

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Filosofia e Ciências Humanas
Faculdade de Educação

Luciana Lopes Guimarães

O CÉREBRO NUMÉRICO: uma revisão integrativa dos processos neurocognitivos da
aprendizagem matemática

Rio de Janeiro
2025

Luciana Lopes Guimarães

O CÉREBRO NUMÉRICO: uma revisão integrativa dos processos neurocognitivos da aprendizagem matemática

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Educação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau em Licenciatura Plena em Pedagogia.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Sandra Cordeiro Mello

Rio de Janeiro
2025

Luciana Lopes Guimarães

O CÉREBRO NUMÉRICO: uma revisão integrativa dos processos neurocognitivos da
aprendizagem matemática

BANCA EXAMINADORA

Profª Drª Sandra Cordeiro de Melo
Professora Adjunta da Faculdade de Educação/UFRJ

Profª Drª Janete Bolite Frant
Professora Adjunta da Faculdade de Educação/UFRJ

Profª Drª Erika Takimoto
Professora do Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET)

Rio de Janeiro
2025

Dedico este trabalho ao meu ex-professor de matemática, Gabriel, ao meu psicólogo, Jorge Victor, ao Mayk Barbosa pela nossa trajetória de vida, e para todos aqueles como eu, que sonham em um futuro melhor para e por meio da educação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, sou profundamente grata a todos os professores que fizeram parte da minha trajetória educacional, por transformarem cada aula em uma descoberta sobre o mundo e por serem referência na construção do meu caminho até aqui.

Agradeço também às políticas públicas de acesso e permanência, como as cotas e os programas de bolsas no ensino médio e superior, que foram fundamentais para minha formação e permanência na universidade, como também uma política essencial para democratização do conhecimento. Sem essas iniciativas, muitos objetivos, inclusive o meu, não teriam encontrado espaço para crescer.

Ao meu ex-professor de matemática, Gabriel, minha gratidão por acreditar em mim e tornar possível o sonho de acessar uma educação de qualidade. Querido professor, reafirmo meu compromisso feito há 12 anos de por meio da educação, fazer com que outras pessoas cresçam junto comigo, assim como você fez.

À minha ex-professora de física, Erika Takimoto, que me apresentou à ciência e ao significado de ser uma mulher cientista. Foi você quem despertou em mim o desejo de nunca parar de buscar o conhecimento, saber um pouquinho de tudo e me inspirar a entrar na pesquisa, tornando-se uma referência essencial como professora e acadêmica.

Ao meu psicólogo, Jorge, que me acompanha desde os 15 anos, serei eternamente grata por estar sempre ao meu lado, por acreditar no impossível, por me tirar das estatísticas e por ter fé mesmo quando eu não tinha. Essa conquista é nossa.

Ana, você é uma mulher fascinante, que me incentiva a ser independente e ir atrás do que acredito. Seu olhar, seu amor e seu apoio constante me ensinaram muito sobre a pessoa que sou e aquela que desejo me tornar. Obrigada por lutar comigo e por mim, por estar sempre presente e garantir que nunca me falte nada. Você é, verdadeiramente, uma mãe para mim.

Ao meu amado Felipe, que com sua presença transformou minha percepção de mundo. Seu amor infinito me ensinou a amar tudo que está ao meu redor. Descobrir e aprender mais sobre esse sentimento se tornou minha principal arma política e ideológica. Como bell hooks sabiamente escreveu “Procurei o amor, encontrei a liberdade”.

Agradeço também aos alguns colegas que, embora não estejam mais ao meu lado, foram parte essencial desta jornada, sempre me encorajando que era possível. Aos amigos que fiz ao longo dos anos de formação, seja na universidade ou fora dela, obrigada por serem meu suporte emocional e incentivo diário.

À minha orientadora, Sandra Cordeiro Melo, por aceitar o desafio de orientar uma monografia sobre um tema repleto de desacordos e conflitos na formação docente. Sua orientação foi importante para que eu pudesse me sentir livre para navegar por um campo ainda muito espinhoso.

Ao IDOR, agradeço o ambiente acolhedor e pelas oportunidades de aprendizado, e por ceder espaço para o desenvolvimento desta monografia. Professor Roberto Lent, obrigada pela oportunidade de me integrar ao grupo de pesquisa e pelo apoio inicial neste trabalho. À pesquisadora Dra. Nathália Petraconi, pelas orientações, carinho e dedicação nessa reta final. E ao pesquisador Raimundo Soares, por compartilhar suas experiências de trajetórias, por me oferecer novas perspectivas sobre a ciência da educação e por confiar em mim em seu projeto.

Por fim, afirmo com convicção: tenho uma dívida eterna com a educação, pois ela me salvou.

“ - Meu foco era... é o cérebro humano.

[...]

- E a deixam abrir cérebros?

- Na Inglaterra, mulheres só podem estudar a teoria.

[...]

- Diga-me: o que o cérebro tem de tão interessante?

- Ele dirige nossos pensamentos e condutas. Contém os segredos do Universo.

[...]

