

Princípios Neuroquímicos da Aprendizagem Matemática: o caso das razões trigonométricas no triângulo retângulo apresentadas em livros didáticos

Neurochemical Principles of Mathematics Learning: the case of trigonometric ratios in right triangle presented in textbooks

Kleyfton Soares da Silva¹ e Laerte Fonseca²

Resumo: O objetivo deste artigo foi refletir sobre a aprendizagem das razões trigonométricas no triângulo retângulo com base nos princípios da neurociência cognitiva, mais especificamente, investigar os mecanismos neuroquímicos envolvidos na detecção, processamento e interpretação de sinais do ambiente ao longo do Sistema Nervoso Central. Em nível teórico este estudo alicerçou-se nos processos básicos da fisiologia neural discutidas em Carlson (2012), Shiffman (2005), Kandel *et al.* (2013) e Brandão (2004). Na parte empírica decidiu-se analisar atividades abordadas em dois livros didáticos do 9º ano aprovados no PNLD e construir um instrumento de análise de livro didático categorizado nas lentes da neurociência cognitiva. As análises desvelaram que as tarefas apresentadas nos livros didáticos podem ou não servir como estímulos externos capazes de promover o disparo de grande quantidade de potenciais de ação ao longo dos neurônios. O armazenamento seletivo das informações adquiridas e, conseqüentemente, a efetivação da aprendizagem e memória depende da natureza dos estímulos e da frequência dos potenciais de ação na rede neuronal. O instrumento de avaliação elaborado mostrou-se prático na análise das atividades propostas pelos livros didáticos, podendo ser um recurso importante para que professores possam avaliar criticamente os livros didáticos com base nos princípios da neurociência cognitiva.

Palavras-chave: Aprendizagem; Trigonometria; Neurociência Cognitiva.

Abstract: The purpose of this article was to reflect on the learning of trigonometric ratios in right triangle based on the principles of cognitive neuroscience, specifically to investigate the neurochemical mechanisms involved in the detection, processing and interpretation of environmental signals throughout the central nervous system. At a theoretical level, this study has its foundations on the basic processes of neural physiology discussed in Carlson (2012), Shiffman (2005), Kandel *et al.* (2013) and Brandão (2004). In the empirical part we decided to analyze activities addressed in two maths textbooks and build a qualitative analysis tool which was categorized according to some cognitive neuroscience principles. The results showed that the tasks presented in the textbooks may or may not serve as external stimuli that promote firing lots of action potentials along the neurons. The selective storage of acquired information and, hence, the effectiveness of learning and memory depends on the nature of the stimuli and the frequency of action potentials in the neural network. The evaluation instrument was practical in the analysis of the proposed activities by textbooks and can be an important tool for teachers to evaluate critically the textbooks based on the principles of cognitive neuroscience.

Keywords: Learning; Trigonometry; Cognitive Neuroscience.

¹ Licenciado em Química pelo Instituto Federal de Alagoas – kley.soares@hotmail.com

² Instituto Federal de Sergipe e docente do PPGECIMA-UFS – laerte.fonseca@uol.com

1. Introdução

A busca por metodologias de ensino e aprendizagem para a compreensão da matemática básica tem sido um desafio persistente, pois embora o indivíduo esteja em constante contato e apropriação de eventos cotidianos que aplicam conteúdos matemáticos, ele não tem se preparado para o enfrentamento de situações-problemas visando suas soluções. Alguns fatores preocupantes envolvem a limitada capacidade de raciocinar, pensar criticamente e de tecer relações práticas entre os conhecimentos absorvidos em sala de aula e o cotidiano do aluno.

As escolas brasileiras têm evoluído lentamente, principalmente no que diz respeito à qualidade de ensino e aprendizagem. Tais resultados podem ser confirmados pelo recorrente baixo desempenho em matemática na avaliação internacional PISA³ e avaliação nacional Prova Brasil⁴. A necessidade de melhora não é justificada pelos resultados insatisfatórios das avaliações, “mas pelas consequências desastrosas para a sociedade de uma escola fraca, tendo em vista o entrelaçamento existente entre o raciocínio lógico matemático e desenvolvimento tecnológico”. (PIZYBISKI *et al.*, 2009, p. 1139)

O desenvolvimento de capacidades cognitivas como o raciocínio lógico propicia a ativação rápida de processos neurais envolvidos na detecção, armazenamento e recuperação de informações no cérebro. As várias ramificações provenientes dos principais processos neuropsicológicos têm aberto portas para investigação de funções cognitivas cada vez mais específicas. Pizybiski *et al.* (2009), por exemplo, defende a prática do cálculo mental como sendo imprescindível para o desenvolvimento do raciocínio lógico e sequencial, além de questionar, ainda, a utilização da calculadora em sala de aula nos anos iniciais.

A capacidade do cérebro humano em reter informações criteriosamente selecionadas e usá-las quando necessário tem impulsionado educadores, psicólogos e neurocientistas a investigar os processos neurofisiológicos em prol da melhoria da educação. De acordo com a Sociedade Real (2011), a prática educacional pode ser

³ *Programa Internacional de Avaliação de Estudantes* - é uma iniciativa de avaliação comparada, aplicada a estudantes na faixa dos 15 anos, idade em que se pressupõe o término da escolaridade básica obrigatória na maioria dos países.

