

**MULTIPLICAÇÃO
VISUOESPACIAL E
DESCOMPRESSÃO
COGNITIVA: UMA
ABORDAGEM
NEUROEDUCACIONAL
CONTRA A ANSIEDADE
MATEMÁTICA NO ENSINO
BÁSICO**

**VISUOSPATIAL MULTIPLICATION AND COGNITIVE DECOMPRESSION: A
NEUROEDUCATIONAL APPROACH AGAINST MATH ANXIETY IN BASIC
EDUCATION**

Ciências Exatas e da Terra, Ciências Humanas, Ciências Biológicas •

20/10/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/792408791](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/792408791)

Regivaldo Cláudio de Freitas¹

RESUMO

A ansiedade matemática constitui um fenômeno educacional e cognitivo capaz de interferir na memória de trabalho, na atenção, no desempenho e na relação do estudante com a aprendizagem matemática. Nesse contexto, este artigo analisa o potencial pedagógico da multiplicação visuoespacial por interseção de retas, comumente denominada multiplicação chinesa, como recurso de organização e externalização do processamento aritmético. Fundamentado em contribuições da neurociência cognitiva, da Teoria da Carga Cognitiva e de estudos sobre processamento numérico e representações visuoespaciais, o trabalho discute a hipótese de que a conversão de determinadas relações numéricas em representações gráficas possa favorecer a distribuição das demandas cognitivas e reduzir componentes de carga cognitiva extrínseca durante a aprendizagem. Metodologicamente, caracteriza-se como uma **Pesquisa de Design Educacional (Educational Design Research – EDR), de natureza teórico-propositiva**, na qual são sistematizados fundamentos conceituais, aplicações demonstrativas e um cenário projetivo de intervenção, destinado a orientar futura investigação empírica. O estudo apresenta aplicações progressivas da multiplicação visuoespacial, analisa suas possibilidades pedagógicas e reconhece suas limitações de escalabilidade em operações com múltiplos algarismos. Como contribuição autoral, propõe-se o **GPS Algorítmico de Multiplicação Chinesa**, concebido como uma arquitetura instrucional de orientação destinada a segmentar o percurso de resolução, direcionar a atenção e tornar mais navegável a complexidade das representações multidígitos. À luz da Teoria da Carga Cognitiva, formula-se a hipótese de que essa estrutura possa reduzir demandas extrínsecas relacionadas à localização, seleção e sequenciamento das etapas, sem eliminar a complexidade

matemática inerente à operação. Conclui-se que a multiplicação visuoespacial, articulada ao GPS Algorítmico, apresenta potencial como recurso de mediação conceitual e design instrucional, embora seus efeitos sobre carga cognitiva, ansiedade matemática, desempenho e aprendizagem devam ser submetidos a validação empírica específica.

Palavras-chave: Neuroeducação; Carga Cognitiva; Ansiedade Matemática; Multiplicação Visuoespacial; GPS Algorítmico; Educação Matemática.

ABSTRACT

Mathematics anxiety is an educational and cognitive phenomenon that can interfere with working memory, attention, performance, and students' relationship with mathematics learning. In this context, this article analyzes the pedagogical potential of visuospatial multiplication through line intersections, commonly referred to as Chinese multiplication, as a resource for organizing and externalizing arithmetic processing. Drawing on contributions from cognitive neuroscience, Cognitive Load Theory, and studies on numerical processing and visuospatial representations, the study discusses the hypothesis that converting certain numerical relationships into graphical representations may help distribute cognitive demands and reduce components of extraneous cognitive load during learning. Methodologically, the study is characterized as **Educational Design Research (EDR) of a theoretical-propositional nature**, in which conceptual foundations, demonstrative applications, and a projected intervention scenario are systematized to guide future empirical investigation. The study presents progressive applications of visuospatial multiplication, examines its pedagogical possibilities, and acknowledges its scalability limitations in multidigit operations. As an original contribution, the **Algorithmic**

GPS for Chinese Multiplication is proposed as an instructional guidance architecture designed to segment the problem-solving pathway, direct attention, and make the complexity of multidigit representations more navigable. From the perspective of Cognitive Load Theory, it is hypothesized that this structure may reduce extraneous demands associated with locating, selecting, and sequencing problem-solving steps without eliminating the mathematical complexity inherent in the operation. The study concludes that visuospatial multiplication, combined with the Algorithmic GPS, shows potential as a resource for conceptual mediation and instructional design; however, its effects on cognitive load, mathematics anxiety, performance, and learning require specific empirical validation.

Keywords: Neuroeducation; Cognitive Load; Mathematical Anxiety; Visuospatial Multiplication; Algorithmic GPS; Mathematics Education.

1. INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

O percurso histórico, epistemológico e institucional do ensino da Matemática na Educação Básica tem sido marcado pela utilização de procedimentos algorítmicos, estratégias de memorização e atividades de execução repetitiva. Embora essas práticas desempenhem funções importantes na consolidação dos conhecimentos aritméticos, sua utilização desarticulada da compreensão conceitual pode produzir dificuldades de aprendizagem e aumentar determinadas exigências cognitivas. As contribuições da neurociência cognitiva e da psicologia educacional permitem compreender que a aprendizagem matemática envolve a interação entre memória, atenção, processamento numérico e diferentes sistemas de representação (Dehaene, 2011). Nessa

perspectiva, a Teoria da Carga Cognitiva destaca que procedimentos excessivamente dependentes da manutenção simultânea de informações podem sobrecarregar a memória de trabalho, especialmente quando os estudantes ainda não desenvolveram esquemas cognitivos suficientemente consolidados (Sweller, 1998; Paas; Van Gog; Sweller, 2010).

No cotidiano escolar, essas dificuldades podem interagir com fatores emocionais associados à ansiedade matemática, caracterizada por sentimentos de apreensão, preocupação e insegurança diante de situações que envolvem números, cálculos e resolução de problemas. Ashcraft (2002) e Beilock e Maloney (2015) destacam que pensamentos ansiosos podem competir pelos recursos da memória de trabalho, comprometendo o desempenho em determinadas tarefas matemáticas. Estudos sobre processamento emocional, respostas ao estresse e plasticidade neural também oferecem fundamentos para compreender a complexidade das interações entre aprendizagem, cognição e emoção (LeDoux, 2000; Bliss; Collingridge, 1993). Entretanto, tais conhecimentos não permitem afirmar que dificuldades aritméticas ou metodologias pedagógicas específicas provoquem, necessariamente, bloqueios sinápticos ou alterações neurobiológicas determinadas. Diante disso, emerge a seguinte problemática central: de que maneira a reorganização visuoespacial e instrucional dos procedimentos multiplicativos pode contribuir para o gerenciamento das demandas cognitivas e, potencialmente, para experiências de aprendizagem menos associadas à ansiedade matemática?

Este trabalho propõe investigar, sob perspectivas teórica, analítica e metodológica, o potencial pedagógico e neurocognitivo de abordagens visuoespaciais alternativas, com ênfase no método

gráfico de multiplicação por interseção de retas, comumente denominado multiplicação chinesa. A justificativa teórica e prática deste estudo fundamenta-se na necessidade de ampliar as possibilidades de representação e mediação dos conhecimentos matemáticos, considerando os processos cognitivos envolvidos na aprendizagem. Estudos sobre cognição numérica evidenciam a participação de regiões parietais, especialmente do sulco intraparietal, no processamento de magnitudes e nas relações entre número e espaço (Dehaene, 1997, 2003). Nessa perspectiva, a conversão de determinadas relações multiplicativas em representações geométricas pode oferecer uma via complementar de organização das informações, possibilitando investigar em que condições essa estratégia favorece a compreensão dos produtos parciais, do valor posicional e dos reagrupamentos decimais, sem pressupor modificações neurofuncionais específicas decorrentes de sua utilização.

Portanto, o objetivo geral deste artigo é analisar conceitual, neuroeducacional, metodológica e criticamente o potencial da multiplicação visuoespacial, articulada ao GPS Algorítmico de Multiplicação Chinesa, como estratégia de organização instrucional capaz de favorecer a compreensão matemática e, hipoteticamente, reduzir componentes da carga cognitiva extrínseca associados à resolução de operações multidígitos. Busca-se, igualmente, discutir suas possíveis relações com a ansiedade matemática e com os fundamentos gerais da plasticidade cerebral, reconhecendo que eventuais efeitos sobre o funcionamento neural, o desempenho e as respostas emocionais exigem validação empírica específica. Para cumprir esse propósito, o texto estrutura-se em seções que abordam o processamento numérico, a neurociência cognitiva, a Teoria da Carga Cognitiva, a Pesquisa de Design Educacional de natureza

teórico-propositiva, aplicações práticas passo a passo da multiplicação chinesa convencional e do GPS Algorítmico, análises comparativas, limitações operacionais e implicações para a formação docente e a gestão educacional.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Neurociência Cognitiva e Processamento Numérico

A compreensão da aprendizagem matemática tem sido significativamente ampliada pelas contribuições da neurociência cognitiva, especialmente no que se refere aos mecanismos envolvidos na percepção de quantidades, representação simbólica, memória, atenção e raciocínio. Nessa perspectiva, o processamento numérico não constitui uma atividade cognitiva isolada, mas resulta da interação entre diferentes sistemas neurais que permitem reconhecer números, comparar magnitudes, recuperar conhecimentos aritméticos e estabelecer relações entre representações simbólicas e quantitativas.

Dehaene (1992) apresenta contribuição fundamental para essa discussão ao demonstrar que a cognição numérica envolve diferentes formas de representação das quantidades. Compreender um número não significa apenas reconhecer visualmente um algarismo, mas relacioná-lo à magnitude que representa e estabelecer conexões entre símbolos, palavras e quantidades. Essa característica multidimensional permite compreender por que a aprendizagem matemática não pode ser reduzida exclusivamente à memorização de procedimentos e algoritmos.

A hipótese do senso numérico desenvolvida por Dehaene (1997) reforça a concepção de que os seres humanos apresentam

mecanismos cognitivos capazes de representar e comparar quantidades. A escolarização amplia progressivamente essas competências ao introduzir símbolos, operações, propriedades e algoritmos formalizados. Dessa forma, aprender Matemática envolve estabelecer relações entre capacidades quantitativas elementares e sistemas simbólicos culturalmente construídos.

Dehaene (2005), ao discutir a hipótese da reciclagem neuronal, acrescenta que aprendizagens culturais como leitura e aritmética se apoiam em circuitos neurais previamente existentes, reorganizando-os funcionalmente para atender às exigências de competências historicamente desenvolvidas. Sob essa perspectiva, o cérebro humano não teria evoluído especificamente para executar os algoritmos matemáticos utilizados na escola; essas competências são construídas por meio da aprendizagem e da experiência.

Essa concepção possui implicações relevantes para a Educação Matemática. Se os conhecimentos formais precisam ser progressivamente relacionados a sistemas cognitivos já disponíveis, diferentes formas de representação podem funcionar como mediadoras entre experiências quantitativas mais intuitivas e estruturas matemáticas abstratas. Símbolos, diagramas, materiais manipuláveis e representações visuoespaciais podem, quando pedagogicamente articulados, oferecer diferentes vias para a construção do significado matemático.

Delazer et al. (2005), ao investigarem a aprendizagem de operações aritméticas mediante técnicas de neuroimagem funcional, demonstram que treinamento e experiência podem modificar os padrões funcionais associados às estratégias utilizadas na resolução matemática. Os resultados reforçam a compreensão de que a

aprendizagem não consiste simplesmente no acúmulo de informações, mas envolve mudanças na maneira pela qual os conhecimentos são organizados e mobilizados durante a execução das tarefas.

A plasticidade cerebral oferece sustentação adicional a essa interpretação. Kolb e Whishaw (1998) destacam que o cérebro apresenta capacidade de modificação estrutural e funcional em resposta à experiência, enquanto Pascual-Leone et al. (2005) ressaltam a natureza dinâmica e adaptativa do córtex humano. No campo educacional, esses achados sustentam a compreensão de que experiências sistemáticas de aprendizagem participam da reorganização funcional das redes neurais.

Entretanto, essa relação deve ser interpretada com cautela. A plasticidade neural é uma propriedade geral do sistema nervoso e não significa que determinada metodologia pedagógica produza automaticamente modificações cerebrais específicas ou superiores. A aproximação entre neurociência e educação exige que achados neurobiológicos sejam articulados com conhecimentos provenientes da psicologia cognitiva, da didática e da pesquisa educacional, evitando interpretações deterministas ou neuromitos.

Nesse sentido, Butterworth (2005), ao discutir dificuldades relacionadas à cognição matemática, evidencia que diferenças individuais no processamento numérico podem produzir trajetórias distintas de aprendizagem. Tal constatação reforça a importância da diversificação das estratégias pedagógicas, uma vez que a utilização exclusiva de uma única modalidade de representação pode não atender igualmente às necessidades de todos os estudantes.

A multiplicação constitui um exemplo particularmente relevante dessa diversidade cognitiva. O algoritmo convencional exige que o estudante compreenda relações entre fatos multiplicativos, valor posicional, decomposição numérica e produtos parciais. Quando essas relações são apresentadas apenas como uma sequência de regras operatórias, existe o risco de o procedimento ser executado mecanicamente sem que sua estrutura matemática seja plenamente compreendida.

Nesse contexto, representações visuoespaciais podem atuar como recursos de mediação. Ao converter determinadas relações numéricas em configurações espacialmente observáveis, essas estratégias permitem explorar visualmente agrupamentos, decomposições e produtos parciais. Isso não significa que uma representação gráfica seja necessariamente superior ao algoritmo convencional, mas que diferentes registros podem contribuir para tornar determinadas relações matemáticas mais explícitas durante o processo de aprendizagem.

A multiplicação por interseção de retas, objeto de análise deste estudo, insere-se nessa perspectiva. Ao representar os fatores por conjuntos de linhas e determinados produtos parciais pelas interseções formadas entre elas, o método transforma temporariamente relações simbólicas em uma configuração visuoespacial. Essa transformação pode funcionar como ponte entre a percepção quantitativa e a formalização matemática, especialmente quando acompanhada por mediação docente que explicita o significado das representações utilizadas.

A utilização de múltiplas representações também pode favorecer a flexibilidade cognitiva. Diamond (2013) destaca a importância das

funções executivas para a capacidade de adaptar estratégias, controlar ações e responder de maneira flexível às exigências das tarefas. No contexto matemático, essa flexibilidade pode manifestar-se na possibilidade de transitar entre diferentes procedimentos e selecionar aquele que melhor se adapta ao problema enfrentado.

Assim, a finalidade pedagógica de uma estratégia visuoespacial não deve consistir em substituir permanentemente os algoritmos convencionais, mas em ampliar o repertório representacional do estudante e favorecer a compreensão das relações matemáticas subjacentes. À medida que os conceitos são consolidados, representações inicialmente explícitas podem dar lugar a formas simbólicas mais compactas e eficientes.

A articulação entre Dehaene (1992, 1997, 2005), Delazer et al. (2005), Butterworth (2005), Kolb e Whishaw (1998), Pascual-Leone et al. (2005) e Diamond (2013) permite compreender o processamento numérico como fenômeno simultaneamente cognitivo, neural, cultural e educacional. A aprendizagem matemática emerge da interação entre capacidades quantitativas, experiências escolares, sistemas simbólicos e estratégias de representação.

Para o presente estudo, essa perspectiva fornece a base necessária para analisar a multiplicação visuoespacial sem atribuir-lhe efeitos neurobiológicos automáticos ou exclusivos. Seu potencial reside na possibilidade de oferecer uma representação complementar das relações multiplicativas, favorecendo a articulação entre quantidade, organização espacial e simbolização matemática.

Em síntese, a neurociência cognitiva não fornece uma metodologia única para o ensino da Matemática, mas amplia a compreensão dos

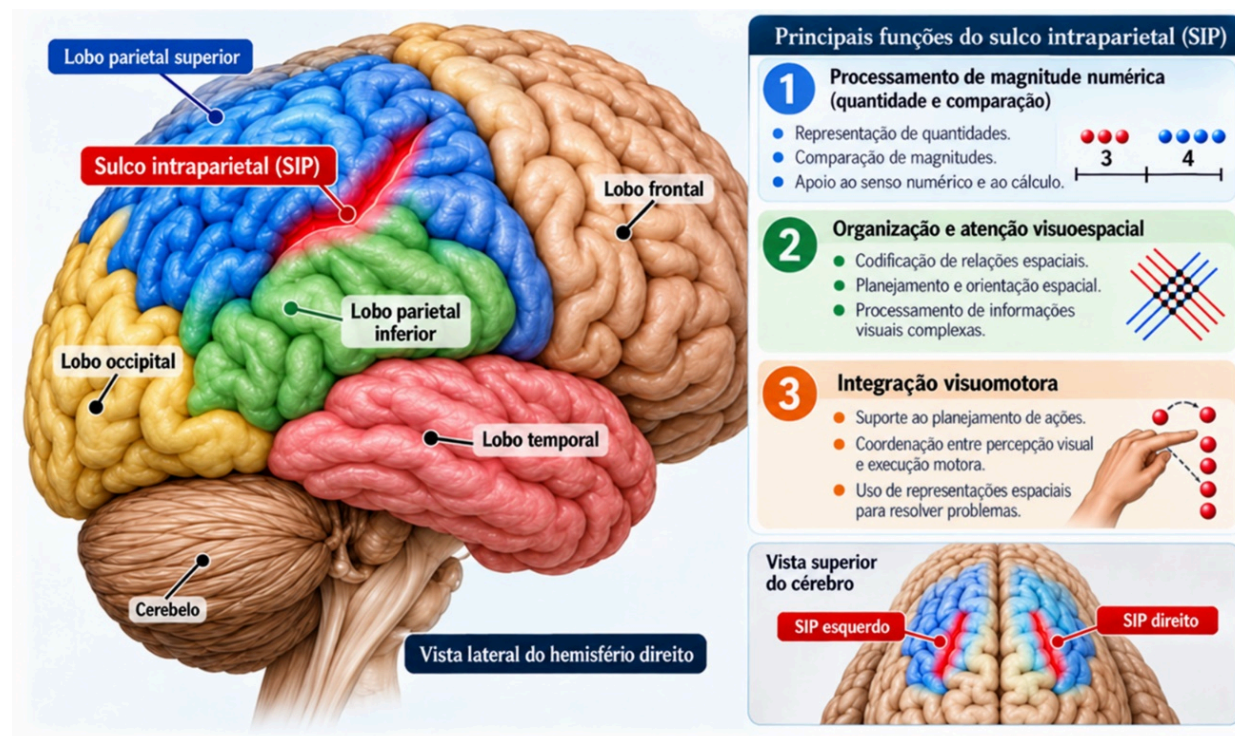
processos envolvidos na aprendizagem. Seus achados reforçam a importância de considerar a diversidade de representações, a experiência do estudante e a natureza dinâmica da aprendizagem.

2.2. Sulco Intraparietal e Representação Visuoespacial da Magnitude

A relação entre número, magnitude e espaço constitui um dos eixos centrais das investigações contemporâneas sobre cognição matemática. Evidências provenientes da psicologia cognitiva e da neurociência indicam que o processamento numérico não se limita ao reconhecimento de símbolos abstratos, envolvendo também sistemas relacionados à representação quantitativa e espacial. Nesse contexto, regiões do córtex parietal, particularmente aquelas situadas ao redor do sulco intraparietal (SIP, denominado *intraparietal sulcus* — IPS na literatura científica internacional), têm sido consistentemente associadas ao processamento de magnitudes numéricas e à realização de diferentes tarefas aritméticas.

Dehaene et al. (2003) destacam que diferentes regiões parietais desempenham funções parcialmente distintas durante o processamento matemático, sendo o segmento horizontal do sulco intraparietal especialmente relacionado à representação semântica das quantidades. Isso significa que reconhecer um algarismo não equivale apenas a identificar sua forma gráfica, mas envolve acessar a magnitude que ele representa. Essa perspectiva converge com o modelo do senso numérico discutido por Dehaene (1997), segundo o qual os seres humanos dispõem de mecanismos cognitivos capazes de representar e comparar quantidades, posteriormente articulados aos sistemas simbólicos adquiridos durante a escolarização.

Figura 1. Localização do sulco intraparietal (SIP) e sua participação no processamento de magnitude numérica e representação visuoespacial



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A associação entre números e espaço também encontra respaldo nos estudos de Dehaene, Bossini e Giraux (1993), que identificaram o chamado efeito SNARC (Spatial-Numerical Association of Response Codes). Esse fenômeno evidencia associações sistemáticas entre magnitude numérica e orientação espacial em determinadas tarefas experimentais. Tais resultados contribuíram para o desenvolvimento da noção de “linha numérica mental”, utilizada para explicar como magnitudes podem ser cognitivamente organizadas segundo relações de ordem, distância e posição.

Essa interpretação, contudo, deve ser realizada com cautela. A linha numérica mental não corresponde a uma estrutura anatômica literalmente localizada no cérebro, mas constitui um modelo explicativo para determinados padrões cognitivos. Da mesma forma, não existe uma única região cerebral responsável pela Matemática.

O processamento numérico resulta da interação entre diferentes sistemas neurais relacionados à percepção, atenção, memória, linguagem, controle executivo e representação espacial.

Estudos de neuroimagem reforçam a relevância das regiões parietais nessa rede. Pinel et al. (2001), ao investigarem tarefas de comparação numérica e de magnitude, identificaram participação de áreas parietais no processamento quantitativo. Cohen Kadosh et al. (2008) igualmente destacam a importância do córtex parietal para a representação de magnitude, ao mesmo tempo em que demonstram que atividades matemáticas dependem de redes distribuídas e funcionalmente integradas.

Essa compreensão possui implicações importantes para a Educação Matemática. Se a representação numérica envolve relações entre quantidade e espaço, estratégias pedagógicas que tornem determinadas estruturas matemáticas espacialmente perceptíveis podem funcionar como instrumentos mediadores da aprendizagem. Isso não significa que recursos visuais sejam necessariamente superiores às representações simbólicas, mas que podem oferecer formas complementares de acesso às relações quantitativas.

Nesse sentido, a multiplicação por interseção de retas pode ser compreendida como uma representação externa das relações multiplicativas. Os fatores numéricos são convertidos em agrupamentos de linhas, enquanto determinados produtos parciais tornam-se perceptíveis nas regiões formadas pelas interseções. A organização espacial possibilita relacionar visualmente agrupamentos, produtos e ordens do sistema decimal,

estabelecendo uma ponte entre quantidade e representação simbólica.