- Cada cabeça é um mundo a decifrar.”

- Maura Franklin e Virginia Wilson, 1899.

RESUMO

GUIMARÃES, Luciana Lopes. **O cérebro numérico: uma revisão integrativa dos processos neurocognitivos da aprendizagem matemática.** Rio de Janeiro, 2025. Monografia (Licenciatura Plena em Pedagogia) - Faculdade de Educação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

Este trabalho tem como objetivo principal identificar os processos neurocognitivos envolvidos na aquisição de conhecimentos matemáticos em crianças e adultos, buscando compreender como a neurociência pode contribuir para o ensino da matemática. Dessa forma, a estrutura da monografia inicia com a contextualização do problema do ensino da matemática no Brasil, evidenciada por dados de avaliação nacional e internacional. O referencial teórico explora as bases biológicas da aprendizagem, detalhando a estrutura e função dos neurônios, e destacando a importância de processos cognitivos e executivos. Em seguida, discute pesquisas anteriores, contrastando a teoria construtivista de Piaget com as descobertas da neurociência sobre o senso numérico inato. Na seção de metodologia detalha a abordagem de revisão integrativa, os critérios de busca e seleção de artigos e os procedimentos de análise dos dados. As ideias centrais giram em torno da compreensão de que a aprendizagem matemática é um processo complexo com raízes biológicas, influenciado por fatores culturais e ambientais. A conclusão do trabalho ressalta a integração do conhecimento neurocientífico com a educação para compreensão mais aprofundada dos mecanismos de aprendizagem, possibilitando a criação de ambientes educacionais que melhorem o desenvolvimento de habilidades matemáticas na infância e na vida adulta. Por fim, a monografia defende a necessidade de uma formação pedagógica transdisciplinar e a adoção de práticas baseadas em evidências na formação inicial e continuada dos professores na trajetória educacional dos estudantes.

Palavras-chaves: Neurociência; Matemática; Aprendizagem; Educação; Sala de Aula.

ABSTRACT

The main objective of this work is to identify the neurocognitive processes involved in the acquisition of mathematical knowledge in children and adults, seeking to understand how neuroscience can contribute to mathematics education. Thus, the structure of the monograph begins with the contextualization of the problem of mathematics education in Brazil, evidenced by national and international assessment data. The theoretical framework explores the biological bases of learning, detailing the structure and function of neurons and highlighting the importance of cognitive and executive processes. It then discusses previous research, contrasting Piaget's constructivist theory with neuroscience findings on innate numerical sense. The methodology section details the integrative review approach, the criteria for searching and selecting articles, and the data analysis procedures. The central ideas revolve around the understanding that mathematical learning is a complex process with biological roots, influenced by cultural and environmental factors. The conclusion of the work emphasizes the integration of neuroscientific knowledge with education for a deeper understanding of learning mechanisms, enabling the creation of educational environments that improve the development of mathematical skills in childhood and adulthood. Finally, the monograph argues for the need for transdisciplinary pedagogical training and the adoption of evidence-based practices in the initial and continuing training of teachers in the educational trajectory of students.

Keywords: Neuroscience; Mathematics; Learning; Education; Classroom.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 118

Figura 221

Figura 322

Figura 423

Figura 537

LISTA DE TABELAS

Tabela 130

Tabela 234

Tabela 335

Tabela 439

Tabela 543

SUMÁRIO

1 ALÉM DOS CÁLCULOS	13
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	13
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	17
2 OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVOS GERAIS	20
3 ENTRE NEURÔNIOS E NÚMEROS	21
3.1 BASES BIOLÓGICAS DA APRENDIZAGEM	21
3.2 FUNÇÕES EXECUTIVAS	24
3.3 COMO CÉREBRO APRENDE?	26
3.4 O QUE SABEMOS?	28
3.5 CIÊNCIA PARA EDUCAÇÃO	31
4 DA EVIDÊNCIA AO CONHECIMENTO	33
4.1 CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA	33
4.2 ESTRATÉGIA DE BUSCA E SELEÇÃO	33
4.3 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE	35
5 O CÉREBRO MATEMÁTICO	37
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS SELECIONADOS	37
5.3 O QUE A NEUROCIÊNCIA DIZ?	41
6 CONEXÕES QUE CONTAM	49
6.1 EDUCAÇÃO INFANTIL	49
6.2 ENSINO FUNDAMENTAL I	52
6.3 ENSINO FUNDAMENTAL II	55
6.4 ENSINO DE JOVENS E ADULTOS	58
6.5 SEM DELIMITAÇÃO	60
7 CONCLUSÃO	62
7.1 ENSINO DA MATEMÁTICA COM A NEUROCIÊNCIA	62

1 ALÉM DOS CÁLCULOS

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

No Brasil, o ensino da matemática enfrenta desafios complexos e persistentes, refletindo em um cenário onde grande parte dos estudantes demonstra dificuldades significativas na aquisição de conhecimentos fundamentais, um problema que se agrava ao considerarmos as disparidades socioeconômicas, formação de professores e abordagens pedagógicas ineficazes. De acordo com os dados do Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA, 2022) a média estipulada pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) de aprendizagem em matemática é de 45,6%, sendo o Brasil alcançando apenas 10% do percentual geral de alunos com aprendizado adequado. Além disso, com 1% dos alunos brasileiros alcançaram níveis de proficiência elevados (nível 5 ou superior), em contraste com a média de 9% nos países da OCDE. O que fez o país se manter estável com relação aos dados de 2018.