⁴ *Avaliação Nacional do Rendimento Escolar - ANRESC (Prova Brasil)*: trata-se de uma avaliação censitária envolvendo os alunos da 4ª série/5º ano e 8ª série/9º ano do Ensino Fundamental das escolas públicas das redes municipais, estaduais e federal, com o objetivo de avaliar a qualidade do ensino ministrado nas escolas públicas.

transformada em decorrência das contribuições das neurociências, uma vez que a educação promove aprendizagem e a neurociência procura entender os processos mentais envolvidos na aprendizagem. Ainda segundo a Sociedade Real (2011), pesquisas em neurociência sugerem que os resultados não são determinados somente pelo ambiente, mas por fatores biológicos que justificam diferenças na habilidade de aprendizado entre indivíduos. A neurociência também tem mostrado que a aprendizagem de uma habilidade promove mudanças no cérebro e que tais mudanças são revertidas quando a prática das habilidades é cessada. Em Brandão (2004, p. 97) é possível entender os processos de modificação do cérebro durante a efetivação da aprendizagem:

Em vista da dificuldade em se definir o que vem a ser aprendizagem tem-se optado por um termo mais geral que é a *plasticidade cerebral* que se refere a alterações funcionais e estruturais nas sinapses (zonas ativas de contato) como resultado de processos adaptativos do organismo ao meio. Estas modificações [...] promovem alterações na eficiência sináptica e podem aumentar ou diminuir a transmissão de impulsos com a conseqüente modulação do comportamento.

Dessa forma, os mecanismos neuroquímicos nas células nervosas são responsáveis pela velocidade, qualidade e duração das informações externas adquiridas pelos órgãos sensoriais. No âmbito educacional, o entendimento das bases neurofisiológicas da aprendizagem oportuniza o desenvolvimento de técnicas e métodos de ensino, além de subsidiar na elaboração de recursos didáticos, uma vez que as pesquisas sobre o cérebro demonstram como o indivíduo recebe, processa, organiza, lembra e usa as informações (GRADY, 2011).

Em se tratando de recursos didáticos, o presente estudo faz uso de textos e representações gráficas constantes em dois livros didáticos de matemática do 9º ano do ensino fundamental como fonte de análise documental sob a ótica da neurociência cognitiva. Investigaram-se as relações existentes entre o conteúdo “razões trigonométricas no triângulo retângulo” e as representações textuais e gráficas trazidas pelos livros para estes conteúdos. A organização estrutural e gráfica dos conteúdos nos livros didáticos desempenha um papel importante no (re)conhecimento, pelo estudante, de elementos teóricos e suas aplicações. Um dos critérios eliminatórios constantes no guia de livros didáticos do PNLD⁵ (2014, p. 20) para o componente curricular de matemática é “deixar de

⁵ O Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) tem como principal objetivo subsidiar o trabalho pedagógico dos professores por meio da distribuição de coleções de livros didáticos aos alunos da educação básica. Após a avaliação das obras, o Ministério da Educação (MEC) publica o Guia de Livros Didáticos com

propiciar o desenvolvimento, pelo aluno, de competências cognitivas básicas, como: observação, compreensão, argumentação, organização, análise, síntese, comunicação de ideias matemáticas, memorização”.

Nesse sentido, foi proposta uma ficha de avaliação complementar ao guia de livros didáticos, organizada em categorias que foram elaboradas a partir de critérios baseados nos princípios neuroquímicos discutidos na fundamentação teórica do presente trabalho.

Os resultados mostraram que as tarefas identificadas nos capítulos dos dois livros analisados nem sempre evidenciam as características viso-espaciais esperadas pelo Sistema Nervoso Central para mobilização de efetivos potenciais de ação em prol do destino final dos estímulos externos que, teoricamente, objetivavam a aprendizagem das referidas noções matemáticas.

As discussões subsequentes versam sobre os processos neuroquímicos envolvidos na codificação de informações do meio, com o objetivo de identificar elementos conceituais que podem nortear a prática docente.

2. Fundamentação Teórica: a comunicação entre os neurônios e sua importância para o fortalecimento das redes neurais e efetivação da aprendizagem

A busca pela compreensão dos mecanismos cognitivos, em se tratando do caminho que o conhecimento percorre em direção à efetivação da aprendizagem, tem levado neurocientistas e educadores a tentar identificar como o entendimento do cérebro humano pode contribuir para o aprimoramento de metodologias de ensino e aumento da capacidade de aprendizagem dos estudantes.

A compreensão dos mecanismos neuroquímicos que são ativados quando adquirimos uma informação tem oportunizado a elaboração e implementação de métodos educacionais propulsores de estímulos que favoreçam as associações cognitivas esperadas pelo Sistema Nervoso Central (SNC). Para os educadores, considerar as propriedades bioquímicas que cercam os mecanismos de aprendizagem como importantes elementos de reflexão para a tomada de decisão em sala de aula, por exemplo, significa se apropriar de conhecimentos multidisciplinares e cientificamente comprovados, demonstrando vontade de atualização.

resenhas das coleções consideradas aprovadas. O guia é encaminhado às escolas, que escolhem, entre os títulos disponíveis, aqueles que melhor atendem ao seu projeto político pedagógico.

Debruçamo-nos, portando, no estudo da “sensação”, ou seja, do “processo inicial de detecção e codificação da energia do ambiente” (SCHIFFMAN, 2005, p. 2). Nessa perspectiva, são descritos os mecanismos básicos pelos quais as informações do meio são processadas e produzem respostas a um determinado estímulo.