Em uma multiplicação envolvendo dezenas e unidades, por exemplo, as diferentes regiões da representação podem ser associadas aos valores posicionais dos algarismos. Dessa forma, aquilo que no algoritmo convencional aparece condensado em procedimentos simbólicos pode ser temporariamente explicitado por meio de uma configuração espacial. A representação gráfica pode, portanto, ser utilizada como recurso para explorar decomposição numérica, produtos parciais e valor posicional.

Delazer et al. (2005), ao investigarem a aprendizagem de operações aritméticas por meio de neuroimagem funcional, demonstram que treinamento e aprendizagem podem modificar os padrões de ativação associados às estratégias utilizadas na resolução matemática. Esses resultados reforçam a compreensão de que a experiência participa da organização funcional dos processos envolvidos no cálculo, embora não autorizem afirmar que uma metodologia específica produza isoladamente determinada alteração cerebral.

Essa ressalva é particularmente importante para o presente estudo. Não seria cientificamente adequado afirmar que a multiplicação visuoespacial transfere o cálculo integralmente para o sulco intraparietal ou que o simples traçado de linhas ativa isoladamente essa região. O processamento matemático depende de redes distribuídas. O que a literatura permite sustentar é que o SIP possui participação relevante no processamento de magnitude e que número e espaço apresentam relações cognitivas que podem ser pedagogicamente exploradas.

Ansari (2008) destaca que a aproximação entre neurociência cognitiva e Educação Matemática oferece possibilidades importantes para compreender os processos de aprendizagem, mas exige cautela na transposição de achados laboratoriais para a prática escolar. Resultados de neuroimagem demonstram associações funcionais, não prescrições pedagógicas automáticas. Da mesma forma, Howard-Jones (2014) alerta para o risco dos neuromitos produzidos quando conhecimentos neurocientíficos complexos são simplificados excessivamente e convertidos em regras educacionais sem sustentação empírica.

Essa cautela fortalece a análise da multiplicação visuoespacial, pois permite situá-la como recurso didático sem atribuir-lhe uma superioridade neurobiológica previamente estabelecida. Seu potencial pedagógico reside principalmente na possibilidade de reorganizar espacialmente relações quantitativas, tornando perceptíveis elementos que podem permanecer menos explícitos no algoritmo convencional.

Entretanto, essa vantagem potencial apresenta limites. À medida que aumenta o número de algarismos envolvidos, cresce também a quantidade de linhas e interseções necessárias. A representação pode tornar-se visualmente congestionada e exigir elevado controle perceptivo. O próprio artigo reconhece essa limitação ao demonstrar que operações com muitos dígitos produzem malhas de interseções pouco funcionais para a execução cotidiana. Assim, o método apresenta maior coerência pedagógica quando compreendido como ferramenta de mediação e não como substituto universal dos algoritmos convencionais.

A atuação docente torna-se, nesse contexto, fundamental. A simples apresentação de linhas e interseções não garante compreensão matemática. Cabe ao professor explicitar as relações entre os agrupamentos gráficos, os produtos parciais, o valor posicional e a representação simbólica, conduzindo progressivamente o estudante da visualização para a abstração. A representação visuoespacial adquire significado pedagógico quando funciona como ponte entre aquilo que o estudante observa e as estruturas matemáticas que precisa compreender.

Em síntese, os trabalhos de Dehaene (1997, 2003), Dehaene, Bossini e Giraux (1993), Dehaene et al. (2003), Pinel et al. (2001), Delazer et al. (2005), Cohen Kadosh et al. (2008) e Ansari (2008) sustentam uma compreensão da cognição matemática na qual magnitude, espaço e processamento numérico apresentam relações relevantes. O sulco intraparietal integra essa arquitetura funcional, mas não atua isoladamente.

Para o presente estudo, tais evidências fornecem sustentação para investigar a multiplicação visuoespacial como estratégia de representação das relações quantitativas. O método de interseção de retas pode tornar espacialmente observáveis determinados componentes da multiplicação, favorecendo a articulação entre magnitude, decomposição numérica e simbolização. Seu valor pedagógico, entretanto, depende da complexidade da tarefa, da mediação docente e da capacidade de promover a transição da representação visual para formas progressivamente mais abstratas e eficientes de raciocínio matemático.

2.3. Teoria da Carga Cognitiva e Memória de Trabalho

A aprendizagem matemática envolve a coordenação simultânea de diferentes processos cognitivos, entre eles atenção, recuperação de conhecimentos previamente armazenados, manipulação de símbolos, organização espacial e manutenção temporária de informações. Em tarefas aritméticas compostas por várias etapas, essas exigências podem representar uma demanda significativa para a memória de trabalho, sobretudo quando o estudante ainda não automatizou os procedimentos necessários à resolução. Nesse contexto, a Teoria da Carga Cognitiva constitui um referencial particularmente relevante para compreender de que maneira a organização da informação e as estratégias instrucionais podem facilitar ou dificultar a aprendizagem.

Sweller (1988), um dos principais formuladores da Teoria da Carga Cognitiva, sustenta que a capacidade de processamento consciente de informações novas é limitada. Quando uma atividade exige que muitos elementos sejam processados simultaneamente, o estudante pode experimentar dificuldades que não decorrem necessariamente da ausência de capacidade para aprender o conteúdo, mas da quantidade e da interação das informações que precisam ser mantidas e manipuladas durante a execução da tarefa. Essa compreensão é especialmente pertinente à Educação Matemática, área em que procedimentos aparentemente simples para indivíduos experientes podem envolver elevado número de operações cognitivas para estudantes iniciantes.

A memória de trabalho ocupa posição central nessa discussão. Baddeley (1992) a caracteriza como um sistema cognitivo responsável pela manutenção e manipulação temporária das informações necessárias à realização de atividades complexas. Diferentemente de um simples armazenamento transitório, ela

participa ativamente do raciocínio, da compreensão, da resolução de problemas e da aprendizagem. Em uma multiplicação convencional, por exemplo, o estudante pode precisar recuperar fatos aritméticos, manter resultados intermediários, realizar reagrupamentos, observar o valor posicional dos algarismos e acompanhar a sequência de procedimentos. Quando essas ações ainda não estão automatizadas, sua execução simultânea pode aumentar consideravelmente as demandas cognitivas.

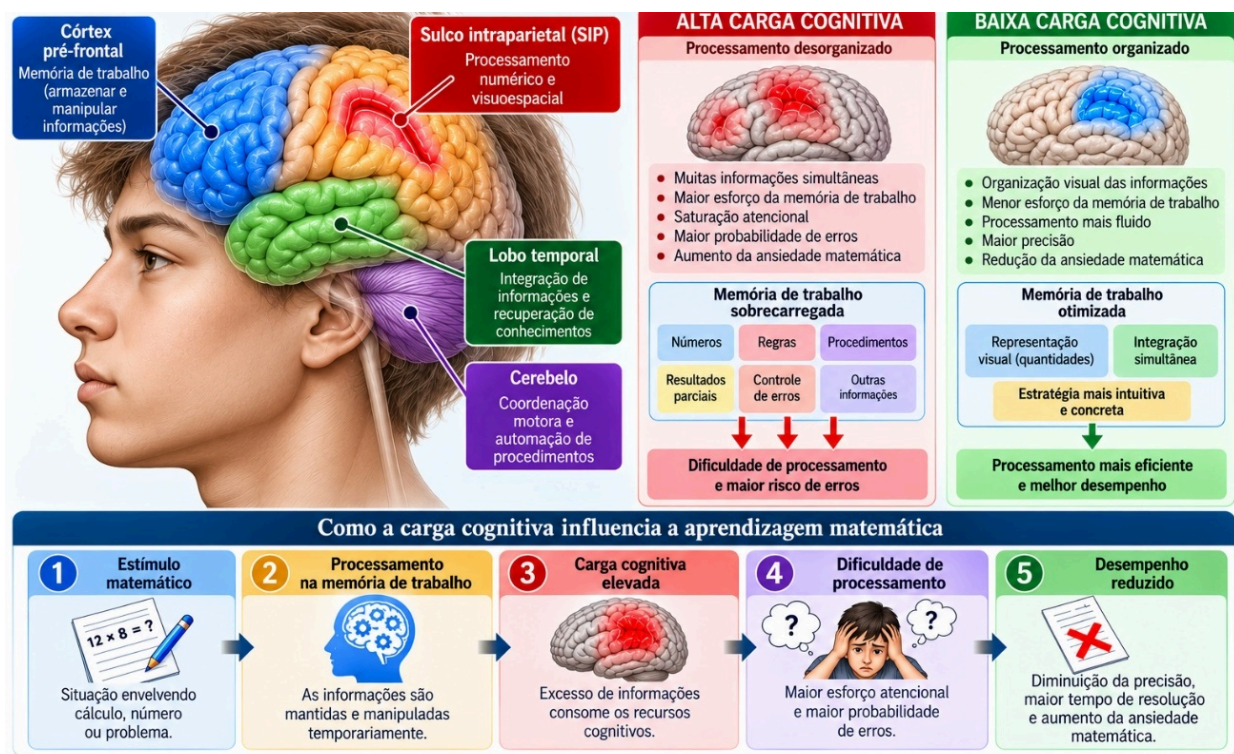
Sweller, Van Merriënboer e Paas (1998) relacionam essas limitações da memória de trabalho ao design instrucional, argumentando que a forma como uma tarefa é estruturada interfere diretamente na quantidade de recursos cognitivos exigidos para sua realização. A aprendizagem tende a ser favorecida quando a instrução possibilita a construção de esquemas organizados na memória de longo prazo. Esses esquemas permitem reunir diferentes elementos de informação em estruturas cognitivas mais integradas, fazendo com que procedimentos inicialmente difíceis se tornem progressivamente mais eficientes.

Essa distinção entre memória de trabalho e memória de longo prazo permite compreender uma característica fundamental da aprendizagem matemática: a mesma atividade pode apresentar graus muito diferentes de dificuldade para estudantes com distintos níveis de conhecimento. Um professor experiente pode executar uma multiplicação multidígito mobilizando procedimentos amplamente automatizados, enquanto um estudante iniciante precisa controlar conscientemente praticamente cada etapa da operação. Assim, a complexidade percebida não depende apenas do conteúdo matemático, mas também dos conhecimentos prévios e dos esquemas cognitivos já construídos pelo aprendiz.

Sweller, Ayres e Kalyuga (2011) aprofundam essa perspectiva ao demonstrar que a interação entre os elementos de uma tarefa influencia sua complexidade cognitiva. No ensino da multiplicação, por exemplo, o estudante precisa compreender simultaneamente fatos multiplicativos, valor posicional, decomposição numérica, produtos parciais e reagrupamentos. Caso essas relações sejam apresentadas de maneira pouco organizada, recursos limitados da memória de trabalho podem ser consumidos por aspectos secundários da tarefa, dificultando a compreensão dos princípios matemáticos fundamentais.

Por essa razão, estratégias pedagógicas que organizam externamente parte das informações podem apresentar valor instrucional. Diagramas, esquemas e representações visuoespaciais permitem que determinadas relações permaneçam perceptivamente disponíveis durante a resolução do problema, reduzindo a necessidade de conservar todos os elementos exclusivamente por meio da memória de trabalho. Paas, Renkl e Sweller (2003) destacam que um desenho instrucional adequado deve favorecer a utilização eficiente dos recursos cognitivos, direcionando o esforço do aprendiz para os elementos relevantes à construção e à automatização dos conhecimentos.

Figura 2. Memória de trabalho e carga cognitiva na aprendizagem matemática



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Essa discussão apresenta relação direta com a multiplicação visuoespacial investigada neste estudo. No método de multiplicação por interseção de retas, os fatores numéricos são convertidos em agrupamentos espacialmente organizados, enquanto os produtos parciais tornam-se observáveis por meio das regiões de interseção. Dessa forma, parte da estrutura da operação, que no algoritmo convencional aparece condensada em procedimentos simbólicos, permanece externamente representada durante a resolução.

Essa característica pode favorecer a compreensão de estudantes que ainda estão construindo conhecimentos relacionados ao valor posicional e aos produtos parciais. Em uma multiplicação envolvendo dezenas e unidades, por exemplo, as diferentes regiões da representação gráfica podem auxiliar na visualização das relações entre os algarismos dos fatores. O recurso não elimina a necessidade de raciocínio, mas modifica a maneira pela qual determinadas informações são disponibilizadas ao estudante.

É importante, entretanto, evitar a interpretação de que qualquer representação visual necessariamente reduz a carga cognitiva. Mayer (2009), ao discutir princípios da aprendizagem multimídia, demonstra que recursos visuais são pedagogicamente produtivos quando apresentam organização coerente e relação direta com o conteúdo a ser aprendido. Informações visuais excessivas, redundantes ou mal estruturadas podem, ao contrário, aumentar as demandas cognitivas e dificultar a aprendizagem.

Essa consideração é especialmente relevante para a multiplicação por interseção de retas. Em operações relativamente simples, a quantidade de linhas e pontos pode permanecer suficientemente organizada para favorecer a identificação das relações multiplicativas. Em operações com muitos algarismos, entretanto, a representação pode produzir uma malha visual densa, exigindo elevado controle perceptivo, contagem de numerosas interseções e monitoramento simultâneo de diferentes regiões.

O próprio desenvolvimento prático apresentado neste artigo evidencia essa limitação. Nas operações envolvendo números com vários algarismos, a quantidade de linhas e interseções cresce consideravelmente, tornando a execução gráfica progressivamente menos funcional. Sob a perspectiva da Teoria da Carga Cognitiva, isso significa que uma representação inicialmente utilizada como apoio pode, ultrapassado determinado nível de complexidade, transformar-se ela própria em fonte adicional de demanda cognitiva.

Consequentemente, o método visuoespacial não deve ser concebido como substituto universal do algoritmo tradicional. Sua contribuição pedagógica pode estar principalmente na condição de recurso intermediário para a construção conceitual. Depois que o estudante

compreende relações entre agrupamentos, produtos parciais e valor posicional, pode ocorrer uma transição progressiva para formas simbólicas mais compactas e operacionalmente eficientes.

Kalyuga (2007), ao analisar o denominado *expertise reversal effect*, demonstra que determinadas formas de apoio instrucional que beneficiam estudantes iniciantes podem tornar-se redundantes para aprendizes mais experientes. Esse princípio reforça a necessidade de adaptar os recursos pedagógicos ao nível de conhecimento do estudante. Uma representação detalhada pode ser útil durante a construção inicial de um conceito, mas perder sua funcionalidade quando o aprendiz já dispõe de esquemas consolidados capazes de orientar a resolução com maior eficiência.

Outro aspecto relevante diz respeito à relação entre memória de trabalho e ansiedade matemática. Ashcraft (2002) aponta que pensamentos de preocupação associados à Matemática podem competir pelos recursos cognitivos necessários à realização da própria tarefa. Quando parte da capacidade disponível é direcionada à preocupação com erros, avaliações ou fracasso, restam menos recursos para executar cálculos e acompanhar procedimentos. Assim, ansiedade e elevada demanda cognitiva podem interagir negativamente durante a resolução de problemas matemáticos.

Beilock e Maloney (2015) também compreendem a ansiedade matemática como um fenômeno multifacetado capaz de interferir no desempenho. Essa relação é particularmente importante para o presente estudo, uma vez que permite formular a hipótese de que estratégias que tornem determinadas relações matemáticas mais explícitas e manipuláveis possam contribuir para uma experiência de resolução menos dependente da manutenção simultânea de

numerosas informações. Contudo, essa possibilidade precisa ser verificada empiricamente e não deve ser apresentada como consequência neurobiológica automática do método gráfico.

Nesse sentido, é mais rigoroso compreender a multiplicação visuoespacial como uma estratégia capaz de **reorganizar**, e não simplesmente eliminar, as demandas cognitivas. Ao transformar determinadas relações simbólicas em configurações espaciais externas, o método redistribui parte das exigências de processamento. Sua eficácia dependerá da complexidade da operação, dos conhecimentos prévios, da familiaridade do estudante com a representação e da mediação realizada pelo professor.

Van Merriënboer e Sweller (2005) defendem que ambientes de aprendizagem destinados a conteúdos complexos precisam favorecer a construção progressiva de esquemas, evitando tanto a sobrecarga desnecessária quanto a simplificação excessiva das tarefas. Aplicado ao ensino da multiplicação, esse princípio sugere que representações visuoespaciais podem ser empregadas em uma progressão didática na qual o estudante inicialmente visualiza determinadas relações e, posteriormente, avança para representações simbólicas mais abstratas e eficientes.

A articulação entre Baddeley (1992), Sweller (1988), Sweller, Van Merriënboer e Paas (1998), Paas, Renkl e Sweller (2003), Van Merriënboer e Sweller (2005), Kalyuga (2007), Mayer (2009) e Sweller, Ayres e Kalyuga (2011) oferece, portanto, sustentação teórica para compreender a aprendizagem matemática como processo condicionado não apenas pela natureza do conteúdo, mas também pela arquitetura cognitiva do aprendiz e pela maneira como as informações são organizadas pedagogicamente.

Nesse quadro, a multiplicação visuoespacial pode ser compreendida como uma ferramenta de mediação cuja principal contribuição consiste em tornar perceptíveis determinadas relações que permanecem condensadas na representação algorítmica convencional. Sua utilização é potencialmente mais relevante quando orientada à compreensão conceitual, à decomposição dos números, ao reconhecimento do valor posicional e à visualização dos produtos parciais, e não quando empregada indiscriminadamente em operações de elevada complexidade.

Em síntese, a Teoria da Carga Cognitiva e o modelo de memória de trabalho oferecem fundamentos consistentes para investigar por que diferentes formas de representar uma mesma operação podem produzir experiências de aprendizagem distintas. O desafio pedagógico não consiste em eliminar o esforço cognitivo, mas em direcioná-lo para processos efetivamente relacionados à construção do conhecimento. Nessa perspectiva, a multiplicação visuoespacial pode funcionar como uma ponte entre representação concreta, organização espacial e abstração matemática, desde que utilizada de maneira criteriosa e progressiva. Essa compreensão também prepara a discussão acerca da ansiedade matemática, uma vez que limitações da memória de trabalho, demandas cognitivas e componentes emocionais podem interagir de maneira decisiva durante a aprendizagem.

2.3.1. Da Sobrecarga Visuoespacial Ao GPS Algorítmico de Multiplicação Chinesa: Uma Proposta de Escalabilidade Cognitiva

A análise da multiplicação por interseção de retas evidencia uma aparente tensão entre seu potencial pedagógico e sua escalabilidade operacional. Em operações envolvendo poucos

algarismos, a organização visuoespacial pode tornar perceptíveis relações entre agrupamentos, produtos parciais e valor posicional. Entretanto, à medida que aumenta o número de dígitos dos fatores, cresce também a quantidade de elementos que precisam ser visualmente identificados, organizados e acompanhados durante a resolução. Conforme discutido anteriormente, a multiplicação visuoespacial pode, nessas circunstâncias, produzir uma malha progressivamente mais densa de linhas e interseções, aumentando as exigências de controle perceptivo e monitoramento das diferentes regiões da representação.

Esse fenômeno não invalida necessariamente a lógica pedagógica da representação visuoespacial. Ele evidencia, antes, um problema relacionado à maneira pela qual as informações são organizadas e disponibilizadas ao aprendiz. Sob a perspectiva da Teoria da Carga Cognitiva, uma tarefa pode tornar-se particularmente exigente quando muitos elementos precisam ser mantidos, relacionados ou manipulados simultaneamente na memória de trabalho. Sweller (1988) sustenta que a capacidade de processamento consciente de informações novas é limitada, de modo que o aumento da interação entre elementos pode dificultar a aprendizagem quando a organização instrucional não oferece mecanismos adequados de orientação.

Essa questão assume relevância particular nas **multiplicações multidígitos**. O estudante não precisa apenas realizar produtos elementares, mas coordenar valor posicional, produtos parciais, agrupamentos, reagrupamentos e sequência operacional. O próprio artigo demonstra que uma mesma operação pode apresentar demandas cognitivas distintas em função dos conhecimentos prévios e do grau de automatização alcançado pelo aprendiz. Para

um estudante iniciante, etapas que um indivíduo experiente executa de maneira integrada podem exigir controle consciente praticamente contínuo.

Sweller, Van Merriënboer e Paas (1998) argumentam que o design instrucional interfere diretamente na quantidade de recursos cognitivos necessários à realização de uma tarefa. Nessa perspectiva, a dificuldade encontrada em uma multiplicação visuoespacial de grande extensão não precisa ser atribuída exclusivamente à quantidade de algarismos envolvida. Parte da demanda pode decorrer da necessidade de localizar, selecionar, sequenciar e acompanhar simultaneamente diferentes componentes da representação.

É nesse ponto que se insere, como contribuição autoral deste estudo, o **GPS Algorítmico de Multiplicação Chinesa**. A proposta parte da analogia funcional com um sistema de navegação: diante de um percurso complexo, o usuário não necessita manter mentalmente a totalidade do trajeto, todas as mudanças de direção e todos os pontos de referência ao mesmo tempo. O sistema organiza o percurso em orientações sucessivas, indicando progressivamente qual ação deve ser executada. Transposta para o domínio da multiplicação, essa lógica permite conceber um mecanismo de orientação no qual uma operação extensa é organizada em etapas identificáveis, reduzindo a necessidade de o estudante administrar simultaneamente toda a configuração visuoespacial.

O termo **GPS**, portanto, não deve ser compreendido apenas como recurso metafórico ou nomenclatura ilustrativa. Ele expressa a função instrucional atribuída ao mecanismo: **orientar o estudante**

no percurso algorítmico da multiplicação, indicando uma sequência organizada de processamento e diminuindo a possibilidade de perda de referência diante da complexidade visual da operação. Assim como um sistema de navegação transforma um trajeto global em sucessivas decisões locais, o GPS Algorítmico busca transformar uma configuração multidígito globalmente complexa em um percurso composto por etapas cognitivamente mais delimitadas.

Essa concepção encontra respaldo na discussão desenvolvida anteriormente neste artigo acerca da externalização de informações. Diagramas, esquemas e representações visuoespaciais podem manter determinados elementos perceptivamente disponíveis durante a resolução, diminuindo a necessidade de conservar todas as informações exclusivamente na memória de trabalho. Paas, Renkl e Sweller (2003) destacam que o desenho instrucional deve favorecer a utilização eficiente dos recursos cognitivos, direcionando-os aos aspectos relevantes para a aprendizagem.

Nesse sentido, o GPS Algorítmico pode ser interpretado como uma **estrutura externa de orientação cognitiva**. Sua função não consiste em eliminar o raciocínio matemático nem em reduzir artificialmente a complexidade conceitual da multiplicação, mas em organizar o percurso necessário para que essa complexidade seja processada. A distinção é teoricamente importante: o conhecimento matemático continua exigindo compreensão de valor posicional, relações multiplicativas, decomposição e composição dos resultados; o que se pretende reorganizar são demandas adicionais relacionadas à navegação pela representação.