Ao analisar os resultados por nível socioeconômico, a discrepância se torna ainda mais evidente. Entre os estudantes brasileiros de nível socioeconômico alto, 33,9% dos estudantes estão em nível adequado, sendo a média internacional de 63,6%, enquanto aqueles de nível socioeconômico baixo registraram apenas 3,1%, em comparação com a média de 20,3% nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Apesar da diferença socioeconômica, em ambos os casos, o Brasil está abaixo da média internacional. Esses dados evidenciam que uma parcela significativa dos estudantes brasileiros enfrenta dificuldades em resolver problemas matemáticos básicos, como efetuar operações simples. Portanto, os dados citados são fundamentais para olhar a educação brasileira, buscando compreender o que ocorre na realidade do país em relação à educação básica na matemática e, para isso, é crucial investigar os fatores que contribuem para esses resultados.

Outros dados relevantes e de nível nacional, são os resultados do Sistema de Avaliação da Educação Básica (Saeb) nos anos de 2019, 2021 e 2023 que revelam um cenário preocupante: menos de 25% (percentual estipulado para aprendizagem insatisfatória) dos estudantes do 3º ano do Ensino Médio atingiram um nível de aprendizagem satisfatório. Especificamente, em 2019, esse percentual foi de 7%, caindo para 5% em 2021 e mantendo-se em 5% em 2023. O que também dialoga com o período da pandemia ao observar 2% abaixo com relação a 2019. Portanto, os dados são preocupantes para a educação brasileira, pois indicam que os estudantes estão concluindo a educação básica sem dominar os conhecimentos

essenciais, sendo a matemática, uma disciplina que possui uma carga horária elevada na grade curricular. Assim, ilustrando também uma defasagem significativa na preparação dos jovens para a vida adulta.

Os indicadores disponibilizados são fundamentais para olhar a educação brasileira para buscar entender o que ocorre na realidade do país em relação à sua educação básica. Desse modo, um dos fatores para o entendimento de índices tão baixos é que o processo de aprendizagem é multifacetado, dependendo de diversas variáveis como o nível socioeconômico do estudante, o ambiente escolar e familiar, fatores individuais e a qualidade das abordagens pedagógicas. Com isso, uma das perspectivas importantes para compreender esse processo é a neurociência, que nos permite estudar como o conhecimento é consolidado no cérebro e quais processos neurocognitivos estão envolvidos na aquisição de habilidades matemáticas.

É necessário, primeiramente, estudar como o cérebro assimila novas informações, principalmente durante o aprendizado matemático, com a Neurociência e Educação sendo um dos campos de uma interseção que possibilita evidências científicas de como o cérebro aprende para que os professores possam redesenhar sua prática pedagógica (Amaral; Guerra, 2022).

Segundo Lent (2010), a neurociência é uma ciência interdisciplinar que busca compreender como o cérebro e o sistema nervoso operam, desde os mecanismos celulares e moleculares até os processos cognitivos, comportamentais e emocionais. Ele destaca que essa área envolve contribuições da biologia, medicina, psicologia, física, química e até mesmo da filosofia.

Os neurocientistas procuram entender como as células nervosas, também chamadas de neurônios, se comunicam entre si e como essas comunicações se traduzem em comportamento, pensamento, emoções e outras funções cerebrais, estudando não apenas a anatomia do sistema nervoso, mas também os processos bioquímicos e elétricos que ocorrem nas células nervosas e como a interação com o ambiente interferem e alteram sua estrutura (Bear, Connors e Paradiso, 2017).

A interação entre ciência, neurociência e pedagogia ainda se apresenta como um desafio. Esta dificuldade é reflexo de uma história que segmenta o conhecimento em áreas isoladas, em vez de buscar uma abordagem integrativa. Por ser vista como uma área humana de atuação subvalorizada, a inclusão de saberes de outras áreas como a saúde e a matemática parece ameaçador para muitos profissionais da educação, como um ponto de desqualificação,

desrespeito, e gerando disputas por legitimidade e reconhecimento. Outro fato relevante, é a dificuldade na carência de reconhecimento de que a educação deve se basear em evidências científicas, sendo que tanto os educadores, em geral, conhecem pouco sobre o funcionamento do cérebro, quanto os neurocientistas frequentemente desconhecem os fundamentos das teorias educacionais e o contexto real da sala de aula. Essa lacuna, se não mediada, pode levar a inferências equivocadas ou "neuromitos", que são aplicações sem comprovação científica, reforçando a necessidade urgente de investir em pesquisa translacional para levar o conhecimento rigoroso do laboratório à escola (Amaral e Guerra, 2022; Davies; Thomas e Pring, 2007).

