáticas.

Em paralelo, a apreciação de modelos didáticos desenvolvidos e analisados por Fonseca (2011, 2012), protegidos pelos resultados anteriores, somam-se ao leque de opções para lutar por um DAM espelhado em curiosidade, entusiasmado, criatividade, inovação e fonte da sensação de bem estar.

Talvez, seja essa uma significativa alternativa para que o ensino de matemática na Educação Básica comece a apreciar uma possibilidade de mudança curricular em prol de um DAM menos elitizado e sem preconceitos ambientais.

REFERÊNCIAS

ALMOULOUD, S. Ag. **Fundamentos da didática da matemática**. Curitiba: Ed. UFPR, 2007.

BOSCH, M.; CHEVALLARD, Y. **La sensibilité de l'activité mathématique aux ostensifs**. Objet d'étude et problématique. *Recherches en Didactique des mathématiques*, Paris, v. 19, n. 1, p. 77-123, 1999.

DOUADY, R. **Jeux de cadre et dialectique outil objet dans l'enseignement des mathématiques**. Thèse (Doctorat) — Université de Paris VII, Paris, 1984. Edgard Blücher Ltda, 1974.

FONSECA, Laerte S. **A Aprendizagem das Funções Trigonométricas na perspectiva da Teoria das Situações Didáticas**. 2011, 1v. 195p. Dissertação de Mestrado – Núcleo de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão (SE).

FONSECA, L. S. **Funções Trigonométricas: elementos “de” & “para” uma engenharia didática**. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

FONSECA, L. S. **Um estudo sobre o Ensino de Funções Trigonométricas no Ensino Médio e no Ensino Superior no Brasil e na França**. 2015, 1v. 495p. Tese de Doutorado. Orientador: Luiz Gonzaga Xavier de Barros. Coorientadora: Jana Trgalová. Universidade Anhanguera de São Paulo, São Paulo (SP).

GAZZANIGA, M. S. *et al.* **Neurociência Cognitiva: a biologia da mente**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

IZQUIERDO, I. **Memória**. Porto Alegre: Artmed, 2011.

KANDEL, E. *et al.* **Principles of Neural Science**. Nova York: McGraw-Hill, 1991.

LeDOUX, J. **O cérebro emocional: os misteriosos alicerces da vida emocional**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios**. Rio de Janeiro: Atheneu, 2002.

LENT, R. **Neurociência da Mente e do Comportamento**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

LEZAK, M. D. *et al.* **Neuropsychological assessment**. New York: Oxford, 1976.

MALLOY-DINIZ *et al.* Neuropsicologia das Funções Executivas. In: FUENTES, D. *et al.* (2008). **Neuropsicologia: teoria e prática**. Por Alegre: Artmed, 2008.

OCDE, **Comprendre le cerveau: naissance d'une Science de l'apprentissage**. Paris: CERI, 2013a.

OCDE. PISA 2012 Results: What Students Know and Can Do – Student Performance in Mathematics, Reading and Science (Volume I), PISA, OCDE, 2013b. Publishing. Disponível em <<http://dx.doi/10.1787/978964201118-em>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

ROBERT, A. **Outils d'analyse des contenus mathématiques à enseigner au lycée et à l'université**. Recherches en Didactique des Mathématiques, [S.l.], v. 18, n. 2, p.139-190, 1998.

ROBERT, A. **Quelques outils d'analyse épistemologique et didactique de connaissances mathématiques à enseigner au lycée et à l'université.** Actes de la IX école d'été de didactique des mathématiques. França: Houlgate, 1997.

SBEM. Histórico do SIPEM. 2009. Disponível em <<http://www.sbem.com.br/sipem/historico.html>>. Acesso em: 10 jul. 2009.

SEABRA, A. G. e DIAS, N. M. **Avaliação neuropsicológica cognitiva:** atenção e funções executivas. São Paulo: Memnon, 2012.

SCHIFFMAN, H. R. **Sensação e Percepção.** Rio de Janeiro: LTC, 2005.

TORTORA, G. J. e DERRICKSON, B. **Corpo Humano:** fundamentos de anatomia e fisiologia. Porto Alegre: Artmed, 2012.

WILLINGHAM, D. T. **Por que os alunos não gostam da escola?** Reposta da ciência cognitiva para tornar a sala de aula atrativa e efetiva. Porto Alegre: Artmed, 2011.