Sob a Teoria da Carga Cognitiva, essa distinção permite formular a hipótese de que o GPS Algorítmico atue principalmente sobre componentes da **carga cognitiva extrínseca**, isto é, sobre demandas relacionadas à forma pela qual a informação e o percurso de resolução são apresentados ao estudante. Não se pretende afirmar que uma multiplicação envolvendo muitos algarismos deixe de possuir complexidade matemática. O que se propõe é que parte da dificuldade operacional decorrente da necessidade de decidir continuamente onde observar, qual região processar, qual etapa executar e como prosseguir possa ser reorganizada por meio de um sistema explícito de orientação.

A proposta também dialoga com o princípio de construção progressiva de esquemas. Sweller, Van Merriënboer e Paas (1998) destacam que estruturas organizadas na memória de longo prazo permitem integrar diferentes elementos em unidades cognitivas mais eficientes. À medida que o estudante se familiariza com determinado procedimento, ações inicialmente independentes podem ser progressivamente agrupadas e automatizadas. O GPS Algorítmico pode, nesse sentido, funcionar como apoio inicial à organização do percurso, favorecendo a construção de esquemas que posteriormente permitam maior autonomia na execução.

Tal interpretação também impede que o GPS seja compreendido como mecanismo permanente de dependência. Kalyuga (2007), ao discutir o expertise reversal effect, demonstra que suportes úteis para aprendizes iniciantes podem tornar-se redundantes quando os estudantes desenvolvem maior domínio. O artigo já reconhece essa necessidade de adaptação dos recursos pedagógicos ao nível de conhecimento do estudante. Assim, o GPS pode ser concebido dentro de uma lógica de **andaime cognitivo progressivamente**

removível: inicialmente orienta explicitamente o percurso; posteriormente, à medida que o estudante internaliza a estrutura, sua dependência das indicações externas pode diminuir.

Essa característica amplia a discussão acerca da escalabilidade da multiplicação visuoespacial. Sem um mecanismo adicional de organização, o crescimento do número de Algarismos tende a produzir crescimento da quantidade de elementos gráficos e das decisões perceptivas necessárias. O problema, portanto, não está apenas no aumento quantitativo das linhas, mas na necessidade de determinar continuamente **onde iniciar, qual região considerar, em que sequência prosseguir e como integrar os resultados obtidos.**

O GPS Algorítmico é proposto precisamente para atuar sobre esse segundo nível do problema. Em vez de permitir que o estudante enfrente a representação como uma malha indiferenciada de informações, estabelece-se um percurso de leitura e processamento. A configuração visual permanece complexa, mas deixa de precisar ser interpretada globalmente a cada etapa. O foco atencional pode ser direcionado para unidades sucessivas da operação, preservando-se a relação dessas unidades com a estrutura matemática global.

Nesse aspecto, torna-se importante distinguir **complexidade visual objetiva** de **complexidade cognitiva experimentada pelo aprendiz.** Uma representação pode conter grande quantidade de elementos e, ainda assim, apresentar diferentes níveis de dificuldade dependendo de como a atenção é orientada e de como esses elementos são segmentados. Mayer (2009) ressalta que recursos visuais não são intrinsecamente facilitadores: sua eficácia depende da organização, da pertinência e da maneira pela qual as

informações relevantes são apresentadas. O próprio artigo reconhece que informações visuais excessivas ou mal estruturadas podem aumentar, em vez de diminuir, as demandas cognitivas.

A inovação proposta pelo GPS Algorítmico reside, portanto, não em negar a existência da complexidade visual das multiplicações multidígitos, mas em **introduzir uma arquitetura de navegação dentro dessa complexidade**. Essa diferença é fundamental. Enquanto a multiplicação por interseção de retas oferece a representação visuoespacial da estrutura multiplicativa, o GPS acrescenta uma camada de orientação destinada a determinar o percurso de processamento dessa representação.

Pode-se, assim, estabelecer conceitualmente dois níveis complementares. No primeiro, encontra-se a **representação visuoespacial**, responsável por externalizar relações entre quantidades, agrupamentos, produtos e posições. No segundo, encontra-se a **orientação algorítmica**, responsável por organizar a sequência mediante a qual essas informações são percorridas e processadas. O **GPS Algorítmico de Multiplicação Chinesa** emerge da articulação entre esses dois níveis.

Essa organização também permite reinterpretar a noção de descompressão cognitiva proposta neste trabalho. Descomprimir cognitivamente uma atividade não significa necessariamente torná-la matematicamente simples. Significa organizar suas demandas de maneira compatível com as limitações e possibilidades do sistema cognitivo. Uma operação complexa pode permanecer matematicamente complexa e, ao mesmo tempo, tornar-se instrucionalmente mais administrável quando sua execução é segmentada, orientada e progressivamente integrada.

Sob essa perspectiva, o GPS Algorítmico representa uma tentativa de evitar que a complexidade matemática inerente à operação seja acrescida desnecessariamente por uma complexidade de navegação. Em outras palavras, o estudante deve investir seus recursos cognitivos na compreensão e execução da multiplicação, e não predominantemente em descobrir continuamente **qual é o próximo passo ou onde esse passo deve ser realizado.**

Essa proposição também modifica a interpretação da principal limitação operacional atribuída à multiplicação visuoespacial. O presente artigo reconhece que, em operações de maior extensão, a quantidade de linhas e interseções pode tornar a representação progressivamente menos funcional. Entretanto, a introdução do GPS permite formular uma nova questão de investigação: **até que ponto a limitação observada decorre da representação visuoespacial propriamente dita e até que ponto decorre da ausência de um mecanismo sistemático de orientação para navegar por essa representação?**

Essa questão abre uma perspectiva de investigação particularmente relevante. Em vez de assumir a baixa escalabilidade da multiplicação visuoespacial como limite definitivo, o GPS Algorítmico permite tratá-la como um **problema de design instrucional passível de intervenção.** A representação multidígito continua apresentando maior densidade gráfica, mas a navegação por essa densidade pode ser estruturada pedagogicamente.

Desse modo, propõe-se que o **GPS Algorítmico de Multiplicação Chinesa** seja compreendido como uma **arquitetura instrucional de orientação aplicada à multiplicação visuoespacial**, concebida para organizar sequencialmente o processamento de operações com

múltiplos algoritmos. Sua hipótese central consiste em que a externalização do percurso, a segmentação das etapas e o direcionamento explícito da atenção possam reduzir demandas cognitivas extrínsecas associadas ao monitoramento simultâneo de uma representação extensa, preservando os componentes matemáticos essenciais da tarefa.

Entretanto, em consonância com a prudência epistemológica adotada ao longo deste estudo, essa proposição não deve ser interpretada como evidência já estabelecida de redução da carga cognitiva. A Teoria da Carga Cognitiva oferece fundamentação para formular essa hipótese, mas a demonstração de sua eficácia requer investigação empírica específica. Estudos posteriores poderão comparar, por exemplo, desempenho, tempo de execução, frequência de erros, necessidade de retomadas, percepção subjetiva de esforço e medidas de carga cognitiva em estudantes que realizem multiplicações multidígitos com e sem o auxílio do GPS Algorítmico.

Essa necessidade de validação não reduz a relevância da proposição; ao contrário, delimita adequadamente seu estatuto científico. **O GPS Algorítmico de Multiplicação Chinesa constitui, neste trabalho, uma contribuição teórico-metodológica autoral derivada de uma limitação identificada no próprio modelo visuoespacial.** Sua originalidade reside na tentativa de transformar o problema da escalabilidade de uma questão exclusivamente gráfica em uma questão de organização do percurso cognitivo.

Assim, a multiplicação visuoespacial e o GPS Algorítmico não devem ser compreendidos como duas propostas independentes. A primeira fornece uma forma alternativa de representação das relações

multiplicativas; o segundo procura oferecer uma estrutura de navegação capaz de orientar o estudante quando essa representação alcança níveis superiores de complexidade. A articulação entre ambos permite formular uma hipótese ampliada de descompressão cognitiva: **não apenas tornar visíveis determinadas relações matemáticas, mas também tornar navegável a complexidade produzida por essas relações quando aumenta o número de algarismos.**

Nessa perspectiva, o GPS Algorítmico de Multiplicação não elimina o problema da complexidade multidígito; ele **reformula o modo de enfrentá-lo**. A questão deixa de ser simplesmente se a multiplicação por interseção de retas se torna visualmente complexa com números extensos — aspecto já reconhecido neste artigo — e passa a incluir uma segunda questão: se uma arquitetura explícita de orientação pode tornar essa complexidade cognitivamente mais administrável. Essa mudança de perspectiva transforma uma limitação previamente identificada em **problema de investigação e oportunidade de inovação pedagógica**, abrindo caminho para estudos experimentais destinados a avaliar a escalabilidade, a eficiência e os possíveis efeitos do GPS Algorítmico sobre a aprendizagem da multiplicação.

2.4. Ansiedade Matemática e Seus Correlatos Neurocognitivos

A ansiedade matemática constitui um fenômeno relevante para a compreensão das dificuldades enfrentadas por estudantes diante de tarefas que envolvem números, cálculos e resolução de problemas. Caracteriza-se por respostas de tensão, preocupação, apreensão ou desconforto que podem surgir em situações nas quais o indivíduo precisa utilizar conhecimentos matemáticos. Seus efeitos não se

restringem ao domínio emocional, uma vez que podem interferir na atenção, na memória de trabalho, na tomada de decisões e no desempenho acadêmico.

Richardson e Suinn (1972), em estudo clássico que resultou no desenvolvimento da Mathematics Anxiety Rating Scale (MARS), contribuíram para consolidar a ansiedade matemática como um construto passível de investigação sistemática. Os autores demonstraram que reações de ansiedade diante da Matemática poderiam ser identificadas e mensuradas, favorecendo o desenvolvimento posterior de pesquisas destinadas a compreender suas relações com desempenho, aprendizagem e comportamento acadêmico.

Ashcraft (2002) destaca que a ansiedade matemática pode produzir consequências cognitivas e educacionais significativas. Durante a execução de uma tarefa matemática, pensamentos relacionados ao medo de errar, à antecipação do fracasso ou à avaliação negativa podem competir pelos recursos cognitivos necessários à resolução do problema. Assim, parte da capacidade que poderia ser direcionada ao cálculo e ao raciocínio passa a ser ocupada pela própria preocupação associada à situação.

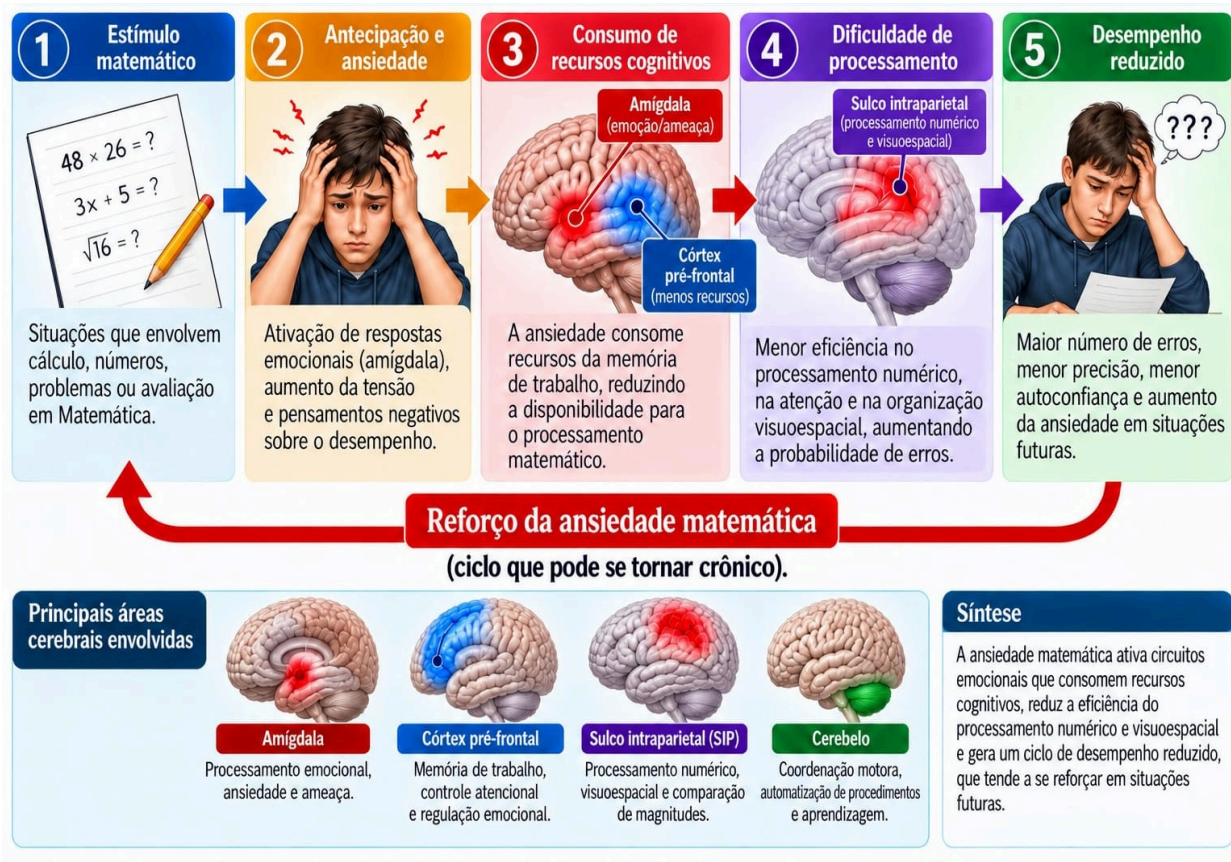
Essa interpretação apresenta relação direta com a memória de trabalho discutida anteriormente. Quando o estudante precisa manter resultados intermediários, recuperar fatos aritméticos e acompanhar diferentes etapas de uma operação, a disponibilidade dos recursos cognitivos torna-se particularmente importante. Se pensamentos ansiosos passam a competir por esses mesmos recursos, o desempenho pode ser prejudicado, sobretudo em tarefas que já apresentam elevada complexidade.

Hopko et al. (2003), ao desenvolverem a Abbreviated Math Anxiety Scale (AMAS), contribuíram para ampliar os instrumentos disponíveis para avaliação do fenômeno. A existência de medidas psicométricas específicas reforça a compreensão de que a ansiedade matemática não deve ser confundida simplesmente com falta de interesse ou dificuldade geral de aprendizagem. Trata-se de um fenômeno que pode apresentar diferentes intensidades e interagir com experiências escolares, expectativas de desempenho e crenças construídas ao longo da trajetória educacional.

Beilock e Maloney (2015) compreendem a ansiedade matemática como um problema multifacetado. Além dos componentes cognitivos, fatores emocionais, sociais e educacionais podem participar de seu desenvolvimento e manutenção. Experiências repetidas de fracasso, avaliações excessivamente ameaçadoras, comparações sociais e crenças negativas sobre a própria capacidade matemática podem contribuir para que determinadas situações numéricas sejam progressivamente associadas a respostas de apreensão.

Essa relação pode produzir um ciclo educacional problemático. O estudante que experimenta ansiedade tende a perceber determinadas atividades matemáticas como ameaçadoras e pode evitar situações que exijam maior envolvimento com a disciplina. A redução da prática e da exposição a experiências de aprendizagem, por sua vez, pode dificultar o desenvolvimento de competências, contribuindo para novos episódios de baixo desempenho e reforçando expectativas negativas.

Figura 3. Ciclo da ansiedade matemática e seus efeitos cognitivos



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

No campo neurocognitivo, estudos indicam que a ansiedade matemática está relacionada à interação entre sistemas envolvidos no processamento emocional e redes responsáveis pelo controle cognitivo. Contudo, tais evidências precisam ser interpretadas cuidadosamente. Não seria adequado atribuir o fenômeno exclusivamente à ativação de uma única estrutura cerebral, uma vez que emoções, atenção, memória e processamento matemático dependem de redes distribuídas e interativas.

Young, Wu e Menon (2012), ao investigarem crianças com diferentes níveis de ansiedade matemática por meio de neuroimagem funcional, encontraram diferenças em sistemas relacionados ao processamento emocional e à atividade de regiões envolvidas no desempenho matemático. Os resultados reforçam a hipótese de que a ansiedade pode interferir na forma como recursos cognitivos são mobilizados durante tarefas numéricas.

Lyons e Beilock (2012) acrescentam uma dimensão particularmente relevante ao demonstrarem que, em indivíduos com elevada ansiedade matemática, a própria antecipação de uma tarefa matemática pode estar associada a respostas neurais relacionadas a experiências aversivas. Isso sugere que os efeitos da ansiedade podem começar antes mesmo da resolução efetiva do problema. A expectativa de enfrentar uma atividade matemática pode mobilizar preocupação e desconforto capazes de influenciar o comportamento subsequente.

Esses achados ajudam a compreender por que estudantes que possuem conhecimentos suficientes para resolver uma operação podem apresentar desempenho inferior em situações de pressão. O problema não reside necessariamente na ausência do conhecimento matemático, mas pode estar relacionado às condições cognitivas e emocionais sob as quais esse conhecimento precisa ser mobilizado.

Entretanto, a associação entre ansiedade matemática e atividade cerebral não autoriza afirmações deterministas. Não se pode concluir, por exemplo, que uma estratégia pedagógica específica “desative” automaticamente circuitos relacionados à ansiedade ou produza uma reorganização neural previsível. A neurociência permite compreender mecanismos associados ao fenômeno, mas a eficácia educacional de uma intervenção precisa ser demonstrada mediante evidências pedagógicas e comportamentais.

Essa cautela é particularmente importante para a proposta de multiplicação visuoespacial analisada neste estudo. A utilização de linhas e interseções pode tornar a atividade matematicamente diferente do algoritmo convencional e, para determinados

estudantes, oferecer uma experiência inicialmente mais exploratória e visual. Tal característica permite formular a hipótese de que a estratégia possa contribuir para modificar a percepção da tarefa e favorecer maior disposição para o envolvimento com a multiplicação.

Contudo, não seria cientificamente adequado afirmar previamente que o método reduz a ansiedade matemática apenas porque utiliza uma representação visual. Seu eventual benefício deve ser investigado por indicadores capazes de comparar as experiências dos estudantes antes e depois da intervenção. Instrumentos como a AMAS, desenvolvida por Hopko et al. (2003), podem oferecer suporte metodológico para essa finalidade quando adequadamente utilizados e contextualizados.

Outro aspecto importante refere-se à percepção de competência. Dweck (2006) demonstra que crenças relacionadas à capacidade de aprender influenciam a maneira como indivíduos interpretam desafios e dificuldades. No ensino da Matemática, estudantes que compreendem o erro como evidência definitiva de incapacidade podem apresentar maior vulnerabilidade diante de situações desafiadoras. Em contrapartida, ambientes nos quais diferentes estratégias são exploradas podem contribuir para uma concepção mais dinâmica da aprendizagem.

Nesse sentido, apresentar formas alternativas de resolução pode ter valor pedagógico para além do procedimento em si. Ao perceber que uma operação matemática pode ser representada e compreendida por diferentes caminhos, o estudante pode desenvolver maior flexibilidade diante do problema. Isso não significa que a diversificação metodológica elimine a ansiedade,

mas pode contribuir para reduzir a ideia de que existe apenas um percurso legítimo de raciocínio e que qualquer dificuldade nesse percurso representa incapacidade matemática.

A mediação docente assume, portanto, papel fundamental. A maneira como o professor apresenta erros, incentiva tentativas, organiza desafios e oferece feedback pode influenciar a experiência emocional associada à Matemática. Uma estratégia visuoespacial utilizada em ambiente excessivamente competitivo ou punitivo dificilmente produzirá os mesmos efeitos que sua utilização em uma situação orientada à exploração, comparação de estratégias e compreensão conceitual.

Para o presente estudo, a ansiedade matemática deve ser compreendida como variável complexa, resultante da interação entre fatores cognitivos, emocionais e educacionais. Richardson e Suinn (1972), Ashcraft (2002), Hopko et al. (2003), Young, Wu e Menon (2012), Lyons e Beilock (2012) e Beilock e Maloney (2015) oferecem sustentação para compreender que a ansiedade pode interferir na mobilização dos recursos necessários ao desempenho matemático e que seus efeitos podem manifestar-se tanto durante quanto na antecipação das tarefas.

A multiplicação visuoespacial insere-se nesse quadro como uma possibilidade de intervenção pedagógica a ser investigada, e não como solução previamente comprovada para a ansiedade matemática. Sua utilização pode modificar a forma de apresentação da tarefa, oferecer referências perceptivas adicionais e ampliar o repertório de estratégias disponíveis ao estudante. A existência de tais características justifica a investigação de seus possíveis efeitos sobre engajamento, percepção de dificuldade e desempenho.

Em síntese, a ansiedade matemática constitui fenômeno capaz de interferir na aprendizagem por meio da interação entre respostas emocionais e processos cognitivos necessários à resolução de problemas. Seu enfrentamento exige estratégias pedagógicas que considerem simultaneamente conhecimento matemático, experiência emocional e organização das atividades. Nesse contexto, investigar representações visuoespaciais significa analisar se diferentes formas de apresentar e explorar a multiplicação podem contribuir para uma relação mais funcional do estudante com a tarefa, sem atribuir ao método efeitos neurobiológicos que ultrapassem as evidências disponíveis.

2.5. Neuroplasticidade, Aprendizagem e Potenciação de Longo Prazo

A neuroplasticidade constitui uma propriedade fundamental do sistema nervoso e refere-se à capacidade de modificar sua organização funcional e, em determinadas condições, estruturalmente em resposta à experiência, à aprendizagem e ao treinamento. Essa característica permite compreender o cérebro não como uma estrutura estática, mas como um sistema dinâmico cujas redes podem apresentar alterações associadas às experiências vivenciadas pelo indivíduo. No campo educacional, esse conceito oferece uma base importante para compreender a aprendizagem como processo relacionado à modificação progressiva dos sistemas envolvidos na aquisição, consolidação e recuperação do conhecimento.

Kolb e Whishaw (1998) destacam que experiências ambientais e comportamentais podem estar associadas a alterações na organização cerebral. Essa capacidade adaptativa permanece

presente ao longo da vida, embora suas características e intensidade possam variar em função da idade, da natureza da experiência e de diferentes condições individuais. Dessa perspectiva, aprender Matemática envolve não somente adquirir informações, mas desenvolver e consolidar formas progressivamente mais organizadas de representar, recuperar e utilizar conhecimentos.