Nesse sentido, a pedagogia abrange tudo o que se relaciona com a educação, independente se o estudo está na área da saúde, matemática ou em outras áreas, conforme afirmam os autores:

A Pedagogia é, antes de tudo, um campo científico, não um curso, campo esse cuja natureza constitutiva é a teoria e a prática da educação ou a teoria e prática da formação humana. O objeto próprio da ciência pedagógica é o fenômeno educativo, que compreende os processos de comunicação e internalização de saberes e modos de ação, visando à formação humana (Franco, Libâneo e Pimenta, p. 74).

Ou seja, um dos seus objetivos é compreender por meio de diversos saberes e concepções os processos pelos quais indivíduos e/ou grupos sociais adquirem conhecimento. Nesse contexto, as pesquisas nas áreas de didática, currículo, neurociência, psicologia e tantas outras contribuem para formação de professores e são essenciais, pois vão pesquisar a maneira como é estruturado o conhecimento e quais são as suas possíveis implicações para área da educação, fortalecendo as discussões sobre métodos e teorias de aprendizagem de como o cérebro aprende.

A partir disso, a necessidade de formar pedagogos de maneira transdisciplinar e como cientistas da educação é precioso, porque a pedagogia interligada ao conhecimento científico pode fornecer uma base melhor para compreender o processo de ensino-aprendizagem que são aprofundadas em outras licenciaturas, ou, aprofundadas ao longo do currículo escolar conforme as disciplinas se tornam mais específicas. Portanto, é imprescindível pensar em um currículo mais atualizado e integrativo com práticas baseadas em evidências.

Essa pesquisa buscou investigar como a neurociência explica os processos neurocognitivos envolvidos na aquisição de conhecimentos matemáticos em crianças e adultos, tradicionalmente conhecida como uma disciplina desafiadora para os estudantes, principalmente aqueles com baixo desempenho. Embora a existência de avanços pedagógicos,

métodos convencionais ainda são utilizados e frequentemente ignoram estudos de como o cérebro se desenvolve aprendendo. Desse modo, a neurociência surge como uma ponte para entender as funções neurais, cognitivas e emocionais interligadas à aprendizagem na infância como também também na vida adulta, contribuindo com seus estudos para metodologias que melhorem o ensino.

Portanto, o intuito desta revisão integrativa não será de exaurir tudo que a neurociência sabe da matemática, mas levantar bibliografias importantes que contribuem para o campo da educação dessa disciplina, descrevendo as principais regiões cerebrais responsáveis pelo aprendizado matemático, a participação das funções executivas na aquisição de conhecimentos, as diferenças entre crianças e adultos e resultados importantes de pesquisas nessa temática.

1.2 JUSTIFICATIVA

Ao longo da minha trajetória escolar, enfrentei inúmeras dificuldades na aprendizagem da matemática, especialmente durante o ensino médio técnico no CEFET/RJ. O déficit educacional na área resultou em um problema significativo entre o nível de conhecimento exigido pela instituição e a minha formação prévia, dificultando o acompanhamento das disciplinas. Além disso, a ausência do suporte pedagógico necessário comprometeu ainda mais o processo de aprendizagem.

A partir de uma reflexão desse meu processo, observei que, embora a instituição contasse com docentes altamente qualificados em termos de formação acadêmica, muitos apresentavam limitações no que se refere ao domínio de formação pedagógica para lidar com diferentes níveis de conhecimento entre os grupos de alunos. Assim, a ausência de metodologias de ensino adequadas que se baseassem em como o cérebro aprende pode dificultar a inclusão e a participação ativa dos estudantes no processo de construção do conhecimento matemático.

Percebi também, que o interesse pelo ensino da matemática entre os estudantes de pedagogia era pouco motivado, o que dificulta demais debates com aprofundamento. O tema raramente era debatido, e, em muitos casos, havia até um certo medo em relação ao conteúdo, que alguns estudos chamam de ansiedade matemática (Schaeffer et al., 2021). No entanto, durante os estágios, observei algumas iniciativas isoladas de professores que buscavam abordar a matemática de maneira menos rígida e mais envolvente, tornando o ensino mais

acessível e significativo. Essas experiências despertaram meu interesse em investigar mais profundamente os desafios e as possibilidades relacionadas ao ensino da matemática, com o objetivo de contribuir para práticas pedagógicas mais eficazes e inclusivas.

Então cursar educação e estudar os processos neurocognitivos da aprendizagem me permitiu entender meus próprios desafios, revelando que dificuldades persistentes não são meramente falhas individuais, mas resultados de fatores estruturais, culturais e contextuais das escolas juntamente com fatores biopsicológicos.

Esta monografia é, assim, uma investigação sobre a relação da matemática, neurociência e educação. É também um gesto de gratidão aos professores desses saberes que contribuíram com o seu conhecimento e empatia, transformando o meu caso em sucesso acadêmico. Desse modo, ao buscar compreender as bases neurais da aprendizagem, como forma de contribuir com boas práticas em educação baseadas em evidências (Davies; Thomas e Pring, 2007) para que outras trajetórias como a minha não se percam diante do fracasso do ensino.