Tudo que fazemos – perceber, memorizar, pensar, agir, aprender – é reflexo de informações captadas pelos receptores sensoriais, que são terminações nervosas localizadas nos órgãos dos sentidos capazes de receber um determinado estímulo e transformá-lo – por meio da transdução de sinais – em impulso nervoso (CARLSON, 2012). Em outras palavras, as informações na forma de luz, ondas sonoras, odores, paladares ou contato com objetos são primeiramente organizadas pelos neurônios sensoriais.

Os neurônios são células com a habilidade de se comunicar precisamente e rapidamente com outras células distantes. Tal feito é possível, portanto, graças ao alto nível de assimetria funcional e morfológica dos neurônios, além da sua propriedade eletroquímica, o que confere à célula a capacidade de geração de corrente elétrica através da membrana. (KANDEL *et al.*, 2013)

Existem vários tipos e formas de neurônios que desempenham atividades específicas no sistema nervoso. A estrutura básica de um neurônio consiste em dendritos, corpo celular (SOMA) e o axônio (BRANDÃO, 2004). O núcleo presente no corpo celular contém as informações básicas para manufaturar todos os neurotransmissores (substâncias químicas liberadas pelas glândulas presentes no terminal do axônio). Os dendritos, por sua vez, são os terminais de recepção de informações de outros neurônios. As mensagens que passam de neurônio para neurônio são transmitidas ao longo da “sinapse”, uma junção entre os terminais do axônio da célula que envia a informação e a parte do corpo celular ou dendritos da célula que recebe a informação. O axônio é um longo tubo coberto pela bainha de mielina – uma camada lipídica que permite maior velocidade de tráfego dos impulsos elétricos – e sua principal função é carregar as informações do corpo celular aos terminais do axônio. A mensagem básica que ele carrega é chamada de “potencial de ação” (CARLSON, 2012). Os terminais do axônio secretam as substâncias químicas neurotransmissoras que podem gerar sinapses excitatórias (dão continuidade à transmissão de informações) ou inibitórias (BRANDÃO, 2004).

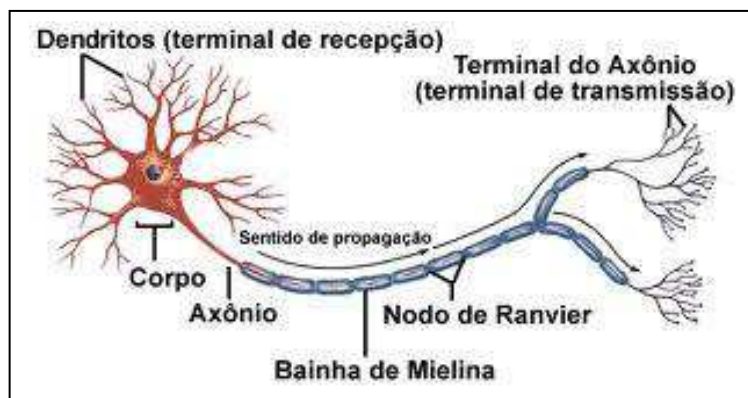


Figura 1 - Esquema de um neurônio.
Fonte: Gazzaniga (2006, p. 44).

As informações captadas do ambiente caminham por longas distâncias ao longo dos neurônios sensoriais por meio da transdução de sinais luminosos, químicos, mecânicos, entre outros em impulsos nervosos, os quais se comunicam entre si graças à geração de corrente elétrica provocada pela diferença de potencial de substâncias eletricamente carregadas dentro e fora da membrana do neurônio.

Para entendermos a natureza elétrica dos neurônios precisamos recorrer a alguns conceitos eletroquímicos. A carga elétrica dos neurônios é resultado do balanceamento entre duas forças opostas: difusão (processo espontâneo em que uma substância vai de um meio mais concentrado para o menos concentrado) e pressão eletrostática (força exercida pela atração ou repulsão de cargas elétricas). O movimento ordenado das partículas eletricamente carregadas – íons - produz o que chamamos de “corrente elétrica”. Com efeito, os fluidos intracelulares e extracelulares contêm diferentes íons - forma de um átomo que ganhou ou perdeu elétrons numa ligação química - que participam do controle do potencial da membrana, a saber, íons cloro (Cl^-), sódio (Na^+) e potássio (K^+).

Os íons Na^+ e Cl^- estão em grande concentração no fluido extracelular, enquanto que o K^+ está em grande quantidade no fluido intracelular. Estes íons participam da geração de impulsos elétricos, uma vez que se movimentam de um fluido para outro através da força de difusão e pressão eletrostática. Por exemplo, o íon K^+ está concentrado no interior do axônio, logo a força de difusão tende a forçar a sua saída para o fluido extracelular, porém a alta concentração do íon Na^+ fora da célula não permite a saída do íon K^+ devido à pressão eletrostática, pois cargas elétricas iguais se repelem (CARLSON, 2012). Similarmente, a entrada do íon Cl^- na célula é impedida devido à alta concentração de ânions orgânicos dentro da célula, pois o fluido intracelular é predominantemente

negativo. O íon Na^+ está concentrado no fluido extracelular embora a força de difusão o force para dentro da célula, porém isso não ocorre porque a membrana é menos permeável para o Na^+ do que para o K^+ . A pressão eletrostática também força a entrada do íon Na^+ para o meio intracelular devido à atração deste pelos ânions orgânicos, porém existem enzimas na membrana, comumente chamadas de bomba de sódio e potássio, que bombeiam três íons de sódio para fora e dois íons de potássio para dentro da célula, mantendo, assim, o nível baixo do íon sódio no meio intracelular.