Pascual-Leone et al. (2005) reforçam essa concepção ao caracterizar o córtex humano como um sistema plástico capaz de reorganização funcional diante de experiências e treinamentos. A repetição de uma atividade, a aquisição de uma habilidade e a exposição sistemática a determinadas demandas podem produzir mudanças na maneira como redes neurais são recrutadas. No entanto, tais processos são complexos e distribuídos, não podendo ser atribuídos exclusivamente a uma única região cerebral ou a uma metodologia pedagógica específica.

Um dos mecanismos neurobiológicos frequentemente relacionados à aprendizagem e à memória é a potenciação de longo prazo, conhecida pela sigla LTP (long-term potentiation). Bliss e Collingridge (1993) descrevem a LTP como um aumento relativamente duradouro da eficácia da transmissão sináptica após determinados padrões de estimulação. Esse fenômeno tornou-se um importante modelo experimental para investigar os mecanismos celulares associados à memória e à plasticidade sináptica.

A relevância da LTP para a compreensão da aprendizagem reside na demonstração de que conexões entre neurônios podem apresentar modificações duradouras relacionadas à atividade. Isso fornece um dos fundamentos biológicos para compreender como experiências

podem produzir alterações persistentes nos sistemas neurais. Entretanto, a relação entre LTP observada experimentalmente e aprendizagens escolares complexas não deve ser interpretada de forma direta ou simplificada.

Aprender uma operação matemática, compreender um conceito ou desenvolver uma estratégia de resolução envolve níveis de organização muito superiores aos mecanismos celulares isolados. A aprendizagem escolar depende da interação entre percepção, atenção, memória, linguagem, emoção, conhecimentos prévios, contexto social e estratégias pedagógicas. A plasticidade sináptica constitui parte da base biológica desses processos, mas não corresponde, isoladamente, à aprendizagem matemática.

Essa distinção é especialmente importante para evitar interpretações reducionistas. Não seria cientificamente adequado afirmar que determinada metodologia de ensino “produz LTP” ou que uma estratégia específica aumenta diretamente a flexibilidade sináptica sem evidências neurofisiológicas capazes de demonstrar tal efeito. A potenciação de longo prazo é investigada principalmente em contextos experimentais específicos, e sua utilização no discurso educacional deve ocorrer como fundamento geral dos mecanismos de plasticidade relacionados à memória, não como medida direta da eficácia de uma intervenção pedagógica.

A relação entre experiência e reorganização cerebral também pode ser compreendida a partir dos estudos de Merzenich et al. (1984), que demonstraram reorganizações funcionais em representações corticais após alterações da experiência sensorial. Embora esses experimentos não tratem diretamente da aprendizagem matemática, contribuíram historicamente para demonstrar que a

organização funcional do córtex pode ser modificada em resposta às experiências.

No campo da aprendizagem aritmética, Delazer et al. (2005) oferecem evidências mais diretamente relacionadas ao objeto deste estudo. Ao investigarem a aprendizagem de operações aritméticas por neuroimagem funcional, os autores observaram modificações nos padrões de ativação associados ao treinamento. Tais resultados indicam que o desenvolvimento de competência aritmética pode estar acompanhado por mudanças na maneira como diferentes redes funcionais participam da resolução das tarefas.

Essa perspectiva é relevante porque permite compreender a prática matemática como processo de reorganização progressiva das estratégias cognitivas. Uma operação inicialmente resolvida mediante elevado controle consciente pode, após aprendizagem e treinamento, ser executada de forma mais eficiente. A experiência possibilita a construção e consolidação de esquemas, reduzindo a necessidade de reconstruir cada procedimento desde o início sempre que uma tarefa semelhante é apresentada.

Dehaene (2005), por meio da hipótese da reciclagem neuronal, também oferece contribuição importante para essa discussão. Habilidades culturalmente recentes, como leitura e aritmética formal, não dependem de sistemas cerebrais que tenham evoluído especificamente para essas atividades. A aprendizagem utiliza e reorganiza circuitos previamente disponíveis, adaptando-os às demandas das competências culturalmente construídas.

No ensino da Matemática, essa concepção reforça a importância das experiências pedagógicas sistemáticas. O estudante desenvolve

competências a partir da interação repetida e significativa com números, operações, problemas e diferentes formas de representação. A diversidade dessas experiências pode contribuir para a construção de repertórios cognitivos mais flexíveis, permitindo que um mesmo conceito seja compreendido e utilizado em diferentes situações.

Nesse contexto, a multiplicação visuoespacial pode ser interpretada como uma experiência representacional complementar. Ao apresentar relações multiplicativas por meio de linhas, agrupamentos e interseções, o método oferece ao estudante uma forma diferente de observar a estrutura da operação. A experiência pode favorecer a construção de associações entre representação espacial, quantidade, valor posicional e notação simbólica.

Entretanto, seu potencial não decorre simplesmente do fato de ser uma atividade visual. A aprendizagem dependerá da qualidade da mediação pedagógica e das relações conceituais estabelecidas durante a atividade. Se o estudante apenas reproduzir mecanicamente o desenho das linhas sem compreender seu significado matemático, a estratégia pode transformar-se em outro procedimento automatizado desprovido de compreensão conceitual.

A neuroplasticidade, portanto, não deve ser utilizada como argumento para justificar indiscriminadamente qualquer inovação pedagógica. O fato de o cérebro modificar-se com a experiência não significa que todas as experiências produzam aprendizagens igualmente relevantes. A questão educacional central consiste em identificar quais situações favorecem a construção de

conhecimentos significativos, transferíveis e progressivamente autônomos.

Diamond (2013), ao discutir as funções executivas, demonstra que flexibilidade cognitiva, memória de trabalho e controle inibitório desempenham papel importante na adaptação do comportamento e na resolução de problemas. No campo matemático, a possibilidade de comparar estratégias e alternar entre diferentes formas de representação pode favorecer uma postura mais flexível diante das tarefas, desde que o estudante compreenda as relações conceituais que conectam essas diferentes estratégias.

Essa ideia possui relação direta com a proposta deste estudo. A multiplicação visuoespacial não precisa competir com o algoritmo convencional. As duas formas de representação podem ser utilizadas comparativamente, permitindo que o estudante identifique correspondências entre produtos parciais, decomposição decimal e resultado final. O valor pedagógico encontra-se justamente na possibilidade de transitar entre registros distintos de um mesmo objeto matemático.

A prática também assume importância nesse processo. Para que uma estratégia inicialmente nova seja incorporada ao repertório do estudante, são necessárias oportunidades de aplicação, comparação, correção e reflexão. A aprendizagem não resulta simplesmente da exposição inicial ao recurso. Ela depende da consolidação progressiva das relações construídas e da possibilidade de utilizar o conhecimento em novas situações.

Essa compreensão permite estabelecer uma distinção importante entre **plasticidade neural** e **flexibilidade cognitiva**. Embora os

conceitos possam estar relacionados em sentido amplo, não são equivalentes. A plasticidade neural refere-se às propriedades adaptativas do sistema nervoso, enquanto a flexibilidade cognitiva diz respeito à capacidade de modificar perspectivas, estratégias ou respostas diante das demandas de uma situação. Portanto, o desenvolvimento de diferentes estratégias matemáticas pode ser discutido pedagogicamente em termos de flexibilidade cognitiva sem que seja necessário afirmar a ocorrência de alterações sinápticas específicas.

Para o presente estudo, essa distinção fortalece o argumento científico. A utilização da multiplicação por interseção de retas pode ser investigada quanto aos seus efeitos sobre compreensão, desempenho, engajamento e flexibilidade na escolha de estratégias. Esses indicadores podem ser observados e avaliados educacionalmente. Em contrapartida, afirmações sobre potenciação sináptica específica exigiriam métodos neurofisiológicos que não integram o delineamento desta investigação.

Dessa forma, os trabalhos de Bliss e Collingridge (1993), Kolb e Whishaw (1998), Pascual-Leone et al. (2005), Dehaene (2005), Delazer et al. (2005) e Diamond (2013) oferecem uma base consistente para compreender a aprendizagem como fenômeno sustentado pela capacidade adaptativa do sistema nervoso, sem reduzir processos educacionais complexos aos seus mecanismos biológicos.

Em síntese, neuroplasticidade e potenciação de longo prazo fornecem importantes fundamentos para compreender a possibilidade biológica da aprendizagem e da consolidação da memória. Entretanto, sua aplicação à Educação Matemática exige prudência epistemológica. Não se pode inferir diretamente que

determinada metodologia produza alterações sinápticas específicas apenas porque promove uma experiência de aprendizagem.

No contexto da multiplicação visuoespacial, o conceito de neuroplasticidade sustenta a compreensão mais geral de que experiências sistemáticas podem participar da reorganização funcional associada à aprendizagem. O método gráfico pode ampliar as experiências representacionais do estudante e favorecer a construção de relações entre quantidade, espaço e simbolização. Seu valor científico e pedagógico, porém, deve ser demonstrado por indicadores educacionais compatíveis com o delineamento da pesquisa, preservando a distinção entre evidências de aprendizagem e inferências sobre mecanismos neurobiológicos.

2.6. Representações Visuoespaciais no Ensino da Matemática

A aprendizagem matemática envolve a capacidade de compreender objetos e relações que frequentemente apresentam elevado nível de abstração. Números, operações, funções e propriedades matemáticas não são acessados diretamente como objetos concretos, mas por meio de diferentes formas de representação. Símbolos, diagramas, gráficos, figuras geométricas, expressões algébricas e materiais manipuláveis funcionam como instrumentos por meio dos quais conceitos matemáticos podem ser interpretados, comunicados e progressivamente formalizados.

Nesse contexto, as representações visuoespaciais assumem relevância por permitirem que determinadas relações matemáticas sejam organizadas de maneira perceptível. A disposição espacial de quantidades, agrupamentos, posições e transformações pode oferecer ao estudante referências complementares à linguagem

exclusivamente simbólica. Entretanto, o valor pedagógico dessas representações não reside simplesmente em seu caráter visual, mas na possibilidade de estabelecer relações significativas entre aquilo que é observado e a estrutura matemática que se pretende compreender.

Duval (2006) destaca que a atividade matemática depende da utilização de diferentes registros de representação semiótica. Para o autor, a compreensão não se reduz ao domínio de uma única representação; envolve também a capacidade de reconhecer um mesmo objeto matemático em diferentes registros e realizar conversões entre eles. Um número, por exemplo, pode ser representado por um algarismo, uma expressão, uma quantidade de objetos, uma posição em uma reta ou uma configuração gráfica.

Essa perspectiva possui especial importância para o ensino da Matemática porque evidencia que aprender não significa apenas dominar procedimentos operatórios. O estudante precisa estabelecer relações entre diferentes formas de representar um conceito. A dificuldade pode surgir quando o aluno executa corretamente determinado procedimento, mas não consegue reconhecer a mesma estrutura matemática quando ela aparece representada de outra maneira.

Goldin (2002) também enfatiza a importância dos sistemas de representação na aprendizagem matemática, compreendendo-os como componentes fundamentais dos processos de construção e comunicação do conhecimento. Representações externas — como símbolos, diagramas e modelos — interagem com representações internas desenvolvidas pelo aprendiz. Dessa forma, recursos visuais podem favorecer a aprendizagem quando auxiliam o estudante a

construir relações entre estruturas matemáticas e formas externas de expressá-las.

Arcavi (2003), ao discutir o papel da visualização na Educação Matemática, ressalta que o pensamento visual pode contribuir para a compreensão, exploração e resolução de problemas. A visualização não deve ser considerada mero complemento estético da atividade matemática, mas uma possível forma de raciocínio. Diagramas e configurações espaciais podem auxiliar na identificação de padrões, relações e propriedades que nem sempre são imediatamente evidentes na representação simbólica.

Essa abordagem não estabelece oposição entre visualização e simbolização. Ao contrário, uma aprendizagem matemática mais flexível pressupõe a possibilidade de transitar entre diferentes registros. Uma representação visual pode auxiliar na compreensão inicial de determinada relação, enquanto uma expressão simbólica pode posteriormente permitir maior generalização, precisão e eficiência operacional.

No ensino das operações aritméticas, essa complementaridade adquire particular relevância. Algoritmos convencionais constituem instrumentos extremamente eficientes, mas sua execução mecânica não garante que o estudante compreenda as relações matemáticas que justificam cada procedimento. Na multiplicação, por exemplo, o domínio operacional envolve compreender não apenas fatos multiplicativos, mas também decomposição numérica, propriedade distributiva, produtos parciais e valor posicional.

Representações visuoespaciais podem tornar algumas dessas relações mais explícitas. Agrupamentos, diagramas de área,

materiais estruturados e outras configurações permitem representar visualmente a decomposição dos fatores e a formação dos produtos. A operação deixa, temporariamente, de aparecer apenas como uma sequência de símbolos e passa a ser explorada por meio de relações espacialmente organizadas.

Presmeg (2006) destaca que a visualização matemática envolve processos complexos de construção e interpretação de imagens e representações. Sua utilização educacional exige, portanto, mediação adequada. Um diagrama não contém automaticamente seu significado matemático. O estudante precisa aprender a identificar quais elementos da representação são relevantes e como eles correspondem aos conceitos envolvidos.

Essa observação é particularmente importante para evitar a suposição de que estudantes aprendem melhor simplesmente porque determinado conteúdo foi transformado em imagem. A representação visual somente contribui para a aprendizagem quando sua estrutura mantém correspondência clara com o conhecimento matemático e quando o estudante consegue interpretar essa correspondência.

Mayer (2009), embora situado no campo mais amplo da aprendizagem multimídia, oferece contribuição convergente ao demonstrar que recursos visuais podem favorecer a compreensão quando organizados de maneira coerente e integrados às informações relevantes. Elementos desnecessários ou excessivamente complexos podem produzir efeito contrário. Assim, simplicidade, organização e pertinência conceitual são condições importantes para a utilização pedagógica de representações visuais.

No caso da multiplicação visuoespacial, essas considerações assumem importância especial. O método de interseção de retas converte os algarismos dos fatores em agrupamentos de linhas e representa determinados produtos parciais por meio dos pontos de interseção. Dessa maneira, relações que no algoritmo convencional aparecem de forma simbólica podem ser temporariamente externalizadas em uma configuração espacial.

A principal contribuição didática dessa representação pode estar na possibilidade de estabelecer conexões entre agrupamento, multiplicação e valor posicional. Em operações com poucos algarismos, as diferentes regiões de interseção podem ser relacionadas às unidades, dezenas e centenas, possibilitando discutir a estrutura decimal do resultado. A representação visual deixa, assim, de constituir apenas uma técnica alternativa de cálculo e pode transformar-se em instrumento para explorar conceitos matemáticos.

Essa interpretação é fundamental para o presente estudo. Se a multiplicação por interseção de retas for apresentada apenas como uma sequência de procedimentos — desenhar linhas, contar pontos e registrar o resultado — corre-se o risco de substituir um algoritmo mecânico por outro. Seu potencial pedagógico depende de explicitar por que os agrupamentos representam os fatores, por que as interseções correspondem aos produtos e como sua organização se relaciona ao sistema de numeração decimal.

A comparação com o algoritmo convencional pode ampliar esse potencial. Ao colocar lado a lado as duas formas de resolução, o professor pode demonstrar que ambas expressam relações multiplicativas equivalentes por meio de registros diferentes. Os

produtos parciais observados graficamente podem ser relacionados aos produtos parciais registrados simbolicamente, favorecendo a compreensão de que diferentes procedimentos podem representar uma mesma estrutura matemática.

Essa abordagem também contribui para o desenvolvimento da flexibilidade de estratégias. O estudante deixa de compreender a Matemática como conjunto de procedimentos rígidos e passa a reconhecer que um problema pode admitir diferentes formas de representação e resolução. Essa flexibilidade é relevante não apenas para a execução de cálculos, mas para o desenvolvimento do raciocínio matemático e da capacidade de selecionar procedimentos adequados a diferentes situações.

Entretanto, as limitações do método precisam permanecer explícitas. Em operações com muitos algarismos ou dígitos elevados, a quantidade de linhas e interseções cresce significativamente, reduzindo a clareza visual e a eficiência operacional. Nesses casos, o algoritmo convencional apresenta evidente vantagem de economia representacional. Essa limitação reforça a compreensão do método gráfico como recurso didático de mediação, e não como substituto universal dos procedimentos tradicionais.

A utilização pedagógica de múltiplas representações deve, portanto, obedecer a uma lógica progressiva. Inicialmente, representações mais explícitas podem auxiliar na construção do significado; posteriormente, o estudante pode avançar para formas simbólicas mais condensadas. O objetivo não é manter permanentemente a dependência de recursos visuais, mas utilizá-los para favorecer a compreensão necessária à abstração.

Essa concepção estabelece uma conexão importante com as discussões desenvolvidas nas seções anteriores. As representações visuoespaciais podem relacionar-se ao processamento de magnitude e às relações entre número e espaço, ao mesmo tempo em que externalizam determinadas informações que seriam manipuladas mentalmente. Entretanto, seu valor pedagógico precisa ser analisado prioritariamente em termos de compreensão matemática, adequação didática e aprendizagem observável, evitando inferências neurobiológicas que não possam ser demonstradas pelo delineamento da pesquisa.

A articulação entre Duval (2006), Goldin (2002), Arcavi (2003), Presmeg (2006) e Mayer (2009) oferece, assim, uma fundamentação consistente para compreender a visualização como componente relevante da Educação Matemática. Em conjunto, esses referenciais sustentam que diferentes formas de representação podem ampliar as possibilidades de construção do significado quando o estudante aprende a estabelecer conexões entre elas.

No presente estudo, essa perspectiva permite compreender a multiplicação visuoespacial como um registro complementar para explorar relações multiplicativas. Seu potencial não está simplesmente no caráter visual ou na aparência diferenciada do procedimento, mas na possibilidade de tornar perceptíveis estruturas matemáticas que posteriormente podem ser relacionadas à linguagem simbólica formal.

Em síntese, as representações visuoespaciais podem desempenhar função mediadora entre percepção, compreensão conceitual e abstração matemática. Quando utilizadas de maneira intencional e articuladas a outros registros, podem favorecer a construção de

relações, a comparação de estratégias e a compreensão das estruturas subjacentes aos algoritmos. É nesse sentido que a multiplicação por interseção de retas deve ser analisada: não como substituição definitiva do cálculo convencional, mas como recurso didático cuja contribuição depende da capacidade de promover conexões entre visualização, significado matemático e formalização simbólica.

2.7. Multiplicação por Interseção de Retas Como Recurso Didático

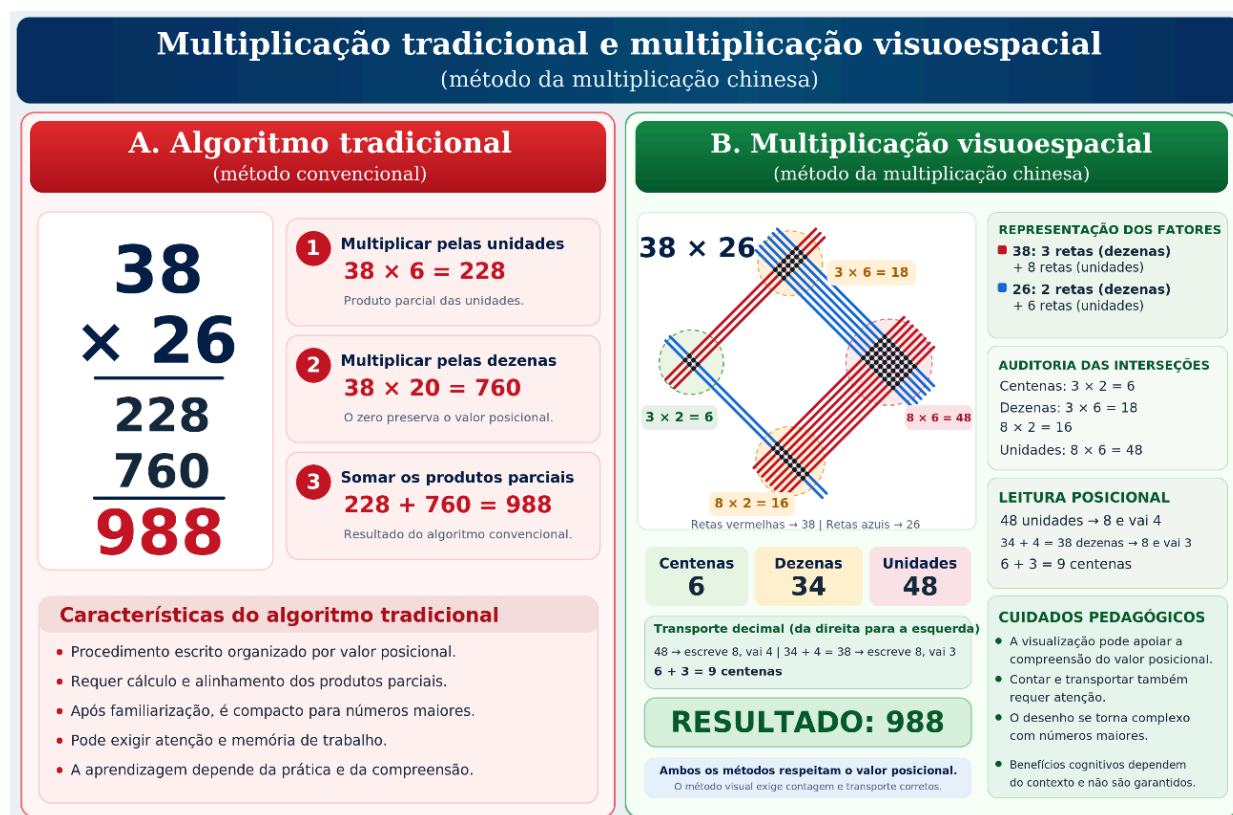
A multiplicação por interseção de retas constitui uma forma gráfica de representar relações multiplicativas por meio da disposição espacial de conjuntos de linhas correspondentes aos algarismos dos fatores. Os pontos produzidos pelo cruzamento desses conjuntos representam produtos parciais que, posteriormente, são organizados segundo o valor posicional para obtenção do resultado. Embora apresente uma configuração visual distinta do algoritmo convencional, o método fundamenta-se em propriedades matemáticas conhecidas, particularmente na decomposição dos números e na propriedade distributiva da multiplicação.

Essa característica é fundamental para compreender seu potencial educacional. A estratégia não deve ser apresentada simplesmente como uma técnica alternativa ou curiosidade recreativa, mas como uma representação capaz de tornar perceptíveis determinadas relações que no algoritmo convencional aparecem condensadas em procedimentos simbólicos. Seu valor didático depende, portanto, da capacidade de estabelecer conexões entre aquilo que é visualizado e os princípios matemáticos subjacentes à operação.