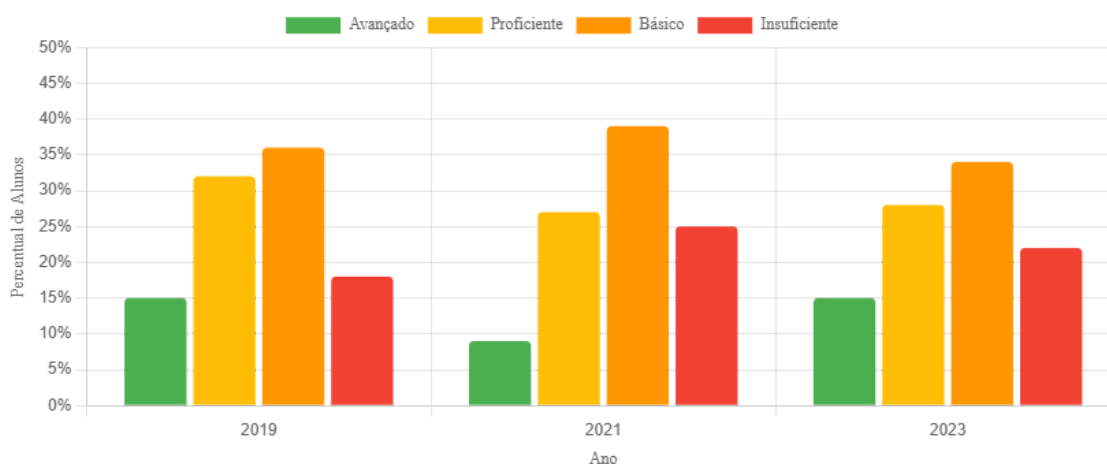
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

De acordo com QEdU (Gráfico 1) uma plataforma que reúne e analisa dados educacionais do Brasil, a partir dos resultados do Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB) disponibilizados pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) em 2019, 2021 e 2023, o desempenho das escolas públicas do 5º ano em matemática mostra oscilação na proficiência, com queda em 2021 e recuperação parcial em 2023. A análise do desempenho dos alunos é categorizada em diferentes níveis de proficiência: insuficiente, básico, proficiente e avançado. O nível insuficiente indica que o aluno não atingiu as habilidades mínimas esperadas. O nível básico representa a aquisição de habilidades elementares, mas ainda com lacunas significativas. O nível proficiente demonstra que o aluno domina as habilidades esperadas para sua etapa de ensino. Já o nível avançado indica que o aluno superou as expectativas, demonstrando um domínio aprofundado do conteúdo.

Entre 2019 e 2021, houve uma queda de 10 pontos percentuais no aprendizado adequado de 47% para 37%. De 2021 para 2023, houve um ganho de 7 pontos, chegando a 44%, mas ainda abaixo do resultado de 2019. Somando os níveis básico e insuficiente, o conjunto passou de 54% em 2019 para 64% em 2021 e recuou para 56% em 2023. O nível

avançado vai de 15% em 2019 para 9% em 2021 e retorna a 15% em 2023, sinalizando recomposição do topo da distribuição. O nível proficiente reduz de 32% em 2019 para 27% em 2021 e estabiliza em 28% em 2023, sem recompor totalmente o resultado inicial. Nas faixas inferiores, o básico cresce de 36% para 39% entre 2019 e 2021 e recua para 34% em 2023, enquanto o insuficiente sobe de 18% para 25% e depois reduz para 22%. É importante ressaltar que em 2021 as métricas foram afetadas pela pandemia, e isso refletiu um pouco nos dados de 2023 também. Apesar disso, se comparado os dados de 2019 a 2023, após a pandemia as notas voltaram aumentar. Assim, os números absolutos indicam cerca de 2,37 milhões de alunos distribuídos por níveis em 2019, 2,34 milhões em 2021 e 2,21 milhões em 2023 na amostra apresentada. Em 2023, ainda mais da metade permanece em básico ou insuficiente, evidenciando a necessidade de manter esforços de consolidação das habilidades matemáticas fundamentais.

Gráfico 1. Desempenho Matemático das Escolas Públicas no 5º ano.



Fonte: gerada por Gemini 08/09/2025, com base em referências bibliográficas (sem reprodução direta de conteúdo protegido).

Para além dos dados estatísticos, a matemática é tradicionalmente reconhecida como uma disciplina desafiadora, gerando ansiedade e frustração (Schaeffer et al., 2021) em muitos estudantes, especialmente aqueles com baixo desempenho. Apesar dos avanços pedagógicos e das evidências científicas sobre o processo de aprendizagem matemática, métodos convencionais que carecem de embasamento científico (Elgavi; Hamo, 2024) ainda são amplamente utilizados nas salas de aula.