Experiências com microeletrodos têm mostrado que o interior do neurônio humano tem uma carga de cerca de -70 mV em relação ao lado externo (SCHIFFMAN, 2005). Esse estado de controle do potencial da membrana é chamado de potencial de repouso e quando o neurônio é estimulado por outros neurônios ou por estímulos externos esse potencial é alterado, gerando um excesso de carga no fluido intracelular. O excesso de carga é responsável pelo envio de informações de um terminal neuronal aos dendritos receptores dos neurônios adjacentes, vale ressaltar, porém, que nem sempre a alteração de cargas no neurônio resulta na transmissão de informações. Segundo Schiffman (2005, p. 10), “cada neurônio tem um nível mínimo de estimulação que deve ser atingido, de modo que ele dispare e transmita um impulso”. A esse nível mínimo é atribuído o termo “limiar neural”.

Quando o limiar é atingido o potencial de ação é gerado. Brandão (2004) descreve o potencial de ação como o resultado do distúrbio de cargas causado pela passagem de uma corrente elétrica através da membrana. “O meio intracelular, que é negativo no estado de repouso, torna-se transitoriamente positivo em consequência do grande influxo de íons Na^+ resultante da abertura seletiva de canais de Na^+ na membrana celular” (BRANDÃO, 2004, p. 32). O início de um sinal depende, portanto, dos canais iônicos na membrana da célula que abre em resposta às mudanças de cargas elétricas e aos neurotransmissores liberados por outras células nervosas (KANDEL *et al.*, 2013). Schiffman (2005, p. 10) destaca que “quanto mais forte o estímulo, maior a frequência dos potenciais de ação”. A comunicação entre os neurônios é possível graças à geração de vários potenciais de ação, que são, por sua vez, acumulados nos terminais do neurônio e transmitidos – quando o limiar neural é alcançado - a outros neurônios através das sinapses elétricas e químicas.

Os terminais do axônio são compostos por vesículas que liberam vários tipos de neurotransmissores quando um potencial de ação é disparado (BRANDÃO, 2004). O transporte de informações em forma de substâncias químicas (neurotransmissores) e

corrente elétrica de um neurônio pré-sináptico, enviadas pelo terminal do axônio, a outro pós-sináptico, recebidas pelos dendritos, acontece na fenda sináptica, uma junção neural onde ocorre a condução de impulsos nervosos e transporte de neurotransmissores (SCHIFFMAN, 2005).

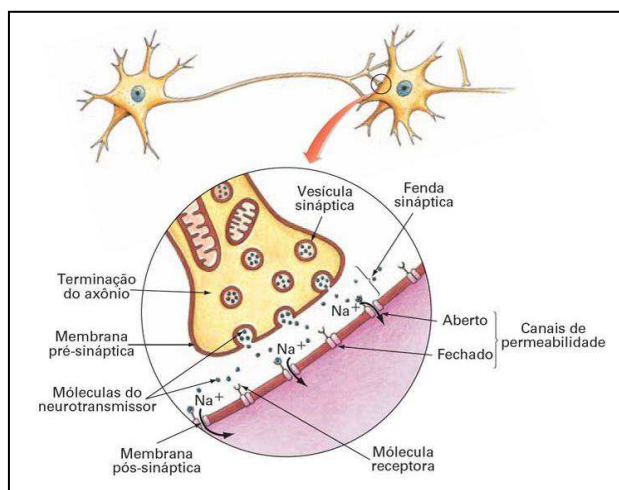


Figura 2 - Esquema da transmissão de um impulso nervoso (estímulo) através de uma sinapse química.

Fonte: Purves *et al.* (2010 p. 89).

Os mecanismos básicos de comunicação entre os neurônios descritos acima revelam de forma breve o ponto de partida que nos permite “sentir”, “pensar” e “aprender”. Inspirando-se em Fonseca (2015), o presente estudo, no entanto, introduz os principais processos de veiculação das informações adquiridas pelos estímulos externos, com o objetivo de investigar os estímulos certos⁶ presentes no livro didático, por exemplo, como forma de refletir acerca de metodologias que favoreçam a geração contínua de potenciais de ação ao longo da rede neural.

Nesta dinâmica, a aprendizagem está intrinsecamente relacionada com a retenção de informações e formação de memórias. Segundo Guerra (2011), a consolidação das memórias ocorre durante o sono, quando as condições químicas são propícias à neuroplasticidade. O cérebro está em constante mudança e tudo que fazemos (dormir, andar, falar, observar, interagir, aprender) desencadeia atividades neurais e adaptação do cérebro, fenômeno comumente chamado de neuroplasticidade. Isto é possível graças ao processo pelo qual as conexões entre os neurônios são fortalecidas quando são ativadas simultaneamente (ROYAL SOCIETY, 2011). No nível neuroquímico a aprendizagem é

⁶ Compreendemos por estímulo certo o conjunto de informações do meio capaz de gerar potenciais de ação em quantidade e frequência necessária para que a transmissão sináptica ocorra.

compreendida como o resultado de alterações químicas e estruturais do sistema nervoso de cada indivíduo, configurando-se num processo longo e individual. De acordo com Cosenza e Guerra (2011, p. 38),

A aprendizagem é consequência de uma facilitação da passagem da informação ao longo das sinapses. Mecanismos bioquímicos entram em ação, fazendo com que os neurotransmissores sejam liberados em maior quantidade ou tenham uma ação mais eficiente na membrana pós-sináptica. Mesmo sem a formação de uma nova ligação, as já existentes passam a ser mais eficientes, ocorrendo o que já podemos chamar de aprendizagem.