Considere-se, por exemplo, uma multiplicação entre dois números de dois algarismos. Algebricamente, os fatores podem ser representados na forma $(10a+b)$ e $(10c+d)$. Pela propriedade distributiva: $[(10a+b)(10c+d)=100ac+10ad+10bc+bd.]$

Essa decomposição evidencia quatro produtos fundamentais: (ac) , (ad) , (bc) e (bd) . Na representação por interseção de retas, esses produtos podem ser espacialmente identificados em diferentes regiões do desenho. Assim, a configuração gráfica não constitui uma operação matematicamente independente, mas outra maneira de representar relações já presentes na decomposição algébrica da multiplicação.

Figura 4. Multiplicação visuoespacial / método utilizado



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Figura 5. Multiplicação por intersecção de retas: exemplo da operação 23×14

Exemplo auditado • $23 \times 14 = 322$

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Duval (2006) oferece importante fundamento para essa interpretação ao defender que a compreensão matemática depende da capacidade de trabalhar com diferentes registros de representação. O estudante precisa não apenas utilizar uma representação, mas reconhecer correspondências entre diferentes formas de expressar o mesmo objeto matemático. Aplicado à multiplicação, isso significa compreender que expressão simbólica, algoritmo convencional, decomposição algébrica e representação gráfica podem expressar relações equivalentes.

A conversão entre registros assume, portanto, papel central. O estudante pode inicialmente observar a configuração formada pelas interseções, identificar os produtos parciais e, posteriormente, relacioná-los aos procedimentos do algoritmo convencional. Essa comparação contribui para que a estratégia visual não permaneça isolada do conhecimento matemático formal.

Arcavi (2003) ressalta que a visualização pode constituir instrumento relevante de raciocínio matemático quando permite explorar relações, formular interpretações e construir significados. Sob essa perspectiva, a multiplicação gráfica pode ser pedagogicamente produtiva quando o desenho não funciona apenas como ilustração, mas como suporte para compreender a estrutura da operação.

Essa abordagem exige mediação docente. Desenhar linhas e contar interseções, por si só, não garante compreensão conceitual. Caso o estudante apenas memorize a sequência de construção do desenho, existe o risco de substituir um procedimento mecânico por outro. O professor precisa explicitar as correspondências entre número de linhas, fatores, interseções, produtos parciais, agrupamentos e valor posicional.

Goldin (2002) reforça essa perspectiva ao destacar a importância dos sistemas de representação na construção do conhecimento matemático. Representações externas podem auxiliar o desenvolvimento de estruturas internas de compreensão, desde que o aprendiz estabeleça relações significativas entre ambas. Assim, o método gráfico adquire maior relevância quando utilizado como meio para compreender relações multiplicativas e não simplesmente como estratégia para chegar ao resultado correto.

No contexto do presente estudo, essa característica aparece de maneira particularmente evidente nos exemplos desenvolvidos com diferentes níveis de complexidade. Operações menores possibilitam visualizar de forma relativamente clara a relação entre agrupamentos de linhas, pontos de interseção e resultado. À medida que aumenta a quantidade de algarismos, entretanto, também cresce a complexidade da representação.

Essa progressão permite identificar simultaneamente potencialidades e limitações do método. Em situações introdutórias, a representação pode favorecer a exploração de decomposição numérica, propriedade distributiva e produtos parciais. Em operações extensas, a grande quantidade de linhas e interseções pode comprometer a legibilidade, aumentar a possibilidade de erros de contagem e tornar o procedimento menos eficiente do que os algoritmos convencionais.

A limitação de escalabilidade, portanto, não deve ser omitida. Ao contrário, constitui elemento importante para definir adequadamente a função pedagógica da estratégia. O próprio artigo reconhece que, à medida que aumentam os fatores, cresce consideravelmente a densidade visual da malha de interseções, tornando o procedimento menos funcional para cálculos extensos.

Sob essa perspectiva, a multiplicação por interseção de retas deve ser compreendida prioritariamente como **recurso didático de mediação**, e não como algoritmo destinado a substituir universalmente os procedimentos convencionais. Sua principal contribuição pode ocorrer durante a construção inicial de determinados conceitos ou na comparação entre diferentes formas de representação da multiplicação.

Presmeg (2006) destaca que a visualização matemática envolve processos de interpretação e construção de significado. A imagem ou o diagrama somente se torna matematicamente relevante quando o estudante compreende as relações representadas. Dessa maneira, a eficácia de uma estratégia visuoespacial depende da capacidade de estabelecer pontes entre aquilo que é percebido visualmente e aquilo que é formalizado matematicamente.

Essa interpretação permite situar o método em uma sequência didática progressiva. Inicialmente, o professor pode apresentar multiplicações simples e solicitar que os estudantes representem os fatores por agrupamentos de linhas. Em seguida, podem ser analisadas as regiões de interseção e sua correspondência com os produtos parciais. Posteriormente, a mesma operação pode ser resolvida pelo algoritmo convencional e pela decomposição distributiva, permitindo comparar os três registros.

A comparação entre procedimentos é pedagogicamente relevante porque desloca o foco da simples obtenção da resposta para a compreensão das relações existentes entre diferentes estratégias. O estudante pode perceber que o resultado permanece invariável, embora a forma de representar e organizar o raciocínio seja diferente. Essa constatação contribui para desenvolver uma concepção menos rígida da atividade matemática.

A estratégia também pode favorecer discussões sobre o sistema decimal. Em operações com dois algarismos, a organização das regiões de interseção permite relacionar diferentes produtos às ordens numéricas. O professor pode explorar explicitamente por que determinados agrupamentos correspondem às unidades, dezenas

ou centenas, relacionando o procedimento gráfico ao princípio do valor posicional.

Entretanto, essa associação precisa ser ensinada e discutida. Não se deve presumir que o estudante descobrirá espontaneamente o significado matemático das regiões do desenho. A representação constitui uma oportunidade de aprendizagem, mas a construção conceitual depende da intervenção pedagógica, da formulação de perguntas e da comparação entre procedimentos.

Mayer (2009) contribui para essa discussão ao demonstrar que representações visuais precisam ser organizadas de modo a direcionar a atenção para informações relevantes. Aplicado ao método gráfico, isso implica evitar desenhos excessivamente carregados nas etapas iniciais, utilizar separações espaciais claras e explicitar a correspondência entre cada elemento visual e seu significado matemático.

A progressão da complexidade assume, portanto, papel importante. Operações simples podem ser utilizadas inicialmente para que o estudante compreenda a lógica da representação. Somente depois dessa compreensão é recomendável introduzir fatores maiores. Mesmo assim, o aumento da dificuldade deve servir também para que os estudantes reconheçam criticamente os limites do método.

Essa análise comparativa possui valor formativo. Ao constatar que a estratégia gráfica pode ser elucidativa em determinadas situações e pouco eficiente em outras, o estudante desenvolve a compreensão de que métodos matemáticos devem ser avaliados em função da natureza do problema. A competência matemática envolve não

apenas saber executar procedimentos, mas também selecionar estratégias adequadas.

A multiplicação visuoespacial pode, desse modo, contribuir para a flexibilidade de pensamento quando integrada a um repertório mais amplo de estratégias. O estudante não precisa abandonar o algoritmo convencional; ao contrário, pode compreender melhor sua eficiência depois de compará-lo com formas mais explícitas de representação. A passagem de um registro detalhado para outro mais condensado pode contribuir para compreender por que os algoritmos tradicionais possuem determinada organização.

Nesse sentido, a estratégia gráfica pode desempenhar uma função transitória. Inicialmente, torna visíveis relações que posteriormente podem ser internalizadas e representadas de maneira mais econômica. Essa característica está de acordo com uma concepção de ensino em que recursos concretos e visuais funcionam como instrumentos para a construção da abstração, e não como finalidade permanente do processo educativo.

No presente estudo, essa interpretação é especialmente importante porque impede que a multiplicação por interseção de retas seja apresentada como técnica universal ou neurologicamente superior. Seu valor deve ser investigado em dimensões educacionalmente observáveis, como compreensão dos produtos parciais, reconhecimento do valor posicional, desempenho, percepção de dificuldade, engajamento e capacidade de transitar entre diferentes representações.

Além disso, a comparação com outros recursos visuoespaciais, como ábaco e blocos multibase, evidencia que cada instrumento

apresenta vantagens e limitações próprias. O artigo já reconhece que a multiplicação por interseção possui baixa eficiência operacional em cálculos extensos, ao mesmo tempo em que pode apresentar valor como ferramenta de compreensão visual. Essa análise crítica fortalece a proposta ao evitar uma defesa indiscriminada do método.

Assim, a contribuição pedagógica da multiplicação visuoespacial encontra-se menos na substituição do algoritmo tradicional e mais na ampliação das possibilidades de representação da operação. O método pode ser utilizado para explorar conceitos, estabelecer comparações, promover discussões sobre estratégias e tornar explícitas relações matemáticas que posteriormente serão expressas de maneira mais abstrata.

Em síntese, a multiplicação por interseção de retas pode ser compreendida como recurso didático de natureza visuoespacial fundamentado em princípios matemáticos como decomposição, valor posicional e propriedade distributiva. Duval (2006), Goldin (2002), Arcavi (2003) e Presmeg (2006) oferecem suporte teórico para compreender seu potencial a partir da utilização de múltiplas representações e da visualização matemática.

Seu emprego pedagógico, contudo, deve ocorrer de forma criteriosa, progressiva e articulada ao algoritmo convencional. O objetivo não é substituir uma forma de cálculo por outra, mas favorecer a compreensão das relações que estruturam a multiplicação e ampliar a capacidade do estudante de transitar entre diferentes registros. Dessa forma, a multiplicação visuoespacial pode assumir uma função legítima na Educação Matemática como instrumento de mediação entre percepção, representação e abstração.

2.8. Síntese do Modelo Teórico Proposto

A fundamentação desenvolvida nas seções anteriores permite compreender a multiplicação visuoespacial a partir de uma perspectiva interdisciplinar que articula cognição numérica, processamento visuoespacial, memória de trabalho, carga cognitiva, ansiedade matemática, neuroplasticidade e múltiplas representações. Esses elementos não devem ser interpretados isoladamente, mas como dimensões complementares de um modelo explicativo destinado a compreender as possíveis contribuições e limitações pedagógicas da multiplicação por interseção de retas.

O primeiro eixo do modelo refere-se ao **processamento numérico e à representação de magnitude**. Conforme discutido a partir de Dehaene (1992, 1997, 2005), a cognição matemática envolve relações entre representações simbólicas e quantitativas. Os números não são processados apenas como sinais gráficos, mas relacionados a magnitudes, comparações e estruturas quantitativas. Essa perspectiva permite compreender por que diferentes formas de representar uma operação podem produzir experiências cognitivas distintas.

O segundo eixo envolve a **dimensão visuoespacial da cognição matemática**. As evidências relacionadas ao córtex parietal e, particularmente, ao sulco intraparietal indicam participação dessas regiões em tarefas relacionadas ao processamento de magnitude. Entretanto, como ressaltado anteriormente, isso não significa que uma estratégia visual possa ser associada exclusivamente a determinada região cerebral. O processamento matemático

depende de redes distribuídas e da integração entre percepção, atenção, memória, linguagem e controle executivo.

A contribuição dessa perspectiva para o presente estudo encontra-se principalmente na compreensão de que quantidade e espaço podem estabelecer relações cognitivamente relevantes. A multiplicação por interseção de retas explora justamente essa possibilidade ao converter temporariamente determinadas relações simbólicas em configurações espacialmente observáveis.

O terceiro eixo corresponde à **memória de trabalho e à carga cognitiva**. A partir de Baddeley (1992) e Sweller (1988), compreende-se que o processamento consciente de informações apresenta limitações e que tarefas compostas por numerosas etapas podem exigir elevada coordenação cognitiva. O algoritmo convencional da multiplicação pode demandar recuperação de fatos aritméticos, acompanhamento do valor posicional, manutenção de resultados intermediários e execução de reagrupamentos.

Nesse contexto, representações externas podem funcionar como instrumentos de organização das informações. A multiplicação visuoespacial torna perceptíveis determinados produtos parciais e relações posicionais, modificando a forma como parte da informação é apresentada ao estudante. Entretanto, conforme discutido anteriormente, essa vantagem potencial diminui quando a representação gráfica se torna excessivamente complexa.

Portanto, a relação entre representação visual e carga cognitiva não é linear. Uma representação pode funcionar como apoio em determinada situação e tornar-se fonte adicional de demanda em outra. Essa compreensão explica por que o método de interseção de

retas apresenta potencial didático sobretudo em operações de complexidade controlada e perde eficiência à medida que cresce o número de linhas e interseções.

O quarto eixo refere-se à **ansiedade matemática**. Richardson e Suinn (1972), Ashcraft (2002), Hopko et al. (2003) e Beilock e Maloney (2015) demonstram que respostas emocionais negativas podem interferir no desempenho matemático. Pensamentos de preocupação podem competir pelos recursos necessários à resolução das tarefas, especialmente quando estas já apresentam elevada exigência cognitiva.

A partir desse referencial, o presente estudo considera a possibilidade de que formas alternativas de representação possam modificar a experiência do estudante diante da multiplicação. Contudo, não se pressupõe que a representação visuoespacial produza automaticamente redução da ansiedade. Essa relação constitui uma hipótese educacional a ser investigada por meio de indicadores compatíveis com o delineamento metodológico.

O quinto eixo envolve **neuroplasticidade e aprendizagem**. Bliss e Collingridge (1993), Kolb e Whishaw (1998) e Pascual-Leone et al. (2005) oferecem fundamentos para compreender o sistema nervoso como estrutura dinâmica e adaptativa. A aprendizagem está associada à experiência e à reorganização progressiva dos sistemas envolvidos na aquisição e consolidação de habilidades.

Entretanto, o modelo teórico aqui proposto estabelece uma distinção necessária entre plasticidade neural e resultados pedagógicos diretamente observáveis. A presente investigação não utiliza técnicas capazes de medir modificações sinápticas ou

alterações neurofuncionais produzidas pela intervenção. Consequentemente, conceitos como neuroplasticidade e potenciação de longo prazo constituem fundamentos teóricos gerais sobre os mecanismos biológicos da aprendizagem, e não variáveis diretamente mensuradas neste estudo.

Essa distinção fortalece o rigor epistemológico da investigação. O desempenho dos estudantes, sua percepção da tarefa, a compreensão dos produtos parciais, a capacidade de transitar entre representações e eventuais alterações nos indicadores de ansiedade constituem fenômenos passíveis de avaliação educacional. Mudanças neurobiológicas específicas, por outro lado, não podem ser inferidas diretamente a partir desses resultados.

O sexto eixo corresponde às **múltiplas representações no ensino da Matemática**. Duval (2006), Goldin (2002), Arcavi (2003) e Presmeg (2006) permitem compreender que diferentes registros podem desempenhar papel importante na construção do significado matemático. A aprendizagem envolve não somente utilizar representações, mas estabelecer relações e realizar conversões entre elas.

É precisamente nesse ponto que a multiplicação por interseção de retas encontra sua principal justificativa didática. O método pode ser compreendido como uma representação complementar da multiplicação capaz de tornar perceptíveis produtos parciais, decomposição numérica e relações de valor posicional. Sua contribuição não depende de substituir o algoritmo convencional, mas de estabelecer uma ponte entre visualização e formalização simbólica.

A lógica matemática subjacente ao procedimento pode ser expressa pela propriedade distributiva. Para dois números de dois algarismos, representados genericamente por $(10a+b)$ e $(10c+d)$, tem-se: $[100ac+10ad+10bc+bd.]$

A representação por interseção de retas torna espacialmente observáveis justamente esses produtos parciais. Dessa forma, aquilo que aparece visualmente no desenho mantém correspondência com uma estrutura algébrica formal, permitindo utilizar o recurso gráfico para discutir conceitos matemáticos e não apenas procedimentos.

A **Figura 5** apresentada na seção anterior materializa essa relação ao demonstrar graficamente a multiplicação (23×14) . Os agrupamentos de linhas representam os algarismos dos fatores, enquanto as regiões de interseção correspondem aos produtos parciais. O reagrupamento final permite relacionar a representação gráfica ao sistema decimal e ao resultado (322).

A integração desses seis eixos permite propor o seguinte percurso teórico:

representação numérica → organização visuoespacial → externalização de relações matemáticas → reorganização das demandas cognitivas → compreensão dos produtos parciais e do valor posicional → comparação entre estratégias → progressiva abstração matemática.

Nesse percurso, a representação visuoespacial atua como elemento mediador. Ela não constitui o objetivo final da aprendizagem, mas uma possível etapa entre a percepção de relações quantitativas e sua representação simbólica mais abstrata.

A dimensão emocional também se integra ao modelo. Caso uma representação alternativa torne determinadas relações mais compreensíveis para alguns estudantes, pode ocorrer alteração na percepção subjetiva de dificuldade e na disposição para enfrentar a tarefa. Essa possibilidade justifica investigar conjuntamente indicadores cognitivos e emocionais, sem pressupor previamente uma relação causal.

Desse modo, o modelo teórico proposto pode ser sintetizado em três níveis inter-relacionados. O **nível neurocognitivo** compreende processamento numérico, relações entre magnitude e espaço, memória de trabalho e plasticidade. O **nível cognitivo-emocional** envolve carga cognitiva, ansiedade matemática, percepção de dificuldade e flexibilidade de estratégias. O **nível didático-matemático** envolve representação visuoespacial, produtos parciais, valor posicional, propriedade distributiva e transição para a abstração simbólica.

Esses níveis não estabelecem uma sequência causal rígida. Constituem dimensões analíticas utilizadas para compreender o fenômeno investigado. A utilização da multiplicação por interseção de retas pode produzir efeitos diferentes em função dos conhecimentos prévios, da complexidade da operação, da mediação docente e das características individuais dos estudantes.

Consequentemente, a hipótese central derivada dessa fundamentação não consiste em afirmar superioridade absoluta da multiplicação visuoespacial. Propõe-se, de maneira mais criteriosa, que **a utilização pedagogicamente mediada de representações visuoespaciais da multiplicação pode favorecer, em determinadas condições, a compreensão das relações**

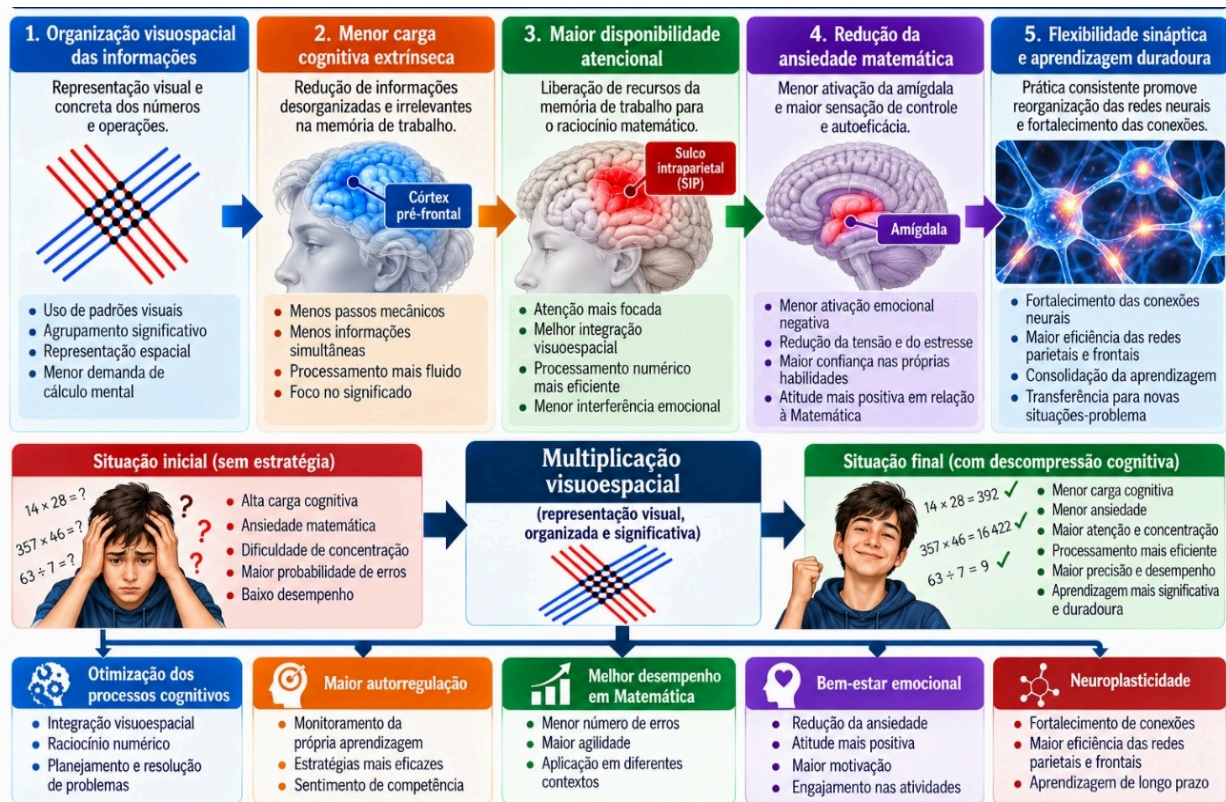
multiplicativas e do valor posicional, reorganizar as demandas cognitivas da tarefa e contribuir para experiências de aprendizagem percebidas como mais acessíveis por determinados estudantes.

Tal hipótese preserva a possibilidade de efeitos positivos sem antecipar resultados que somente a investigação empírica pode demonstrar. Também reconhece que o método possui limitações de escalabilidade e que sua contribuição tende a ser maior como ferramenta de mediação conceitual do que como procedimento operacional para cálculos extensos.

Em síntese, o modelo teórico proposto articula conhecimentos da neurociência cognitiva, psicologia cognitiva e Educação Matemática para compreender a multiplicação visuoespacial como recurso representacional. A neurociência fornece elementos para compreender os fundamentos gerais do processamento numérico e da aprendizagem; a psicologia cognitiva contribui para analisar memória, carga cognitiva e ansiedade; e a Educação Matemática fornece os fundamentos para compreender visualização, múltiplas representações e construção do significado.

Essa integração estabelece a base conceitual necessária para a etapa metodológica da investigação. A partir dela, torna-se possível definir variáveis, instrumentos e procedimentos capazes de examinar empiricamente em que condições a multiplicação visuoespacial pode contribuir para a aprendizagem, quais estudantes podem beneficiar-se de sua utilização e quais limites precisam ser considerados em sua aplicação pedagógica.