Com isso, professores ao não estudarem como o cérebro funciona utilizam métodos de ensino que reforçam crenças limitantes (Elgavi; Hamo, 2024; Dehaene, 2011; Schaeffer et al.,

2021) como “eu não nasci para ser boa em matemática” ou “eu sou incapaz de conseguir entender”, ignorando a complexa realidade de como o sujeito aprende. Portanto, a falta de inovação e a resistência à incorporação de novas metodologias (Dehaene, 2011) contribuem para perpetuar um ciclo de baixo desempenho e aversão à disciplina.

Diante desse cenário, que se manifesta de forma acentuada nas crianças da rede pública no Brasil até o 5º ano do Ensino Fundamental, a relevância de uma boa formação de qualidade na pedagogia se torna inegociável. Além disso, focar nesse grupo etário é crucial, pois é nas etapas iniciais que as intervenções pedagógicas têm o maior potencial de construir uma base sólida para o conhecimento matemático, possibilitando a prevenção e o agravamento da defasagem ao longo da trajetória escolar.

Sendo assim, é fundamental explorar os processos cerebrais e cognitivos envolvidos na aprendizagem matemática, especialmente em crianças, e por isso esta pesquisa buscou investigar como a neurociência pode contribuir para explicar os mecanismos que sustentam a aquisição do conhecimento matemático ao longo do desenvolvimento humano, a fim de compreender como esse campo também pode produzir conhecimentos importantes para educação.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Identificar os processos neurocognitivos envolvidos na aquisição de conhecimento matemático em crianças e adultos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

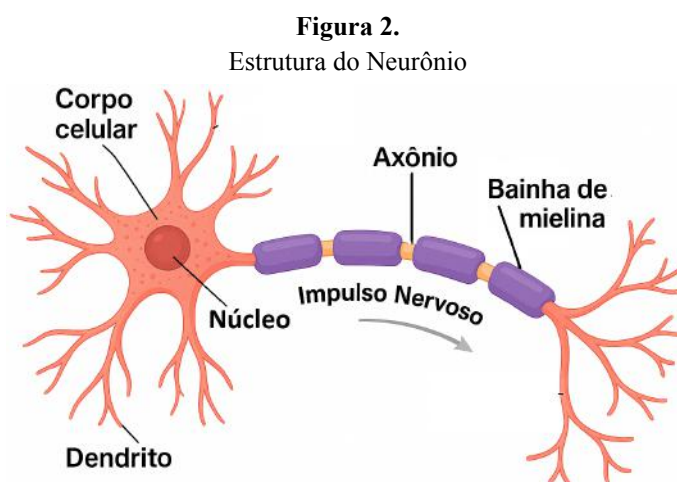
Este trabalho explora como o conhecimento atual pode relacionar as regiões cerebrais e os processos cognitivos envolvidos na aquisição de competências matemáticas ao longo do desenvolvimento humano. A pesquisa buscou as implicações na aquisição de informações numéricas, no raciocínio lógico e na resolução de problemas matemáticos, conforme discutido na literatura científica com os seguintes objetivos específicos:

- Descrever as principais regiões cerebrais no aprendizado de matemática.
- Verificar a relação das funções executivas na aquisição de conhecimento de matemática.
- Analisar as evidências científicas relacionadas à aquisição de conhecimento matemático em crianças e adultos..
- Identificar as similaridades e diferenças no funcionamento cerebral e na consolidação do conhecimento matemático entre crianças e adultos.

3 ENTRE NEURÔNIOS E NÚMEROS

3.1 BASES BIOLÓGICAS DA APRENDIZAGEM

O neurônio (Figura 2) é a unidade básica do cérebro. Sua estrutura está ligada à sua função de receber, processar e transmitir informações. As partes principais operam de forma coordenada: os dendritos formam uma arborização elaborada, especializada em receber informações (sinais eletroquímicos) de outros neurônios. Já o corpo celular (soma) contém o núcleo que integra os sinais recebidos. Por sua vez, o axônio é um prolongamento que conduz o impulso nervoso do corpo celular até sua extremidade, chamada de terminal axonal (Lent, 2010).



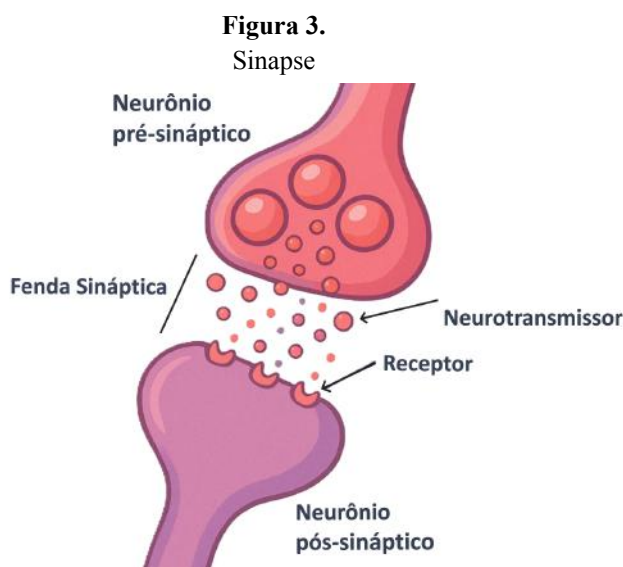
Fonte: gerada por Copilot 02/10/2025, com base em referências bibliográficas (sem reprodução direta de conteúdo protegido).