Guerra (2011) defende que a ativação de múltiplas redes neurais com associações estabelecidas entre si devem ser estimuladas por meio de estratégias pedagógicas que façam uso de recursos multissensoriais.

Dentre eles, os livros didáticos são exemplos de recursos pedagógicos que levam o indivíduo à aquisição de novos conhecimentos através da comunicação linguística e gráfica. É através das informações dos livros que o aluno vai fazer relações entre o novo conhecimento e suas experiências passadas com o objetivo de armazenar e aprender o conteúdo. Dessa forma, o órgão do sentido mais requisitado pelo cérebro para desempenhar tal demanda é a visão, o canal sensorial que permite a transdução dos estímulos visuais em impulsos nervosos e é responsável pela percepção das informações constantes no livro didático.

Segundo Schiffman (2005), o estímulo visual passa por diversas modificações antes de se transformar em sensação. Inicialmente os sinais luminosos (comprimentos de ondas e intensidade da luz) são codificados em sinais neurais por meio da transdução do estímulo físico. Em seguida as mensagens neurais viajam até o córtex visual, onde se transformam em sensações de cor, claridade, movimento e forma. Por fim, o processo de percepção recorre às funções cognitivas como a memória, emoções e expectativas para traduzir as sensações e realizar mudanças nas redes neurais.

O processamento das informações recebidas pelos canais sensoriais está associado aos princípios que determinam a quantidade e a frequência de potenciais de ação gerados por um determinado estímulo. Por exemplo, um livro didático que traz problemas contextualizados com recursos visuais e uma sequência lógica que permita uma melhor associação do conteúdo com a realidade dos alunos, pode produzir uma maior quantidade

de potenciais de ação e, conseqüentemente, melhor processamento e armazenamento das informações no córtex cerebral.

As discussões subsequentes trazem as relações existentes entre os conteúdos abordados nos livros didáticos e os princípios neuroquímicos envolvidos no processo de recepção e interpretação das informações constantes nos livros.

3. Parte Empírica: aprendizagem das razões trigonométricas no triângulo retângulo sob a ótica da neurociência cognitiva

A estratégia de investigação se deu a partir da análise documental de dois livros didáticos de matemática (9º ano) aprovados no último edital do PNLD (2014) para os anos finais do ensino fundamental.

Para efeito desse estudo a obra de Mazzeiro e Machado (2012) foi denominado “livro 1” e a de Centurión e Jakibovic (2012) foi denominado “livro 2”. Os critérios que auxiliaram na identificação de estímulos viso-espaciais presentes nos livros didáticos se referiram à linguagem escrita e representações gráficas das atividades propostas.

Os elementos relacionados às razões trigonométricas no triângulo retângulo (seno, cosseno e tangente) foram analisados categoricamente de acordo com a qualidade e quantidade de informações que o livro dispõe, a saber: verificando-se a qualidade da contextualização do problema, a relação da figura com o cotidiano e, por fim, a relação da figura com o conteúdo abordado.

A categoria avaliada como sendo “satisfatório” foi atribuída para os exemplos que consideramos ser um estímulo forte. Para Schiffman (2005, p. 10), “quanto mais forte o estímulo, maior a frequência dos potenciais de ação”.

A figura abaixo mostra os parâmetros de análise definidos para a avaliação dos livros descritos na metodologia desse trabalho:

Categoria	Crítérios	Princípios neuroquímicos adotados	Satisfatório (S)	Pouco Satisfatório (PS)
Contextualização ⁷	Apresenta contexto de aplicação, dá sentido ao problema.	P ₁ – Geração de potenciais de ação P ₂ – Conexões sinápticas P ₃ – Plasticidade cerebral P ₄ – Existência de significado		
Relação Figura-Cotidiano	Representa os exemplos a partir de figuras que remetem ao cotidiano. Os exemplos são bem ilustrados?			
Relação Figura-Conteúdo	Tem relação bem definida com o conteúdo. Há identificação dos dados da questão na própria figura?			

Figura 3 – Ficha de avaliação de livro didático.

Fonte: Os autores (2015).

P₁ – Os estímulos provenientes do ambiente produzem potenciais de ação, informações básicas que percorrem o sistema nervoso central. Quanto maior a intensidade do estímulo, maior a frequência dos potenciais de ação que percorrem os nervos correspondentes em direção ao sistema nervoso central. (LENT, 2008)

P₂ – As mensagens que passam de neurônio para neurônio são transmitidas ao longo da “sinapse”, uma junção entre os terminais do axônio da célula que envia a informação e a parte do corpo celular ou dendritos da célula que recebe a informação. A passagem de uma mensagem de um neurônio para outro depende da qualidade das múltiplas informações provenientes de regiões ligadas à funções cognitivas, tais como a percepção, atenção, memória, que chegam simultaneamente a esse neurônio. (GAZZANIGA, 2006)

P₃ – As sinapses são fortalecidas quando algum tipo de sincronismo se estabelece entre o neurônio pré-sináptico e o neurônio pós-sináptico. Esse sincronismo de disparo representaria uma informação efetiva, ou um tipo de reconhecimento entre a entrada e a saída, e de algum modo consolidaria a conexão entre os dois KANDEL (2005). A aprendizagem é consequência da consolidação dos circuitos neurais que ocorrem através da facilitação da passagem de informações ao longo das sinapses (COSENZA & GUERRA, 2011). Tal facilitação se dá por meio da liberação de grande quantidade de neurotransmissores e sua ação mais eficiente na membrana pós-sináptica.