Figura 6. Modelo teórico da Descompressão Cognitiva na aprendizagem matemática



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

3. DELINEAMENTO METODOLÓGICO: PESQUISA DE DESIGN EDUCACIONAL E PROPOSIÇÃO INSTRUCIONAL

3.1. Natureza do Estudo e Abordagem Metodológica

Para investigar o impacto da transição de métodos algorítmicos tradicionais para abordagens visuoespaciais ancoradas na neurociência, o presente estudo adota o delineamento de uma **Pesquisa de Design Educacional** (*Educational Design Research - EDR*), caracterizando-se como um ensaio teórico-propositivo. A EDR é uma abordagem metodológica rigorosa que visa conceber, desenvolver e iterar intervenções pedagógicas (soluções) para problemas educacionais complexos, fundamentando-se fortemente em construtos teóricos antes de sua testagem empírica em larga escala (Creswell & Creswell, 2017).

Neste contexto, o fenômeno da ansiedade matemática e da sobrecarga da memória de trabalho exige uma transposição didática precisa. O estudo propõe uma arquitetura instrucional inovadora — o mapeamento visuoespacial e o GPS Algorítmico da Multiplicação Chinesa — articulando métricas da psicologia cognitiva com análises qualitativas de engajamento em sala de aula (Teddlie & Tashakkori, 2009).

3.2. Cenário de Aplicação Projetado e Protocolo de Avaliação

A intervenção metodológica proposta foi estruturada para futura implementação em turmas de anos finais do Ensino Fundamental e do Ensino Médio de redes públicas de educação, ciclos nos quais a abstração algébrica costuma cristalizar o bloqueio cognitivo. Para a fase empírica subsequente a esta proposição teórica, o protocolo de mensuração estabelece uma triangulação de dados utilizando os seguintes instrumentos validados:

- **Escalas Psicométricas de Ansiedade Matemática:** Aplicação da Escala Abreviada de Ansiedade Matemática (AMAS) para mensurar a ativação autonômica e o estresse autorrelatado antes e após a intervenção (Richardson & Suinn, 1972; Hopko et al., 2003).
- **Testes de Carga Cognitiva Restrita:** Baterias de tarefas de amplitude de memória operacional para avaliar a eficiência na alocação da memória de trabalho verbal vis-à-vis a visuoespacial (Sweller, Van Merriënboer & Paas, 1998).
- **Análise Longitudinal de Desempenho:** Cruzamento de métricas de aproveitamento obtidas por meio de plataformas digitais de gestão escolar, avaliando a capacidade de

transferência dos conceitos geométricos para matrizes abstratas (Slavin, 2008).

3.3. Protocolo de Intervenção Instrucional (Fases de Implementação)

O design educacional proposto organiza a transição cognitiva em três fases sequenciais e interdependentes:

1. Fase Diagnóstica e de Acolhimento Socioemocional:

Mapeamento do índice basal de ansiedade (AMAS) e estabelecimento de segurança psicológica, desconstruindo a cultura punitiva do erro matemático.

2. Fase de Descompressão Visuoespacial: Introdução do método gráfico de multiplicação por traços. O discente realiza o mapeamento tátil-visual dos fatores, transferindo a carga da alça fonológica (tabuada decorada) para o processamento geométrico no sulco intraparietal.

3. Fase de Consolidação e Abstração (GPS Algorítmico):

Retorno assistido à representação simbólica convencional por meio do "GPS Algorítmico". Avalia-se a flexibilidade cognitiva alcançada, ancorada nas conexões sinápticas previamente estabelecidas pela geometria (Zosh et al., 2018).

4. APLICAÇÃO DO DESIGN INSTRUCIONAL: ESTUDO DE CASO PROJETIVO E HEURÍSTICO

Para ilustrar a exequibilidade operacional e a eficácia teórica da intervenção proposta, apresenta-se um estudo de caso projetivo (cenário heurístico representativo). Este modelo simula condições

reais frequentemente observadas nas redes estaduais e municipais de ensino, servindo como protótipo analítico para a visualização da transposição didática.

4.1. Perfil Fenomenológico do Discente Projetado (Sujeito a)

O cenário modela o "Sujeito A" (12 anos, transição para os anos finais do Ensino Fundamental), cujo perfil reflete escores crônicos na Escala AMAS (acima de 42 pontos – alta ansiedade matemática). O histórico do discente projetado inclui bloqueio executivo, evasão cognitiva em avaliações aritméticas e hiperativação simpática (sudorese) diante de demandas mnemônicas de tabuada. No diagnóstico basal, o perfil demonstra falha na retenção das etapas do algoritmo tradicional com reagrupamento (a regra do "vai um"), acarretando paralisia operacional.

4.2. Desenvolvimento da Intervenção Gráfica (Modelagem da Operação 24 X 13)

No cenário de intervenção, o processamento de 24×13 é retirado do eixo puramente abstrato e reorientado para o eixo espacial por meio da técnica gráfica de interseções:

1. Mapeamento do Multiplicando (24): O sujeito traça 2 retas paralelas e, com distanciamento espacial, mais 4 retas paralelas orientadas diagonalmente.
2. Mapeamento do Multiplicador (13): Traçam-se 1 reta perpendicular e, isoladamente, 3 retas perpendiculares cruzando o primeiro conjunto.

3. Compartimentalização Visuoespacial: O plano é segmentado em três zonas operacionais: unidades (interseções inferiores direitas), dezenas (soma das diagonais centrais) e centenas (interseções superiores esquerdas).
4. Resolução Tátil e Reagrupamento: O discente realiza a contagem visual das interseções. Na zona das unidades ($4 \times 3 = 12$), registra-se 2 e transpõe-se 1 dezena (fisicamente visualizada) para a zona central. Na zona central ($6 + 4 = 10$, mais a dezena transposta = 11), registra-se o 1 e transpõe-se 1 centena. Na zona de centenas ($2 \times 1 = 2$, mais a centena transposta = 3). O produto final palpável é 312. *(O fluxo imagético correspondente a este processo pode ser visualizado na Figura 7).*

Figura 7. Multiplicação chinesa por interseção de retas: 24×13

Transformando números em linhas, multiplicando ideias.

1 Represente os números em linhas

Desenhe as linhas paralelas de cada algarismo, mantendo o espaçamento entre as ordens.

Número 24

2 linhas (dezenas) 4 linhas (unidades)

Número 13

1 linha (dezenas) 3 linhas (unidades)

2 Trace as linhas cruzadas

Desenhe as linhas do 24 (inclinações para a direita) e do 13 (inclinações para a esquerda), formando uma malha de interseções.

2 linhas (dezenas de 24)
4 linhas (unidades de 24)
1 linha (dezenas de 13)
3 linhas (unidades de 13)

3 Conte as interseções por grupos

Conte os pontos de interseção em cada um dos três grupos diagonais, da esquerda para a direita.

2 (2 × 1) 10 (2 × 3 + 4 × 1) 12 (4 × 3)

Centenas Dezenas Unidades

4 Gerencie o transporte

Comece pelas unidades e faça os transportes para as ordens superiores.

Unidades: 12
Escreve 2 e transporta 1 dezena para a ordem das dezenas.

Dezenas: 10 + 1 = 11
Escreve 1 e transporta 1 centena para a ordem das centenas.

Centenas: 2 + 1 = 3
Escreve 3.
Não há mais transporte.

O transporte segue a mesma lógica do algoritmo tradicional, mas aqui ele é feito sobre os grupos de interseções.

5 Resultado

Lendo os grupos da esquerda para a direita, após os transportes, obtemos:

24 × 13 = 312

A multiplicação 24 × 13 = 312 é obtida de forma visual, intuitiva e estruturada.

"A visualização torna o abstrato concreto."
Regivaldo Cláudio de Freitas

O que este exemplo mostra?

- ✓ Integração entre visualização e cálculo.
- ✓ Compreensão do valor posicional.
- ✓ Estímulo ao raciocínio lógico-espacial.
- ✓ Potencial contribuição para a redução da ansiedade matemática.

Aplicações

- ✓ Ensino fundamental e médio.
- ✓ Introdução ao conceito de multiplicação.
- ✓ Exploração de padrões e regularidades.
- ✓ Recurso inclusivo e lúdico.
- ✓ Pode ser estendido para números maiores.

Dica para a prática

- ✓ Utilize diferentes cores para cada algarismo.
- ✓ Mantenha o espaçamento entre as linhas.
- ✓ Conte os pontos de interseção por grupos.
- ✓ Trabalhe primeiro com números de um e dois dígitos.
- ✓ Em seguida, explore números maiores.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.3. Resultados Teóricos Esperados e Descompressão Cognitiva

No modelo representativo proposto, a transição do cálculo predominantemente simbólico para a manipulação visuoespacial pode favorecer a reorganização das demandas cognitivas envolvidas na aprendizagem matemática, especialmente ao tornar perceptíveis os agrupamentos, os produtos parciais e os reagrupamentos decimais. Fundamentada na Teoria da Carga Cognitiva, essa perspectiva permite formular a hipótese de que a utilização pedagogicamente orientada da multiplicação chinesa, articulada ao GPS Algorítmico, possa reduzir determinadas exigências extrínsecas impostas à memória de trabalho e contribuir para experiências de aprendizagem percebidas como menos ameaçadoras. Consequentemente, admite-se a possibilidade de redução dos indicadores de ansiedade matemática, a ser investigada por meio de instrumentos psicométricos, como a Escala Abreviada de Ansiedade

Matemática (AMAS), sem pressupor alterações neurobiológicas previamente comprovadas.

Sob a perspectiva neuroeducacional, a representação visuoespacial das operações pode constituir um recurso de mediação entre a compreensão concreta das relações multiplicativas e sua posterior formalização simbólica. Nesse processo, o mecanismo do "vai um" deixa de ser apresentado exclusivamente como uma regra operatória, passando a ser relacionado à organização dos agrupamentos e ao valor posicional. Estudos sobre cognição numérica, aprendizagem e plasticidade cerebral oferecem fundamentos teóricos para investigar essas possibilidades (Cohen Kadosh et al., 2010; Hauser et al., 2013; Artemenko et al., 2022). Entretanto, os possíveis efeitos da intervenção sobre a atividade cerebral, a regulação do estresse, a plasticidade sináptica e a ansiedade matemática permanecem como hipóteses que exigem validação empírica específica.

5. DEMONSTRAÇÃO PRÁTICA E EXEMPLOS PASSO A PASSO DA MULTIPLICAÇÃO VISUOESPACIAL

Para evidenciar a transição didática do conceito, detalham-se abaixo exemplos progressivos da multiplicação gráfica por interseção, cobrindo desde operações simples de único dígito até cenários complexos de múltiplos dígitos.

5.1. Casos Simples de Dígito Único e Dois Dígitos (9 X 8 e 54 X 2)

Exemplo 1: 9×8

- **Processo Visual e Geométrico:** Traçam-se 9 linhas diagonais paralelas orientadas em um sentido e, cruzando-as, 8 linhas

diagonais paralelas no sentido oposto.

- **Resolução:** O plano de interseções forma um único bloco retangular uniforme. A contagem sistemática de todos os pontos cruzados resulta em **72 pontos**, demonstrando visualmente o produto sem apelo mnemônico verbal.

Figura 8. Multiplicação chinesa por interseção de retas: 9×8

LINHAS
IDEIAS
CONEXÕES
RESULTADOS

Multiplicação Chinesa (por Interseção de Retas)

Exemplo: 9×8

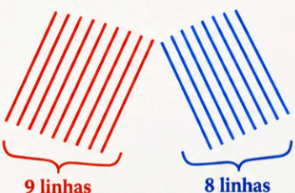
"Ver a Matemática de um novo ângulo transforma o pensamento."
Regivaldo Cláudio de Freitas

Uma forma visual, intuitiva e poderosa de multiplicar.

Mais que calcular, desenvolver o pensamento.

1 Represente os números com linhas paralelas

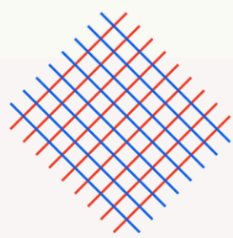
Desenhe 9 linhas paralelas em uma direção (por exemplo, inclinadas para a direita) e 8 linhas paralelas na outra direção (inclinadas para a esquerda).



9 linhas 8 linhas

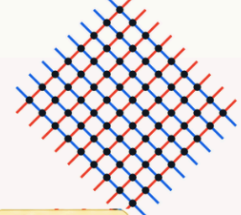
2 Trace as linhas

As linhas devem se cruzar, formando um padrão de pontos de interseção.



3 Conte os pontos de interseção

Como estamos trabalhando com números de um dígito, todos os pontos de interseção pertencem a um único grupo.



72 pontos de interseção

4 Resultado

O número total de pontos de interseção é o produto dos dois números.

$9 \times 8 = 72$

No método chinês, cada ponto de interseção representa uma unidade. Ao contar todos os pontos, obtemos o resultado da multiplicação.

Visão Geral

- ✓ Representação geométrica e visual.
- ✓ Estimula o raciocínio lógico-espacial.
- ✓ Favorece a compreensão do conceito de multiplicação.
- ✓ Reduz a ansiedade matemática.

"Quando a Matemática se torna visível, ela se torna compreensível."

Regivaldo Claudio de Freitas

Aplicações

- ✓ Introdução ao conceito de multiplicação.
- ✓ Exploração de padrões e regularidades.
- ✓ Desenvolvimento do pensamento visual-espacial.
- ✓ Pode ser estendido para números com mais de um dígito.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Exemplo 2: 54×2

- **Processo Visual e Geométrico:** O fator 54 é representado por dois grupos de linhas paralelas (5 linhas para as dezenas e 4 para as unidades). O multiplicador 2 cruza ambos os grupos com 2 linhas transversais.
- **Resolução:** Na zona das unidades (4×2), obtêm-se **8** pontos. Na zona das dezenas (5×2), obtêm-se **10** pontos (1 centena e 0 dezenas). O resultado consolidado é **108**.

Figura 9. Multiplicação chinesa por interseção de retas: 54×2

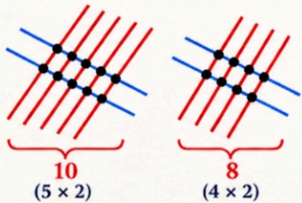
IDEIAS
VISUAIS
CONEXÕES
RESULTADOS

Multiplicação Chinesa (por Interseção de Retas)

Exemplo: 54×2

*"Uma imagem vale
mais que mil algoritmos."*
 Regivaldo Cláudio de Freitas

Transformando números em linhas, multiplicando ideias. Mais que calcular, desenvolver o pensamento.

1 Represente os números Desenhe 5 linhas paralelas para o algarismo 5 (dezenas) e 4 linhas paralelas para o algarismo 4 (unidades), inclinadas em uma direção.  Número 54 (5 dezenas e 4 unidades)	2 Desenhe o segundo fator Desenhe 2 linhas paralelas para o número 2, inclinadas na direção oposta.  Número 2 (2 unidades)	3 Conte as interseções por grupos Conte os pontos de interseção em cada grupo, da esquerda para a direita.  10 (5×2) Dezenas 8 (4×2) Unidades.	4 Resultado Leia os grupos da esquerda para a direita, obtendo o número formado pelos pontos de interseção. $54 \times 2 = 108$ Cada ponto de interseção representa uma unidade. A leitura dos grupos (dezenas e unidades) fornece o resultado final.
--	--	---	---

Por que funciona?

- ✓ Converte a operação algébrica em uma representação visual e concreta.
- ✓ Facilita a compreensão do valor posicional.
- ✓ Estimula o raciocínio lógico-espacial.
- ✓ Reduz a ansiedade matemática.

Generalização

O mesmo procedimento pode ser aplicado para qualquer multiplicação de um ou mais dígitos, respeitando o valor posicional dos algarismos.

"Ver a Matemática de um novo ângulo transforma o aprendizado."

Regivaldo Cláudio de Freitas

Dicas para a prática

- ✓ Utilize espaço regular entre as linhas.
- ✓ Empregue cores diferentes para cada número.
- ✓ Conte os pontos de interseção por grupo.
- ✓ Comece com números de um e dois dígitos.
- ✓ Explore variações e desafie seus alunos a descobrirem padrões.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

5.2. Operação de Média Complexidade com Dois Dígitos (46 X 78)

- **Processo Visual e Geométrico:** Representam-se os fatores 46 (4 e 6 linhas paralelas) e 78 (7 e 8 linhas perpendiculares). O plano divide-se em três zonas principais (unidades, dezenas e centenas).

- **Resolução Passo a Passo:**

1. Unidades (Canto Inferior Direito): $6 \times 8 = 48$ pontos. Escreve-se o dígito **8** e reservam-se 4 dezenas para a ordem superior.
2. Dezenas (Zona Central): Soma dos cruzamentos cruzados $(4 \times 8) + (6 \times 7) = 32 + 42 = 74$. Somando a reserva de 4, obtêm-se 78 dezenas. Escreve-se o dígito **8** e reservam-se 7 para as centenas.

3. Centenas (Canto Superior Esquerdo): $4 \times 7 = 28$. Somando a reserva de 7, obtêm-se 35 centenas.

- **Produto Final Consolidado: 3.588.**

Figura 10. Multiplicação chinesa por interseção de retas: 46×78



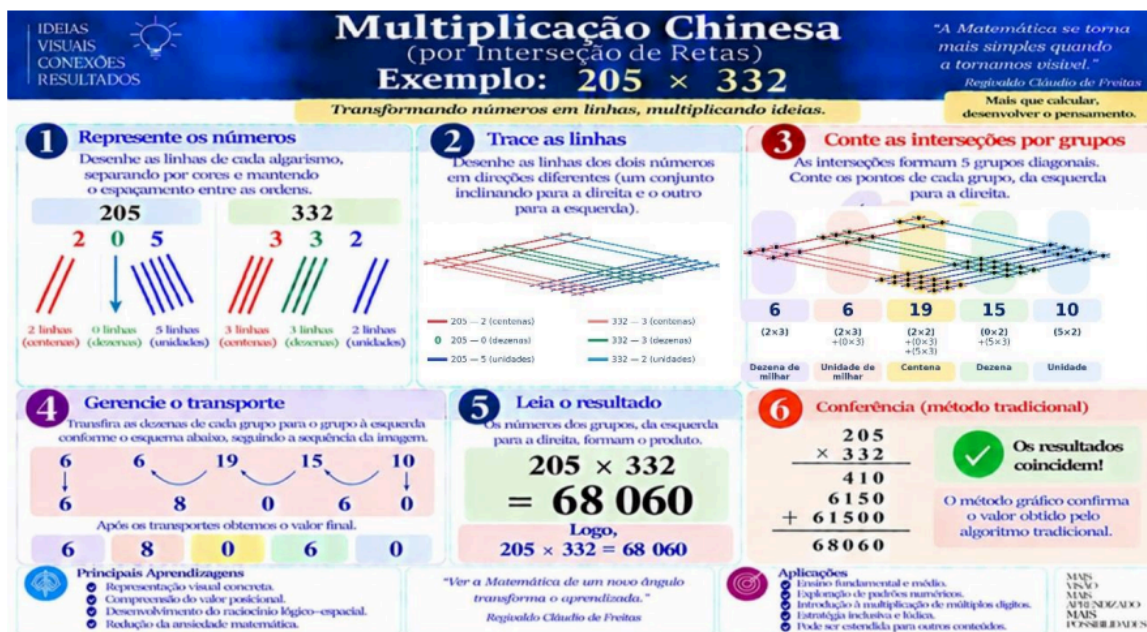
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

5.3. Casos de Alta Complexidade e Análise de Escalabilidade (9832×3465 , 205×332 e 56789×54386)

- **Para 205×332 :** A presença do algarismo zero (0) exige o traçado e linhas de referência vazias que não geram pontos de interseção ativos, servindo estritamente para manter o espaçamento posicional das colunas.
- **Para 9832×3465 e 56789×54386 :** A execução gráfica torna-se logisticamente inviável na prática escolar diária usando-se o **método operacional** aplicado nas últimas seções. Nesse

contexto operacional, multiplicar números de cinco dígitos exigiria o traçado simultâneo de centenas de retas ortogonais extremamente próximas, resultando em uma malha densa com dezenas de milhares de microinterseções, E, desse modo, a contagem manual sob essas condições torna-se altamente propensa a erros visuais de fadiga, atestando que a multiplicação gráfica cumpre o papel de **ponte heurística de transição cognitiva** e não de substituta permanente dos algoritmos eficientes de compactação algébrica.

Figura 11. Multiplicação chinesa por interseção de retas: 205×332



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 12. Multiplicação chinesa por interseção de retas: 9832×3465



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 13. Multiplicação chinesa por interseção de retas: 56789×54386



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

6. UTILIZANDO O GPS ALGORÍTMICO DA MULTIPLICAÇÃO CHINESA

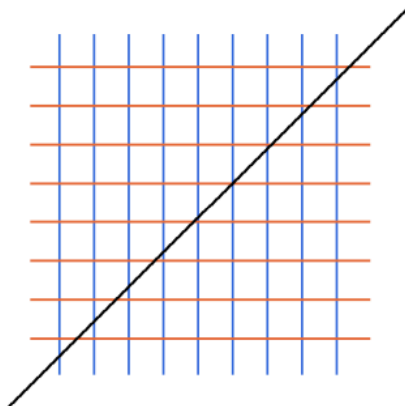
Como resposta à limitação de escalabilidade identificada de que *“quanto mais dígitos tivermos, fica altamente inviável realizar as multiplicações usando o método da multiplicação chinesa”*, criou-se um sistema denominado **GPS Algorítmico da Multiplicação Chinesa** que visa localizar as intersecções usando-se linhas oblíquas. Somam-se os valores das intersecções das regiões cortadas pelas linhas oblíquas, cria-se o **esquema cognitivo** e, daí, conclui-se a multiplicação.

Esse algoritmo surgiu ao perceber-se, de forma empírica, que ao realizar as multiplicações, havia um comportamento padrão ao localizar as intersecções.

Vamos realizar as mesmas multiplicações da seção anterior utilizando o **GPS Algorítmico da Multiplicação Chinesa**.

Figura 14. Aplicação do GPS Algorítmico da Multiplicação Chinesa:
Caso 1 (9×8)

CASO 1: 9×8



GPS: 1

O que significa?

A linha oblíqua localiza uma única região de interseções a ser considerada.

Leitura da região

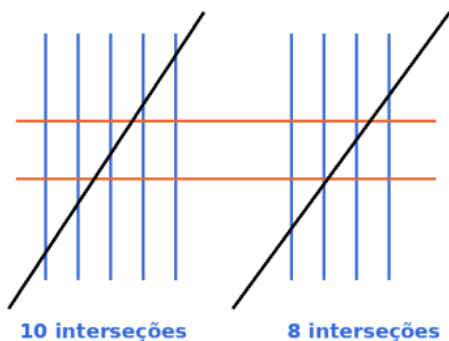
Há 9 linhas em um sentido e 8 no outro. A região contém $9 \times 8 = 72$ interseções, correspondentes a 72 unidades.