A sinapse (Figura 3) é o local de comunicação entre os neurônios. Nesse local, a informação é transferida de um neurônio pré-sináptico para um pós-sináptico, através de um espaço microscópico chamado fenda sináptica. Esse processo é definido por transmissão sináptica e, geralmente, ocorre por meio de mensageiros químicos chamados neurotransmissores (Lent, 2010). O processo de formação das sinapses (sinaptogêneses) entre os neurônios, começa durante o desenvolvimento do feto, fase caracterizada por um pico de formação de novas sinapses, em que são criadas redes de comunicações, sendo muitas delas transitórias. Logo após o nascimento, ocorre a poda sináptica (ou eliminação de sinapses), processo de afinação das redes neuronais, eliminando sinapses menos utilizadas ou funcionais em favor das mais ativas e relevantes (Lent, 2010).

O mecanismo da sinaptogênese até a poda neural é descrito da seguinte forma:

primeiro, o cérebro produz um número enorme de sinapses antes e depois do nascimento. Com o início da poda sináptica, a seleção ou eliminação da sinapse é feita de acordo com o número de conexões estabelecidas, sendo este um fator determinante na sobrevivência dessa sinapse. Dessa forma, a capacidade de modular as conexões é o mecanismo central que viabiliza a aprendizagem, sendo esse processo conhecido como neuroplasticidade. A força e a organização dessas conexões são continuamente construídas, desfeitas e reorganizadas pela história de vida de cada pessoa que torna cada cérebro singular (Lent, 2010).

Todo esse processo de alteração ocorre no sistema nervoso que se divide entre sistema nervoso central e periférico. O sistema nervoso central (SNC) é formado pelo encéfalo (cérebro, cerebelo e tronco encefálico) e a medula espinal. O SNC, além dos circuitos neurais complexos, processa as informações recebidas do SNP. É responsável por formar circuitos neurais complexos que permitem funções como linguagem, memória, aprendizado, raciocínio lógico e abstrato, ou seja, a capacidade de reorganização e adaptação dos circuitos neurais. O sistema nervoso periférico (SNP), por sua vez, é formado por nervos e gânglios nervosos (conjuntos de corpos de neurônios fora do SNC). É responsável por transmitir informações sensoriais (como dor, temperatura, toque) ao SNC (Bear, Connors e Paradiso, 2017).

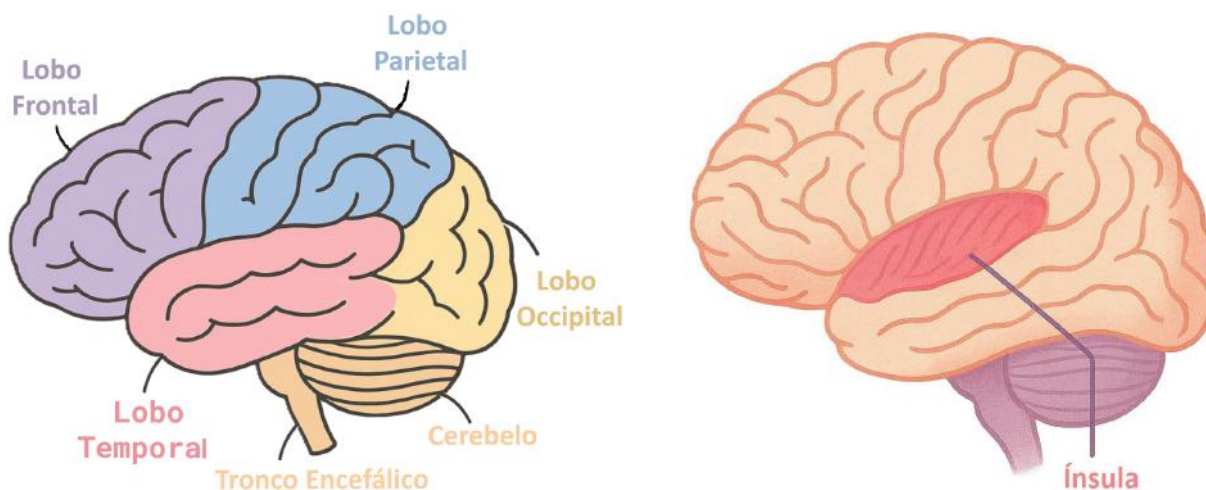


Fonte: gerada por Copilot 02/10/2025, com base em referências bibliográficas (sem reprodução direta de conteúdo protegido).

O cérebro, em particular, é a maior parte do encéfalo (Figura 4) e é subdividido em regiões conhecidas como lobos: frontal, temporal, parietal e occipital. Embora cada lobo possui funções predominantes - o lobo frontal associado ao planejamento e tomada de decisões; o lobo temporal à audição e memória; o lobo parietal ao processamento sensorial e

espacial; e o lobo occipital à visão - é importante ressaltar que essas áreas trabalham de forma integrada e interconectada nos processamentos cognitivos, emocionais e comportamentais da vida humana (Bear, Connors e Paradiso, 2017; Lent, 2010).