⁷ “Espera-se que os alunos possam (re) significar os conceitos matemáticos nas mais diversas atividades do cotidiano, criando, assim, a crença de que os objetos matemáticos estão presentes no mundo sensível” (SILVEIRA *et al.*, 2014, p. 155).

P₄ – “A procura do cérebro por significado é inata” (FONSECA, 2015, p. 173). O cérebro precisa e automaticamente registra o que é familiar enquanto procura e responde a novos estímulos.

3.1 Análise do livro 1 – Descobrindo e aplicando a matemática (MAZZIEIRO & MACHADO, 2012)

O livro inicia a abordagem das razões trigonométricas com uma revisão de conteúdos, necessários para que o aluno obtenha avanços no entendimento dos novos conceitos. Os autores problematizam e introduzem o conceito de razões trigonométricas de forma técnica, sem contextualização e pouca relação com o cotidiano.

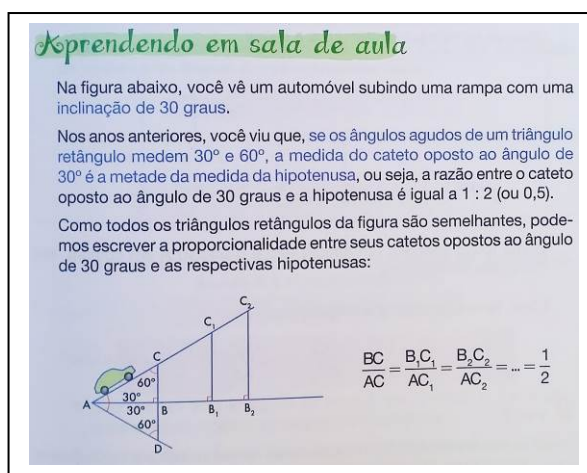


Figura 4 - Introdução às razões trigonométricas no triângulo retângulo.
Fonte: Mazzeiro e Machado (2012, p. 147).

A figura 4 foi avaliada como **pouco satisfatório** em todas as categorias, pois não apresenta: um cenário textual - como uma breve história da trigonometria, importância ou explicação do próprio exemplo dado - que dê sentido ao assunto abordado; uma relação figura-cotidiano que sinalize a real necessidade de aplicação das razões trigonométricas no exemplo proposto; uma relação figura-conteúdo que expresse claramente os dados da questão na figura. Os exemplos das páginas seguintes seguem majoritariamente a mesma estrutura técnica e isenta de significados. Embora existam destaques coloridos na parte textual, o que é extramente importante para a localização de conceitos chave, os exemplos ilustrativos se limitam a triângulos sem nexos com a realidade.

No corpo introdutório de um assunto é importante que os elementos conceituais sejam claramente descritos, organizados e ilustrados de forma a contemplar os novos conceitos numa sequência lógica e nivelada.

Um olhar analítico nos exercícios propostos permitiu identificar quatro exemplos em que a relação figura-cotidiano e relação figura-conteúdo são satisfeitas, embora apresentem pouca qualidade gráfica. A figura abaixo mostra o único exemplo presente no livro avaliado como “satisfatório” em todas as categorias:

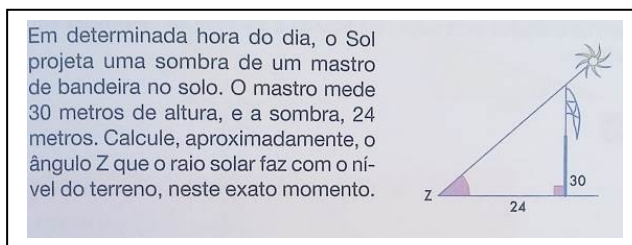


Figura 5 – Exercício de aplicação.
 Fonte: Mazzeiro e Machado (2012, p. 153).

O exemplo acima contempla o quesito **contextualização** de forma clara e objetiva, dando sentido ao problema e permitindo a relação direta do **conteúdo com o cotidiano** através da representação (figura). A relação **figura-conteúdo** é dada pela inserção dos dados do problema na própria figura, pois defendemos que a figura pode servir, a depender do nível de compreensão do aluno, como um recurso informativo prático e propício à assimilação.

A figura abaixo, não referente ao livro analisado nesse tópico, mostra um exemplo de questão em que a categoria **figura-conteúdo** não é contemplada, de acordo com os critérios adotados pelos autores. Para que o problema seja solucionado é necessário que o estudante identifique os dados diretamente no enunciado da questão. Vale ressaltar, porém, que não defendemos o desuso desse modelo de exercício, considerando que essa é também uma importante estratégia para o desenvolvimento de habilidades cognitivas. Incentivamos, no entanto, o uso equilibrado das diferentes abordagens dos conteúdos.