Resultado: $9 \times 8 = 72$

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 15. Aplicação do GPS Algorítmico da Multiplicação Chinesa:
Caso 2 (54×2)

CASO 2: 54×2



GPS: 11

O que significa?

As linhas oblíquas identificam duas regiões: a região das dezenas e a região das unidades.

Leitura das regiões

Primeira região: $5 \times 2 = 10$ interseções. Segunda região: $4 \times 2 = 8$ interseções. Assim, obtêm-se 10 dezenas e 8 unidades.

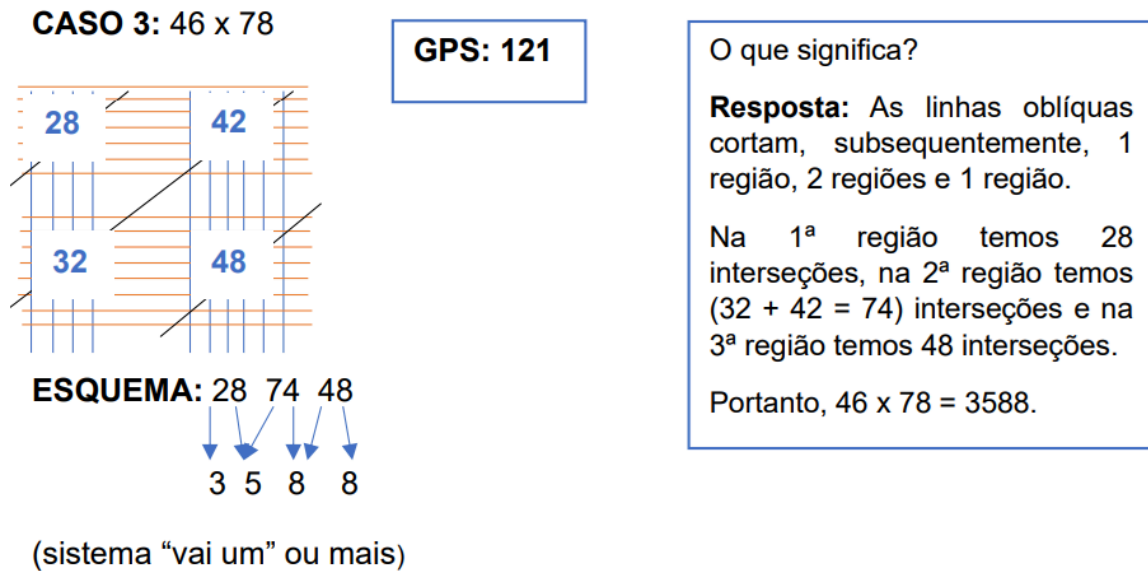
Resultado: $54 \times 2 = 108$

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

ESQUEMA: 10 8

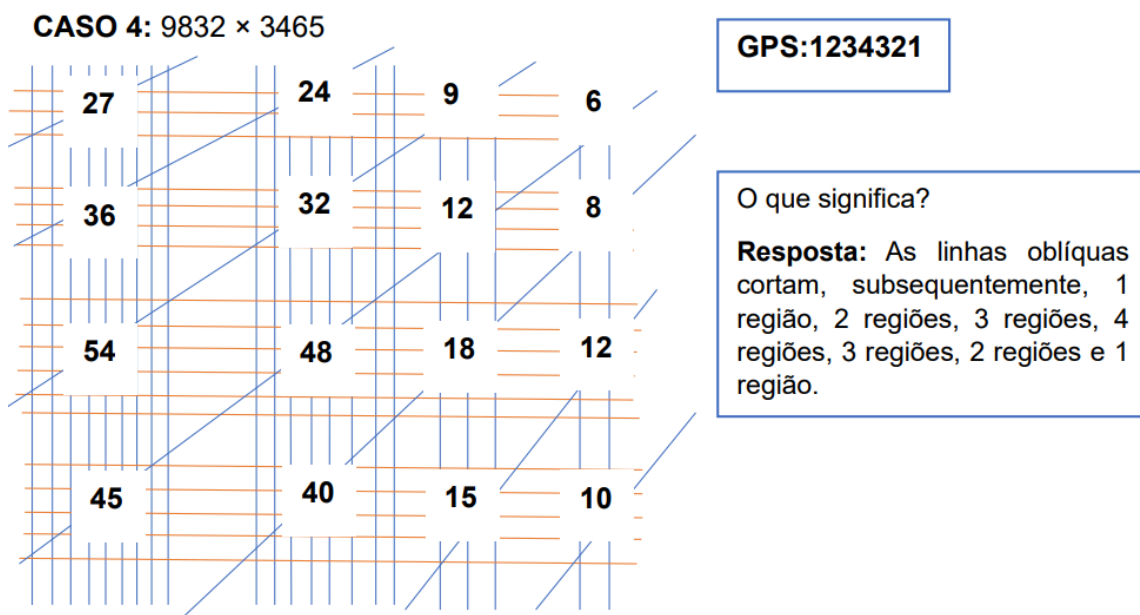
Foi necessário reagrupar 10 dezenas em 1 centena.

Figura 16. Aplicação do GPS Algorítmico da Multiplicação Chinesa:
Caso 3 (46×78)



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 17. Aplicação do GPS Algorítmico da Multiplicação Chinesa:
Caso 4 (9832×3465)



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Na 1ª região temos 27 interseções;

Na 2ª região temos $36 + 24 = 60$ interseções;

Na 3ª região temos $54 + 32 + 9 = 95$ interseções;

Na 4ª região $45 + 48 + 12 + 6 = 111$ interseções;

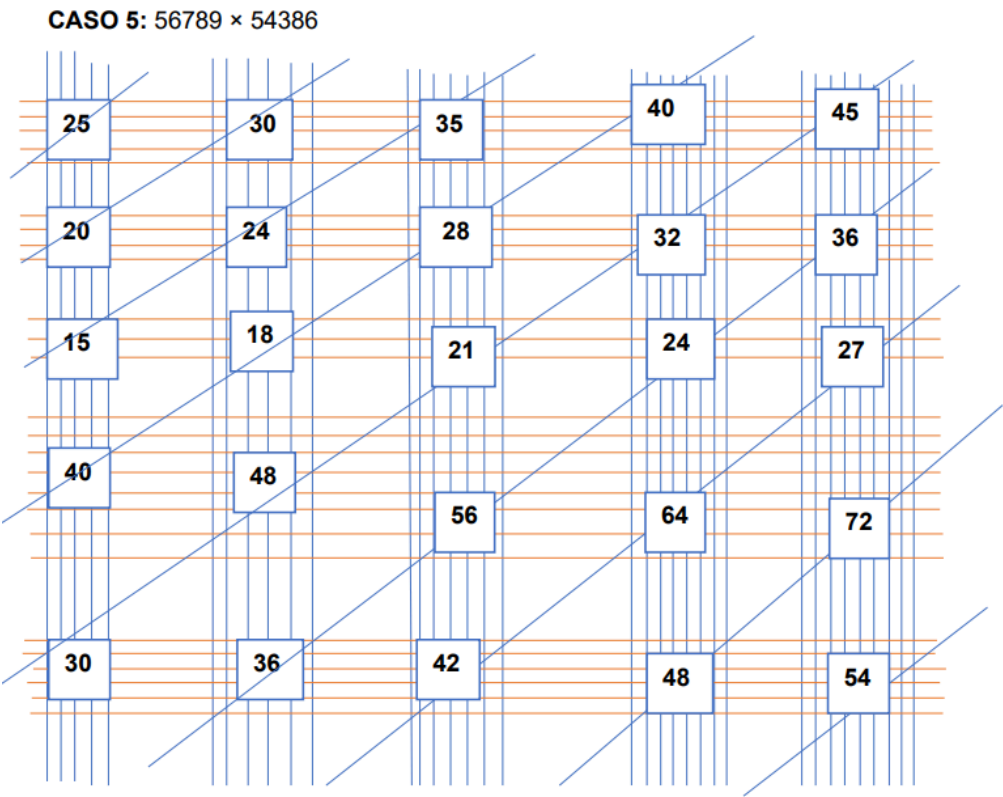
Na 5ª região temos $40 + 18 + 8 = 66$ interseções;

Na 6ª região temos $15 + 12 = 27$ interseções;

Na 7ª região temos 10 interseções.

ESQUEMA: 27 60 95 111 66 27 10
3 4 0 6 7 8 8 0 (sistema “vai um”)

Figura 18. Aplicação do GPS Algorítmico da Multiplicação Chinesa:
Caso 5 (56789×54386)



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

GPS: 123454321

O que significa?

Resposta: As linhas oblíquas cortam, subsequentemente, 1 região, 2 regiões, 3 regiões, 4 regiões, 5 regiões, 4 regiões, 3 regiões, 2 regiões e 1 região.

Na 1ª região temos 25 interseções;

Na 2ª região temos $20 + 30 = 50$ interseções;

Na 3ª região temos $15 + 24 + 35 = 74$ interseções;

Na 4ª região temos $40 + 18 + 28 + 40 = 126$ interseções;

Na 5ª região temos $30 + 48 + 21 + 32 + 45 = 176$ interseções;

Na 6ª região temos $36 + 56 + 24 + 36$ temos 152 interseções;

Na 7ª região temos $42 + 64 + 27$ temos 133 interseções;

Na 8ª região temos $48 + 72$ temos 120 interseções;

Na 9ª região temos 54 interseções.

ESQUEMA:



6.1. Sistematização dos Reagrupamentos Decimais no GPS Algorítmico da Multiplicação Chinesa

A interpretação dos esquemas numéricos produzidos pelo GPS Algorítmico exige a compreensão do princípio de reagrupamento decimal, conhecido tradicionalmente como mecanismo do vai um. Entretanto, diferentemente das operações elementares, nas multiplicações envolvendo números com vários algarismos, o

transporte entre ordens pode apresentar valores superiores à unidade.

No GPS Algorítmico, as linhas oblíquas orientam a identificação e a soma dos produtos parciais situados nas diagonais da representação. O código GPS informa a quantidade de regiões consideradas em cada agrupamento, enquanto o esquema numérico registra os respectivos somatórios.

É fundamental distinguir dois movimentos complementares: a identificação das regiões, organizada conforme o percurso das diagonais, e o reagrupamento decimal, realizado da direita para a esquerda, respeitando-se o valor posicional de cada agrupamento.

Para cada região, adiciona-se ao seu somatório o transporte proveniente da ordem imediatamente inferior. Registra-se o algarismo das unidades do total obtido e transporta-se sua parte inteira dividida por dez para a região seguinte. Na última região à esquerda, registra-se integralmente o valor resultante.

Exemplo 1 — Aplicação em 9832×3465

O GPS Algorítmico apresenta o código 1234321, que indica a distribuição sucessiva das regiões nas diagonais da representação.

O esquema numérico correspondente é:

27 | 60 | 95 | 111 | 66 | 27 | 10

Efetuando os reagrupamentos da direita para a esquerda:

1. Primeira região processada: $10 \rightarrow$ registra-se 0 e transporta-se 1.
2. Segunda região: $27 + 1 = 28 \rightarrow$ registra-se 8 e transporta-se 2.
3. Terceira região: $66 + 2 = 68 \rightarrow$ registra-se 8 e transporta-se 6.
4. Quarta região: $111 + 6 = 117 \rightarrow$ registra-se 7 e transporta-se 11.
5. Quinta região: $95 + 11 = 106 \rightarrow$ registra-se 6 e transporta-se 10.
6. Sexta região: $60 + 10 = 70 \rightarrow$ registra-se 0 e transporta-se 7.
7. Sétima região: $27 + 7 = 34 \rightarrow$ registra-se integralmente 34, por se tratar da última região à esquerda.

A leitura dos registros, da esquerda para a direita, produz:

34 | 0 | 6 | 7 | 8 | 8 | 0

Portanto:

$9832 \times 3465 = 34.067.880$

Exemplo 2 — Aplicação em 56789×54386

Para essa multiplicação, o código GPS é 123454321, correspondente à sequência de nove agrupamentos diagonais.

O esquema numérico obtido é:

25 | 50 | 74 | 126 | 176 | 152 | 133 | 120 | 54

A aplicação do reagrupamento decimal ocorre da seguinte maneira:

$54 \rightarrow$ registra-se 4 e transporta-se 5.

$120 + 5 = 125 \rightarrow$ registra-se 5 e transporta-se 12.

$133 + 12 = 145 \rightarrow$ registra-se 5 e transporta-se 14.

$152 + 14 = 166 \rightarrow$ registra-se 6 e transporta-se 16.

$176 + 16 = 192 \rightarrow$ registra-se 2 e transporta-se 19.

$126 + 19 = 145 \rightarrow$ registra-se 5 e transporta-se 14.

$74 + 14 = 88 \rightarrow$ registra-se 8 e transporta-se 8.

$50 + 8 = 58 \rightarrow$ registra-se 8 e transporta-se 5.

$25 + 5 = 30 \rightarrow$ registra-se integralmente 30, concluindo o processamento.

A leitura dos registros, da esquerda para a direita, fornece:

30 | 8 | 8 | 5 | 2 | 6 | 5 | 5 | 4

Portanto:

$56789 \times 54386 = 3.088.526.554$

Os exemplos evidenciam que o GPS Algorítmico não modifica os princípios matemáticos fundamentais da multiplicação, mas propõe uma organização alternativa dos produtos parciais e dos reagrupamentos decimais.

Sob a perspectiva didático-cognitiva, a explicitação das etapas pode diminuir a necessidade de o estudante localizar, selecionar e organizar simultaneamente numerosas informações. O recurso, portanto, pode funcionar como um mecanismo externo de orientação do raciocínio, favorecendo a compreensão do valor posicional e a construção progressiva de esquemas operatórios.

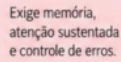
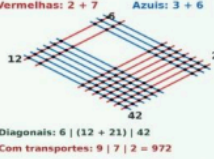
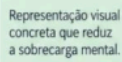
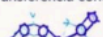
Essa contribuição constitui uma hipótese instrucional coerente com a Teoria da Carga Cognitiva, cuja eficácia sobre a aprendizagem, o esforço mental e a ansiedade matemática deverá ser examinada em investigações empíricas posteriores.

Sob a perspectiva lógico-matemática e neuroeducacional, o GPS Algorítmico da Multiplicação Chinesa constitui uma arquitetura instrucional que preserva os princípios do sistema de numeração decimal, organizando sequencialmente a identificação dos produtos parciais, os somatórios diagonais e os reagrupamentos posicionais. Essa sistematização favorece a compreensão das relações multiplicativas e pode contribuir para o gerenciamento das demandas impostas à memória de trabalho. Fundamentado nas contribuições de Baddeley (1992), Sweller (1988) e Ashcraft (2002), propõe-se que a organização visuoespacial e a previsibilidade das etapas possam reduzir componentes da carga cognitiva extrínseca e, potencialmente, minimizar a insegurança e a ansiedade matemática. Entretanto, tais benefícios constituem hipóteses teórico-metodológicas que necessitam de validação empírica específica.

7. LIMITAÇÕES OPERACIONAIS DO MÉTODO GRÁFICO E ANÁLISE CRÍTICA COMPARATIVA

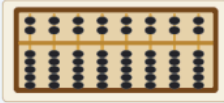
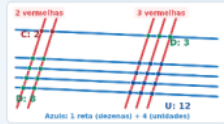
7.1. Matrizes Comparativas Estruturadas (Quadros Explicativos)

Quadro 1. Comparativo Estrutural entre Abordagens de Multiplicação: Algoritmo Tradicional vs Multiplicação Gráfica Visuoespacial

Eixo Analítico / Parâmetro	Algoritmo Tradicional (Linear Mnemônico)	Método Gráfico de Interseção (Multiplicação Chinesa)
 Via Cognitiva Primária	Alça fonológica e memória de trabalho verbal (hemisfério esquerdo).  Processamento verbal e sequencial	Alça visuoespacial e processamento analógico no sulco intraparietal (IPS).  Processamento visuoespacial e analógico
 Carga Cognitiva Extrínseca	Elevada: Requer recuperação serial de tabuadas, alinhamento estrito de colunas e gerenciamento constante de reservas ("vai um"). Exemplo: $\begin{array}{r} 27 \\ \times 36 \\ \hline 162 \\ 81 \\ \hline 972 \end{array}$  Exige memória, atenção sustentada e controle de erros.	Baixa a Moderada: Transforma a operação algébrica abstrata em contagem tátil e visual de pontos discretos de interseção. Exemplo: 27×36 Vermelhas: 2×7 Azuis: 3×6  Diagonais: $6 \mid (12 + 21) \mid 42$ Com transportes: $9 \mid 7 \mid 2 = 972$  Representação visual concreta que reduz a sobrecarga mental.
 Impacto Emocional / Afetivo	Frequente gatilho para ansiedade matemática, pavor e bloqueio executivo sob pressão temporal.  Pode gerar frustração, baixa autoestima e aversão à Matemática.	Promove decompressão cognitiva, segurança psicológica e engajamento lúdico-estrutural.  Torna a aprendizagem mais prazerosa, intuitiva e significativa.
 Flexibilidade Neural	Vias hiperconalizadas e rígidas: baixa facilidade de transferência conceitual espontânea.  Tendência à automatização pouco flexível.	Estimula a neuroplasticidade estrutural e a flexibilidade cognitiva pela integração frontoparietal.  Favorece novas conexões neurais e múltiplas estratégias de resolução.
 Escalabilidade Operacional	Alta eficiência e compactação computacional para números com múltiplos dígitos e decimais.  Altamente escalável e amplamente utilizado em contextos formais e computacionais.	Limitada para números de grande porte devido à complexidade do traçado e contagem manual de retas.  Mais adequado para números de pequeno e médio porte.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Quadro 2. Análise Comparativa de Suportes Visuoespaciais Auxiliares na Educação Matemática

FERRAMENTA / METODOLOGIA	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	POTENCIAL PEDAGÓGICO	LIMITAÇÕES E CUIDADOS
Ábaco chinês (Suanpan)  2 contas superiores + 5 inferiores por haste	As hastas representam ordens do sistema decimal. As contas registram valores segundo sua posição. Ordens posicionais 4 MILHAR 1.000 2 CENTENA 100 2 DEZENA 10 1 UNIDADE 1 No suanpan: contas superiores valem 5; inferiores, 1.	✓ Favorece a compreensão do valor posicional. ✓ Pode aprimorar o cálculo mental com prática. ✓ Mobiliza atenção, coordenação e estratégias de cálculo.	✗ Exige familiarização e treino específico. ✗ Reagrupamentos demandam domínio da base 10. ✗ A aprendizagem depende da mediação e da prática.
Blocos multibase (material dourado)  1.000 100 10 1 Cubo Placa Barra Cubinho	Representação concreta da base decimal, com agrupamentos por potências de 10. 1 unidade 1 cubinho 10 unidades 1 barra de dez 100 unidades 1 placa de 10 x 10 1.000 unidades 1 cubo de 10 x 10 x 10	✓ Ilustra agrupamentos e trocas na base 10. ✓ Apoiar a compreensão de valor posicional e operações. ✓ Relaciona objetos concretos e símbolos matemáticos.	✗ Requer materiais e organização da turma. ✗ Quantidades grandes ocupam mais espaço. ✗ É importante avançar até o registro simbólico.
Multiplicação por interseções (chinesa) 23 x 14 = 322  2 vermelhas 3 azuis C: 2 D: 2 U: 2 Azul: 1 reta (dezenas) + 4 (unidades) Antes das trocas: 2 11 12 Após as trocas: 3 2 2	Contagem correta dos pontos Centenas 2 x 1 = 2 Dezenas 2 x 4 + 3 x 1 = 11 Unidades 3 x 4 = 12 Reagrupamento decimal: 2 11 12 2 12 2 3 2 2 = 322 Cada ponto corresponde a duas retas que se cruzam.	✓ Explicita produtos parciais e valor posicional. ✓ Favorece raciocínio visuoespacial e debate de estratégias. ✓ Pode contribuir para o engajamento em atividades matemáticas.	✗ O número de traços aumenta com os algarismos. ✗ É necessário contar interseções e reagrupar corretamente. ✗ Benefícios sobre ansiedade matemática exigem evidência empírica. Observação: métodos de organização, como o GPS, podem auxiliar em cálculos extensos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

8. IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS E GESTÃO ESCOLAR

A implementação bem-sucedida de inovações metodológicas ancoradas na neurociência educacional não pode recair exclusivamente sobre a iniciativa isolada de docentes em suas salas de aula; ela requer uma política institucional estruturada de governança educacional e suporte sistêmico. As redes de ensino — municipais e estaduais — precisam estabelecer diretrizes curriculares flexíveis que legitimem o uso de abordagens heurísticas e visuoespaciais nos anos finais do ensino fundamental, quebrando a hegemonia de modelos puramente mnemônicos.

8.1. Formação Continuada e Redes de Cooperação Docente

Ademais, a gestão escolar deve investir na criação de comunidades de prática e centros de formação continuada centrados na vivência empírica dos professores. Quando os educadores participam de oficinas práticas onde vivenciam a descompressão cognitiva e compreendem os correlatos neurobiológicos do estresse matemático, a resistência a metodologias ativas diminui

expressivamente. O uso integrado de plataformas digitais de monitoramento pedagógico e o intercâmbio de experiências entre unidades escolares fortalecem a capilaridade dessas práticas, assegurando que a melhoria do desempenho discente seja acompanhada de bem-estar emocional e equidade educacional.

8.2. Acessibilidade Pedagógica e Neurodiversidade

No âmbito das diretrizes para a educação inclusiva e da organização curricular pelas redes de ensino, cabe ressaltar que a natureza visuoespacial e tátil do método por interseção de retas apresenta um potencial táctico promissor, sobretudo no suporte a estudantes com Transtorno do Espectro Autista (TEA) — pelo estímulo ao processamento visual padronizado — e com Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade (TDAH) — pela redução da demanda sobre o controle executivo e a memória de trabalho verbal. **Essa evidência orienta gestores escolares na adoção de metodologias acessíveis, enquanto** o detalhamento e a validação de sequências didáticas direcionadas a esse público específico constituem objeto de investigação complementar em estudo subsequente.

9. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS ESPERADOS E IMPLICAÇÕES PARA A FORMAÇÃO DOCENTE

9.1. Discussão à Luz da Neurociência Educacional e Cognitiva

A análise teórica, neurobiológica e metodológica desenvolvida neste estudo permite estabelecer relações conceituais entre o design instrucional, o processamento aritmético e os mecanismos cognitivos envolvidos na aprendizagem matemática. Nessa perspectiva, a multiplicação visuoespacial por interseção de retas,

associada ao GPS Algorítmico, apresenta potencial como estratégia de organização externa das informações e de mediação das relações multiplicativas. À luz da Teoria da Carga Cognitiva (Sweller, 1988, 1998), formula-se a hipótese de que a representação gráfica e a orientação sequencial dos procedimentos possam reduzir determinadas demandas cognitivas extrínsecas, favorecendo a utilização dos recursos atencionais e da memória de trabalho. Essa interpretação dialoga com os estudos de Dehaene (1992, 2003), que destacam a participação de regiões parietais, especialmente do sulco intraparietal (SIP), no processamento de magnitudes numéricas, sem pressupor que a utilização de determinado método pedagógico provoque uma transferência exclusiva da atividade cognitiva para essa estrutura cerebral.

No âmbito da ansiedade matemática, admite-se teoricamente que a organização visuoespacial, a previsibilidade das etapas e a explicitação dos produtos parciais possam contribuir para experiências de aprendizagem percebidas como mais acessíveis, potencialmente reduzindo sentimentos de insegurança e apreensão diante de tarefas aritméticas. Essa possibilidade encontra fundamentação indireta nos estudos sobre processamento emocional, memória e plasticidade neural (LeDoux, 2000; Bliss; Collingridge, 1993), bem como nas contribuições de Diamond (2013) acerca das funções executivas e da flexibilidade cognitiva. Entretanto, não se pode concluir, a partir do delineamento adotado, que a multiplicação chinesa ou o GPS Algorítmico promovam diretamente a desativação de circuitos relacionados ao estresse, a redução da atividade da amígdala ou o fortalecimento de conexões sinápticas específicas. Tais possibilidades constituem questões para investigações futuras, mediante procedimentos empíricos adequados. Assim, a principal contribuição neuroeducacional da

proposta reside na articulação entre representações matemáticas, organização instrucional e fundamentos cognitivos da aprendizagem, oferecendo uma estrutura teórica para investigar seus possíveis efeitos sobre a carga cognitiva, o desempenho e a ansiedade matemática.

9.2. Implicações Práticas para a Prática Pedagógica e a Formação Continuada Docente

A transição sistêmica de uma matemática puramente mecanicista e algorítmica para abordagens pedagógicas fundamentadas na neurociência educacional impõe desafios estruturais significativos à gestão escolar, à organização curricular e à capacitação permanente do corpo docente. Evidências robustas da literatura internacional sobre desenvolvimento profissional de professores indicam que o sucesso e a sustentabilidade de intervenções neuroeducacionais dependem intrinsecamente da superação da resistência docente frente a práticas metodológicas não convencionais e da quebra de crenças enraizadas sobre o erro e o talento fixo (Dweck, 2006).

Para que a descompressão cognitiva deixe de ser um conceito teórico restrito à literatura acadêmica e alcance capilaridade no chão da escola, faz-se necessário estruturar programas de formação continuada alicerçados rigorosamente nos seguintes eixos estratégicos:

- **Oficinas Práticas de Vivência Cognitiva e Empatia Metodológica:** Capacitar os educadores por meio da experiência direta e imersiva, permitindo que vivenciem pessoalmente o alívio da carga mental ao resolver problemas matemáticos complexos por vias visuoespaciais e táteis, o que

reconstrói profundamente a percepção do professor sobre a origem do erro e o acolhimento da ansiedade do discente.

- **Mapeamento de Perfis Docentes e Estratégias de Multiplicação Interna:** Utilizar a gestão estratégica de dados institucionais e sistemas educacionais para identificar docentes com maior afinidade a abordagens metodológicas inovadoras e científicas, transformando-os em agentes multiplicadores de boas práticas dentro de núcleos escolares e redes municipais de ensino.
- **Monitoramento Contínuo Baseado em Evidências e Indicadores Múltiplos:** Integrar plataformas tecnológicas de acompanhamento de desempenho acadêmico, frequência e engajamento para mensurar longitudinalmente o impacto das sequências didáticas visuoespaciais, avaliando não apenas a acurácia aritmética pontual, mas a melhoria mensurável no bem-estar emocional e comportamental dos estudantes.

Em síntese, a introdução sistemática de métodos gráficos e multissensoriais na aritmética representa uma ferramenta de engenharia neuroplástica de alto impacto que reconcilia a práxis docente com os princípios fundamentais da neurociência educacional, promovendo um aprendizado conceitual resiliente, altamente significativo e liberto das amarras debilitantes da ansiedade matemática.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação desenvolvida neste estudo permitiu analisar, sob uma perspectiva interdisciplinar, as relações entre Educação Matemática, Teoria da Carga Cognitiva, ansiedade matemática,

neurociência cognitiva e representações visuoespaciais aplicadas ao ensino da multiplicação. Partiu-se da compreensão de que as dificuldades experimentadas pelos estudantes diante de procedimentos aritméticos não podem ser explicadas exclusivamente pela complexidade intrínseca dos conteúdos, uma vez que a forma como as informações são organizadas, apresentadas e mediadas pedagogicamente também pode influenciar as demandas impostas à memória de trabalho e à atenção durante a aprendizagem.

Nesse contexto, a multiplicação visuoespacial por interseção de retas foi examinada não como substituta universal do algoritmo convencional, mas como uma possibilidade complementar de representação das relações multiplicativas. Sua principal contribuição pedagógica reside na externalização de determinados componentes da operação, possibilitando tornar perceptíveis agrupamentos, produtos parciais, decomposição numérica e relações de valor posicional que, no algoritmo convencional, podem permanecer condensados em procedimentos predominantemente simbólicos.

À luz da Teoria da Carga Cognitiva, sustenta-se teoricamente a hipótese de que essa externalização possa, em determinadas condições de aprendizagem, contribuir para reorganizar as demandas cognitivas envolvidas na resolução da multiplicação. Isso não significa eliminar o esforço cognitivo necessário à aprendizagem matemática, mas direcioná-lo para elementos relevantes à compreensão da tarefa, reduzindo potencialmente demandas extrínsecas decorrentes da necessidade de manter e manipular simultaneamente numerosas informações na memória de trabalho.

A confirmação dessa hipótese, entretanto, requer investigação empírica específica.

A análise realizada também evidenciou uma limitação importante da multiplicação por interseção de retas: à medida que aumenta o número de Algarismos dos fatores, cresce a quantidade de linhas, interseções e regiões que precisam ser monitoradas durante a resolução. Consequentemente, uma representação inicialmente utilizada como apoio pode tornar-se progressivamente mais complexa do ponto de vista perceptivo e operacional. Esse resultado teórico reforça a necessidade de compreender o método como recurso de mediação e de transição para formas progressivamente mais abstratas e eficientes de representação matemática.

É precisamente diante dessa limitação que se situa uma das principais contribuições autorais deste trabalho: o **GPS Algorítmico de Multiplicação Chinesa**. A proposta foi concebida como uma arquitetura instrucional de orientação destinada a organizar sequencialmente o percurso de resolução, segmentar etapas e direcionar a atenção do estudante para componentes específicos da representação multidígito. Em vez de eliminar a complexidade matemática inerente às operações com vários Algarismos, o GPS busca tornar essa complexidade mais navegável, reduzindo a necessidade de o aprendiz determinar continuamente onde observar, qual região processar e qual etapa executar em seguida.

Sob essa perspectiva, formula-se a hipótese de que o GPS Algorítmico possa atuar principalmente sobre componentes extrínsecos da carga cognitiva associados à navegação pela representação, sem suprimir a complexidade matemática essencial da multiplicação. Sua contribuição teórico-metodológica consiste,

portanto, em transformar o problema da escalabilidade da multiplicação visuoespacial em uma questão também relacionada ao design instrucional. A representação pode permanecer visualmente extensa, mas o percurso para processá-la pode ser explicitamente organizado e pedagogicamente orientado.

No que se refere à ansiedade matemática, a literatura examinada demonstra que respostas de preocupação, apreensão e medo podem competir pelos recursos cognitivos necessários à resolução de tarefas numéricas. Nesse cenário, a multiplicação visuoespacial e o GPS Algorítmico constituem possibilidades pedagógicas cuja organização diferenciada da tarefa poderá ser investigada quanto aos seus efeitos sobre percepção de dificuldade, engajamento, desempenho e ansiedade matemática. Contudo, os resultados deste estudo não permitem afirmar que tais recursos reduzam automaticamente a ansiedade ou modifiquem diretamente sistemas neurais relacionados às respostas emocionais.

Da mesma forma, os conhecimentos provenientes da neurociência cognitiva oferecem fundamentos importantes para compreender que a aprendizagem matemática envolve redes neurais distribuídas relacionadas ao processamento numérico, à atenção, à memória, às funções executivas e às representações espaciais. O sulco intraparietal apresenta participação relevante no processamento de magnitudes numéricas, enquanto a neuroplasticidade constitui propriedade fundamental do sistema nervoso associada à aprendizagem e à experiência. Esses conhecimentos, entretanto, não autorizam concluir que a utilização da multiplicação visuoespacial ou do GPS Algorítmico produza, por si mesma, modificações neurofuncionais, sinápticas ou estruturais específicas.

Desse modo, conceitos como neuroplasticidade, potenciação de longo prazo e funcionamento das redes frontoparietais devem ser compreendidos, neste trabalho, como fundamentos teóricos que auxiliam na interpretação dos processos gerais relacionados à aprendizagem, e não como variáveis neurobiológicas diretamente mensuradas pela investigação. Essa delimitação preserva a contribuição interdisciplinar da neurociência para a Educação Matemática sem extrapolar os limites das evidências produzidas pelo delineamento adotado.

Do ponto de vista metodológico, a opção pela **Pesquisa de Design Educacional (Educational Design Research – EDR), de natureza teórico-propositiva**, possibilitou articular fundamentos conceituais, análise das limitações da multiplicação visuoespacial, desenvolvimento de uma solução instrucional e elaboração de um cenário projetivo para futura investigação empírica. Assim, as aplicações apresentadas ao longo do estudo devem ser compreendidas como demonstrações e componentes de um design educacional passível de implementação, avaliação e aperfeiçoamento em contextos reais de ensino.

Entre as limitações do estudo destaca-se, sobretudo, a ausência de uma etapa empírica destinada a comparar grupos de estudantes utilizando diferentes estratégias de multiplicação. Consequentemente, não foram mensurados diretamente desempenho, tempo de resolução, frequência de erros, carga cognitiva percebida, ansiedade matemática ou efeitos de aprendizagem decorrentes da utilização do GPS Algorítmico. Essa limitação, contudo, delimita o alcance das conclusões e simultaneamente estabelece uma agenda objetiva para a continuidade da investigação.

Estudos posteriores poderão comparar estudantes que realizem multiplicações multidígitos com e sem o auxílio do GPS Algorítmico, empregando indicadores de desempenho, tempo de execução, frequência de erros e retomadas, escalas psicométricas de ansiedade matemática e instrumentos adequados à avaliação do esforço e da carga cognitiva. Investigações longitudinais também poderão examinar se o apoio oferecido pelo GPS favorece a construção progressiva de esquemas e se sua necessidade diminui à medida que o estudante desenvolve maior autonomia, conforme previsto pela lógica de um andaime cognitivo progressivamente removível.

No campo da formação docente, o estudo reforça ainda a importância de compreender as metodologias visuoespaciais não como recursos meramente ilustrativos, mas como componentes de um design instrucional que necessita de objetivos definidos, mediação pedagógica e critérios de utilização. A inovação metodológica adquire significado educacional quando articulada à compreensão conceitual, à diversidade dos estudantes e à transição progressiva entre diferentes formas de representação matemática.

Conclui-se, portanto, que a contribuição central deste trabalho não consiste em demonstrar previamente a superioridade da multiplicação visuoespacial sobre o algoritmo convencional, mas em propor e fundamentar uma arquitetura alternativa de mediação para a aprendizagem da multiplicação. A articulação entre representação visuoespacial e GPS Algorítmico permite formular uma hipótese original de **descompressão cognitiva**, entendida não como eliminação da complexidade matemática, mas como reorganização do percurso pelo qual essa complexidade é apresentada, segmentada e processada pelo estudante.

Nesse sentido, o **GPS Algorítmico de Multiplicação Chinesa** constitui uma contribuição teórico-metodológica autoral que transforma uma limitação identificada — a crescente complexidade das representações multidígitos — em problema de design instrucional e oportunidade de investigação científica. Sua relevância futura dependerá da validação empírica de seus efeitos, mas sua formulação oferece uma base sistematizada para novos estudos sobre carga cognitiva, ansiedade matemática, representações visuoespaciais e aprendizagem da multiplicação.

Assim, mais do que defender uma técnica específica de cálculo, este estudo propõe uma questão educacional mais ampla: **de que maneira o design instrucional pode tornar cognitivamente navegável uma estrutura matemática complexa sem eliminar a própria complexidade necessária à aprendizagem?** É nessa questão que se concentra a contribuição fundamental da pesquisa e que se abre um campo promissor para o desenvolvimento, a experimentação e o aperfeiçoamento de novas estratégias no âmbito da Educação Matemática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSARI, Daniel. Effects of development in brain structure and function on numerical abilities. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 9, n. 4, p. 278-291, 2008.

ARCAVI, Abraham. The role of visual representations in the learning of mathematics. **Educational Studies in Mathematics**, v. 52, n. 3, p. 215-241, 2003.

ARTEMENKO, Christina; WORTH, Silke Maria; DRESLER, Thomas; FREY, Mirjam; BARROCAS, Roberta; NUERK, Hans-Christoph;

MOELLER, Korbinian. Finger-based numerical training increases sensorimotor activation for arithmetic in children—an fNIRS study. **Brain Sciences**, v. 12, n. 5, art. 637, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/brainsci12050637>.

ASHCRAFT, Mark H. Math anxiety: Personal, educational, and cognitive consequences. **Current Directions in Psychological Science**, v. 11, n. 5, p. 181-185, 2002.

BADDELEY, Alan. Working memory. **Science**, v. 255, n. 5044, p. 556-559, 1992.

BEILOCK, Sian L.; MALONEY, Erin A. Math anxiety: A factor in math achievement not to be ignored. **Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences**, v. 2, n. 1, p. 4-12, 2015.

BLISS, Tim V. P.; COLLINGRIDGE, Graham L. A synaptic model of memory: long-term potentiation in the hippocampus. **Nature**, v. 361, n. 6407, p. 31-39, 1993.

BUTTERWORTH, Brian. The development of arithmetical abilities. **Journal of Child Psychology and Psychiatry**, v. 46, n. 1, p. 3-18, 2005.

COHEN KADOSH, Roi; LAMMERTYN, Jan; IZARD, Véronique. Are numbers special? An overview of chronometric, neuroimaging, and developmental studies. **Progress in Neurobiology**, v. 84, n. 2, p. 132-147, 2008.

COHEN KADOSH, Roi; SOSKIC, Sonja; IUCULANO, Teresa; KANAI, Ryota; WALSH, Vincent. Modulating neuronal activity produces specific and long-lasting changes in numerical competence.

Current Biology, v. 20, n. 22, p. 2016–2020, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.10.007>.

CRESWELL, John W.; CRESWELL, J. David. **Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches**. 5. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2017.

DEHAENE, Stanislas; BOSSINI, Serge; GIRAUX, Pascal. The mental representation of parity and number magnitude. **Journal of Experimental Psychology: General**, v. 122, n. 3, p. 371-396, 1993.

DEHAENE, Stanislas; PIAZZA, Manuela; PINEL, Philippe; COHEN, Laurent. Three parietal circuits for number processing. **Cognitive Neuropsychology**, v. 20, n. 3-6, p. 487-506, 2003.

DEHAENE, Stanislas. Evolution of human cortical circuits for reading and arithmetic: The "neuronal recycling" hypothesis. *In*: DEHAENE, S. *et al.* (org.). **From monkey brain to human brain**. Cambridge: MIT Press, 2005. p. 133-157.

DEHAENE, Stanislas. The neural basis of number processing. *In*: GAZZANIGA, Michael S. (org.). **The new cognitive neurosciences**. 3. ed. Cambridge: MIT Press, 2003. p. 1333-1349.

DEHAENE, Stanislas. **The number sense: How the mind creates mathematics**. New York: Oxford University Press, 1997.

DEHAENE, Stanislas. **The number sense: How the mind creates mathematics**. Revised and updated edition. New York: Oxford University Press, 2011.

DEHAENE, Stanislas. Varieties of numerical abilities. **Cognition**, v. 44, n. 1-2, p. 1-42, 1992.

DELAZER, Margarete; ISCHEBECK, Anja; DOMAHS, Frank; ZAMARIAN, Laura; KOPPELSTAETTER, Florian; SIEDENTOPF, Christian M.; BENKE, Thomas. Learning by strategies and learning by drill—evidence from functional magnetic resonance imaging. **NeuroImage**, v. 25, n. 3, p. 838-849, 2005.

DIAMOND, Adele. Executive functions. **Annual Review of Psychology**, v. 64, p. 135-168, 2013.

DUVAL, Raymond. A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. **Educational Studies in Mathematics**, v. 61, n. 1-2, p. 103-131, 2006.

DWECK, Carol S. **Mindset: The new psychology of success**. New York: Random House, 2006.

GOLDIN, Gerald A. Representation in mathematical learning and problem solving. *In*: ENGLISH, Lyn D. (org.). **Handbook of international research in mathematics education**. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2002. p. 197-218.

GUSKEY, Thomas R. Professional development and teacher change. **Teachers and Teaching: Theory and Practice**, v. 8, n. 3, p. 381-391, 2002.

HAUSER, Tobias U.; ROTZER, Stephanie; GRABNER, Roland H.; MÉRILLAT, Susan; JÄNCKE, Lutz. Enhancing performance in numerical magnitude processing and mental arithmetic using transcranial direct current stimulation (tDCS). **Frontiers in Human**

Neuroscience, v. 7, art. 244, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00244>.

HOPKO, Derek R.; MAHADEVAN, Rekha; BARE, Robert L.; STURMEY, Peter. The Abbreviated Math Anxiety Scale (AMAS): construction, validity, and reliability. **Assessment**, v. 10, n. 2, p. 178-182, 2003.

HOWARD-JONES, Paul A. Neuroscience and education: myths and messages. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 15, n. 12, p. 817-824, 2014.

KALYUGA, Slava. Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. **Educational Psychology Review**, v. 19, n. 4, p. 509-539, 2007.

KOLB, Bryan; WHISHAW, Ian Q. Brain plasticity and behavior. **Annual Review of Psychology**, v. 49, n. 1, p. 43-64, 1998.

LEDOUX, Joseph E. Emotion circuits in the brain. **Annual Review of Neuroscience**, v. 23, n. 1, p. 155-184, 2000.

LYONS, Ian M.; BEILOCK, Sian L. When math hurts: math anxiety predicts pain network activation in anticipation of doing math. **PLoS ONE**, v. 7, n. 10, e48074, 2012.

MAYER, Richard E. **Multimedia learning**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

MERZENICH, Michael M.; NELSON, Randall J.; STRYKER, Michael P.; CYNADER, Max S.; SCHOPPMANN, Anton; ZOOK, John M. Somatosensory cortical map changes following digit denervation in

adult monkeys. **Journal of Comparative Neurology**, v. 224, n. 4, p. 591-605, 1984.

PAAS, Fred; RENKL, Alexander; SWELLER, John. Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. **Educational Psychologist**, v. 38, n. 1, p. 1-4, 2003.

PAAS, Fred; VAN GOG, Tamara; SWELLER, John. Cognitive load theory: New conceptualizations and empirical findings. **Applied Cognitive Psychology**, v. 24, n. 2, p. 115-121, 2010.

PASCUAL-LEONE, Alvaro; AMEDI, Amir; FREGNI, Felipe; MERABET, Lotfi B. The plastic human brain cortex. **Annual Review of Neuroscience**, v. 28, p. 377-401, 2005.

PINEL, Philippe; DEHAENE, Stanislas; RIVIÈRE, Denis; LE BIHAN, Denis. Modulation of parietal activation by semantic distance in a number comparison task. **NeuroImage**, v. 14, n. 5, p. 1013-1026, 2001.

PRESMEG, Norma C. Research on visualization in learning and teaching mathematics: Emergent issues. **Educational Studies in Mathematics**, v. 61, n. 1-2, p. 205-237, 2006.

RICHARDSON, Frank C.; SUINN, Richard M. The Mathematics Anxiety Rating Scale: Psychometric data. **Journal of Counseling Psychology**, v. 19, n. 6, p. 551-554, 1972.

SLAVIN, Robert E. Perspectives on evidence-based research in education—What works? Issues in synthesizing educational program evaluations. **Educational Researcher**, v. 37, n. 1, p. 5-14, 2008.

SWELLER, John; AYRES, Paul; KALYUGA, Slava. **Cognitive load theory**. New York: Springer Science & Business Media, 2011.

SWELLER, John; VAN MERRIËNBOER, Jeroen J. G.; PAAS, Fred G. W. Cognitive architecture and instructional design. **Educational Psychology Review**, v. 10, n. 3, p. 251-296, 1998.

SWELLER, John. Cognitive load during problem solving: Effects on learning. **Cognitive Science**, v. 12, n. 2, p. 257-285, 1988.

SWELLER, John. Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. **Learning and Instruction**, v. 4, n. 4, p. 295-312, 1998.

TEDDLIE, Charles; TASHAKKORI, Abbas. **Foundations of mixed methods research: Integrating quantitative and qualitative approaches in the social and behavioral sciences**. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2009.

VAN MERRIËNBOER, Jeroen J. G.; SWELLER, John. Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. **Educational Psychology Review**, v. 17, n. 2, p. 147-177, 2005.

YOUNG, Christina B.; WU, Sarah S.; MENON, Vinod. The neurodevelopmental basis of math anxiety. **Psychological Science**, v. 23, n. 5, p. 492-501, 2012.

ZOSH, Jennifer M.; HOPKINS, Emily J.; JENSEN, Hanne; LIU, Caren; NEALE, David; HIRSH-PASEK, Kathy; WHITEBREAD, David. Accessing the inaccessible: Redefining play as a spectrum. **Frontiers in Psychology**, v. 9, art. 1124, 2018.

¹ Possui graduação em Licenciatura Plena em Matemática pela Universidade do Estado da Bahia (UNEB - 2004). É pós-graduado em nível Lato Sensu em Educação Matemática pela Faculdade Pio Décimo (UniPio - 2012), em Metodologia do Ensino de Matemática e Física pelo Centro Universitário Internacional (UNINTER - 2019), em Ensino Remoto, Ensino a Distância e Metodologias Ativas pela Faculdade Metropolitana de São Paulo (FAMEESP - 2024), em A Moderna Educação: Metodologias, Tendências e Foco no Aluno pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS - 2025) e em Neurociência Aplicada à Aprendizagem pela Faculdade Futura (ICETEC - 2026). ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0802-5237>.