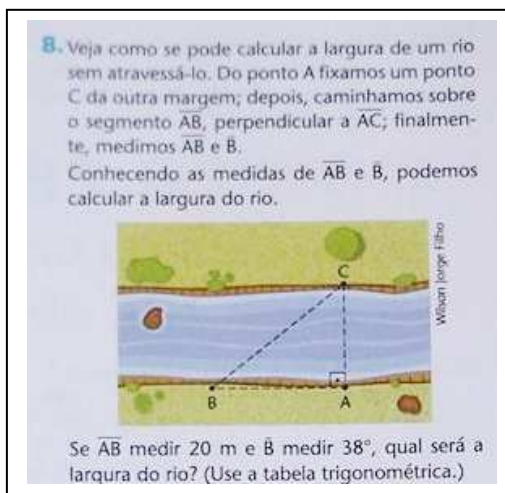


Figura 6 – Exercício de aplicação.
Fonte: Centurión e Jakubovic (2012, p. 141).

O livro didático é um recurso que deve ser estruturado em níveis de compreensão adequados à idade do aluno e propiciar um estudo autônomo. As abordagens textuais e gráficas devem estimular o desenvolvimento das funções cognitivas, estabelecendo conexões entre os novos conhecimentos e as experiências passadas dos alunos. O livro didático deve fornecer estímulos capazes de gerar potenciais de ação com frequência propícia à veiculação de impulsos elétricos ao longo dos neurônios, objetivando a passagem e consolidação das informações por meio das sinapses. O fortalecimento das sinapses pode ser alcançado, por exemplo, por meio de exemplos que contemplem as categorias fornecidas na ficha de avaliação proposta pelos autores.

A contextualização de um conteúdo pode contribuir para que o aluno recorra às suas memórias e internalize os novos conhecimentos numa rede de significados inerente a cada indivíduo, o que fica fora dessa rede, no entanto, é rapidamente esquecido. A pessoa simplesmente não aprende as coisas. A aprendizagem é influenciada pelo estado emocional do indivíduo e suas expectativas (CAINE & CAINE, 1991). Segundo o mesmo autor, as emoções são também cruciais para a memória porque elas facilitam o armazenamento e recordação de informações.

Considerando a carência de elementos textuais e gráficos estimulantes, do ponto de vista dos princípios neuroquímicos adotados nesse trabalho, o capítulo do livro analisado foi avaliado como **pouco satisfatório** para a promoção de estímulos viso-espaciais propícios à aprendizagem efetiva.

3.2 Análise do livro 2 – Matemática teoria e contexto (CENTURIÓN & JAKUBOVIC, 2012)

A abordagem das razões trigonométricas é iniciada a partir da definição da palavra trigonometria e da importância desse conhecimento para inúmeras aplicações. A definição conceitual da razão notável no triângulo retângulo é dada por meio de ilustrações básicas (triângulos retângulos coloridos) e o conteúdo é exemplificado de forma contextualizada, conforme mostram as figuras abaixo:

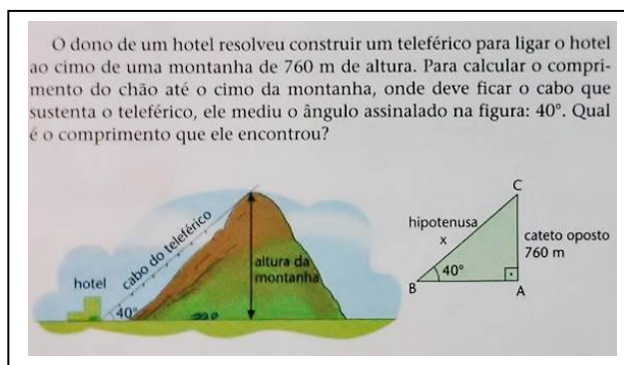


Figura 7 – Exemplo de aplicação das razões trigonométricas no triângulo retângulo.
Fonte: Centurión e Jakubovic (2012, p. 133).

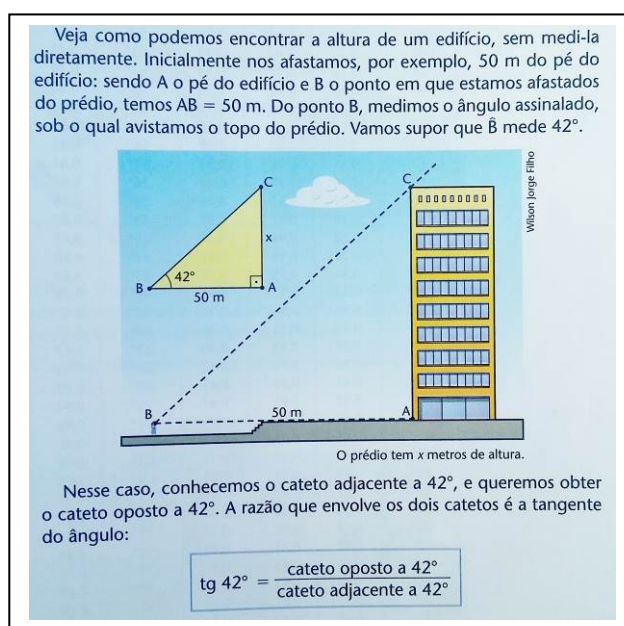


Figura 8 – Exemplo de aplicação das razões trigonométricas no triângulo retângulo.
Fonte: Centurión e Jakubovic (2012, p. 137).

Os exemplos acima satisfazem todas as categorias de análise constante na ficha de avaliação. O problema proposto permite que o aluno faça uma relação direta do conteúdo com o cotidiano e fornece informações contextualizadas que favorecem a retenção do conhecimento de forma associativa.

Segundo (CAINE & CAINE, 1991), a procura por significados ocorre através da padronização, isto é, da organização e categorização das informações. O cérebro é capaz de perceber, gerar padrões e criar significados, mas resiste quando padrões insignificativos são impostos, como informações isoladas que não fazem sentido para o estudante. O enriquecimento de conteúdos através de ilustrações contextualizadas favorece a criação de padrões e, conseqüentemente, melhora a retenção das informações.

Com efeito, a organização textual e gráfica de um determinado conteúdo pode, a depender da intensidade dos estímulos provocados pelo conjunto texto-figura e dos significados atribuídos pelo indivíduo, contribuir para a formação e/ou fortalecimento de conexões sinápticas ao longo do sistema nervoso. Segundo Cosenza e Guerra (2011, p. 38), “a aprendizagem é consequência de uma facilitação da passagem da informação ao longo das sinapses”.

Os exercícios propostos ao longo do capítulo do livro didático analisado apresentam um equilíbrio entre questões que fazem uso de figuras geométricas básicas e questões que sinalizam aplicações para a resolução de problemas do cotidiano, como mostra a figura abaixo:

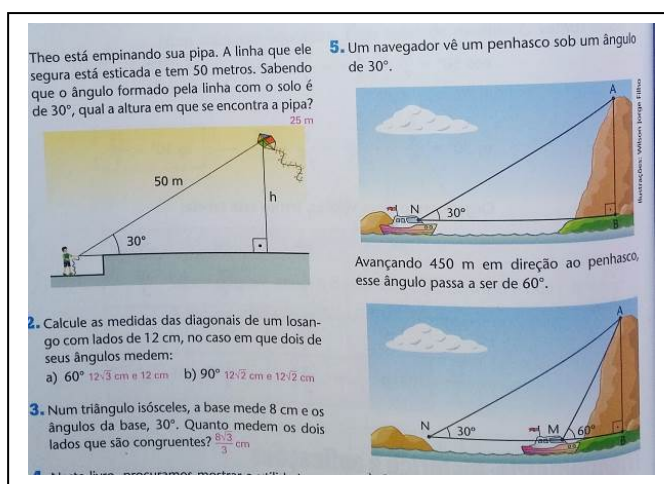


Figura 9 – Exemplo de aplicação das razões trigonométricas no triângulo retângulo.
Fonte: Centurión e Jakubovic (2012, p. 140).

Os elementos textuais e visuais presentes no livro 2 são em geral **satisfatórios**, correspondendo aos princípios neuroquímicos adotados no presente trabalho.

4. Algumas considerações

A ausência de representações baseadas nas categorias sugeridas na ficha de avaliação não invalida a eficácia do exemplo analisado para o aprendizado do aluno, mas aponta para a necessidade de estímulos que facilitem a construção mais rápida de conexões neurais eficientes e propícias à aprendizagem. É importante ressaltar que o aluno também precisa lidar com questões mais desafiadoras, o que nem sempre implicará na resolução de questões a partir de ilustrações muito informativas. Defendemos, portanto, o equilíbrio entre exemplos que permitam o aluno perceber o assunto abordado em sua essência – através da contextualização e aplicação – e exemplos que gerem conflitos cognitivos.

As atividades propostas precisam ser instigadoras e significativas, além de oferecer ao aluno escolhas em abundância. Quanto maior o nível de organização do conteúdo, mais eficazes são os padrões estabelecidos pelos estudantes, tornando o aprendizado um processo natural.

Nesse sentido, é importante que os livros estimulem a (re)configuração de estruturas neurais através da comunicação visual para que exista a associação de circuitos até então independentes. Estas associações de circuitos neuronais ao longo do SNC justificam, por exemplo, a aquisição de novos conceitos a partir de conhecimentos já existentes (COSENZA & GUERRA, 2011).

5. Referências

BRANDÃO, M. L. **As bases biológicas do comportamento: introdução à neurociência.** São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 2004.

CAINE, R. N.; CAINE, G. **Making connections: Teaching and the human brain.** New York: Banta Company, 1991.

CARLSON, N. R. **Physiology of behaviour.** Boston: Ally and Bacon, 2012.

CENTURIÓN, M.; JAKUBOVIC, J. **Matemática: teoria e contexto.** São Paulo: Saraiva, 2012.

COSENZA, R. M.; GUERRA, L. B. **Neurociência e educação: como o cérebro aprende.** Porto Alegre: Artmed, 2011.

FONSECA, L. S. **Um estudo sobre o ensino de funções trigonométricas no ensino médio e no ensino superior no brasil e França.** 2015, 1v. 495p. Tese de Doutorado. Universidade Anhanguera de São Paulo, São Paulo (SP).

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

GUERRA, L. B. O diálogo entre a neurociência e a educação: da euforia aos desafios e possibilidades. **Revista Interleução.** Vol. 4, número 4, 2011.

KANDEL, E. *et al.* **Principles of neural science.** New York: McGraw-Hill, 2013.

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.

MEC-SEB. **Guia de livros didáticos: PNLD 2014 – matemática: ensino fundamental: anos finais.** Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2013.

MAZZIEIRO, A. S.; MACHADO, P. A. F. **Descobrimo e aplicando a matemática**. Belo Horizonte: Dimensão, 2012.

PURVES, D. *et al.*. **Neurociências**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

ROYAL SOCIETY (Great Britain). **Brain waves module 2**: Neuroscience: implications for education and lifelong learning. Royal Society, 2011.

SILVEIRA, M. R. A. *et al.* Reflexões acerca da contextualização dos conteúdos no ensino da matemática. **Currículo sem fronteiras**, v. 14, n. 1, p. 151-172, jan./abr. 2014.

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