Figura 4.
Lobos do Cérebro (lateral)



Fonte: gerada por Copilot 02/10/2025, com base em referências bibliográficas (sem reprodução direta de conteúdo protegido).

Com o propósito de compreender o que é a aprendizagem a partir da biologia e relacionar mais adiante com os processos cognitivos fundamentais, segunda a autora Deslandes (2024), entende-se como aprendizagem as modificações e a reorganização das conexões entre os neurônios, as chamadas sinapses. Esse efeito tem como resultado final a plasticidade neuronal que permite ao cérebro se moldar, adaptar e modular seu desenvolvimento de acordo com estímulos externos. Consequentemente, a memória será fundamental para que a aprendizagem se consolide, especificamente a memória de longo prazo.

Segundo Dehaene (2022), a memória é um processo que permite a codificação, o armazenamento e a evocação (recuperação) das informações. Ela corresponde a toda informação estocada nos circuitos cerebrais, formadas por alterações físicas causadas pela aprendizagem e construindo uma rede de engramas neurais. Essas alterações físicas causadas pelas sinapses, podem ser fortalecidas ou enfraquecidas, sendo chamadas de plasticidade sináptica (Serfaty, 2021). A memória pode ser classificada em diferentes tipos: memória explícita (declarativa), que são recordações conscientes retomadas que se divide em memória

de curta duração/trabalho, que retém informações por segundos ou minutos, também memória de longa duração, que são registros que perduram por dias ou anos, resultando da consolidação da memória de curta duração. Há também a memória implícita (não declarativa/procedural), associada a comportamentos sensório-motores e ativada de forma inconsciente, como andar de bicicleta ou dirigir (Costa, 2023).

No que diz respeito às principais regiões do cérebro responsáveis pelo aprendizado e memória (armazenamento e evocação), o hipocampo e o córtex pré-frontal se destacam. O hipocampo, localizado no lobo temporal medial do cérebro, atua como coordenador essencial para a formação (consolidação) de novas memórias explícitas. Ele recebe informações sensoriais, motoras e cognitivas de todo o cérebro e associa esses inúmeros atributos das lembranças, sendo o primeiro passo para a consolidação da memória.

O Córtex Pré-Frontal (CPF) está envolvido com a memória operacional (de curto prazo). Ele atua como um coordenador central, processando ativamente as informações e manipulando dados na região dorsolateral, enquanto os retém temporariamente na região ventrolateral. Essa fase é crucial para a consolidação da memória, pois é aqui que as informações são mantidas e trabalhadas antes de serem transferidas para o armazenamento de longo prazo em outras áreas do cérebro.

Outras regiões também são fundamentais, como a amígdala, que embora ligada às emoções, desempenha um papel crucial como moduladora emocional da memória, influenciando o processo de consolidação da memória explícita, especialmente o grupo basolateral. O cerebelo é essencial para a memória motora (aprendizagem de atos motores) e para a plasticidade sináptica associada. Os Núcleos da Base (Corpo Estriado) são responsáveis pela memória implícita de procedimentos e pela aquisição de hábitos comportamentais.

3.2 FUNÇÕES EXECUTIVAS

Segundo Adele Diamond (2013) às Funções Executivas (FEs) são processos mentais de controle necessários quando precisamos nos concentrar e prestar atenção, enfrentar desafios novos e inesperados. Usar as FEs é um esforço, é mais fácil ceder à tentação do que resistir, e é mais fácil continuar no "piloto automático" do que considerar o que fazer em seguida. Elas estão relacionadas a circuitos neurais da região do córtex pré-frontal, especificamente o córtex pré-frontal lateral associado às FEs de atenção, pensamento e ação, enquanto o córtex pré-frontal medial com a regulação emocional e a motivação. Portanto,

sendo envolvidas com funções executivas básicas, como a flexibilidade de ações, o planejamento, o automonitoramento, a correção de erros e a avaliação de riscos.

O desenvolvimento das funções executivas se inicia na infância, manifestando-se desde muito cedo. Por exemplo, por volta dos 2 anos, os bebês já utilizam estratégias simples para resolver problemas. Na infância, por volta dos 7 anos, há um aprimoramento na flexibilização de estratégias e na capacidade de planejamento. O pico de desenvolvimento do córtex pré-frontal, que resulta em um aprimoramento significativo de várias funções executivas, ocorre na adolescência. Conclui-se que essas funções atingem um grau de maturação no final da adolescência para a fase adulta, especialmente no que tange à metacognição e à autorregulação (Costa, 2023).

As FEs se dividem em três tipos centrais: controle inibitório que envolve resistir a tentações e impulsos e controlar a atenção. A memória de trabalho que mantém a informação na mente para trabalhar mentalmente com ela e flexibilidade cognitiva, sendo capaz de mudar perspectivas ou abordagens e de se adaptar rapidamente a novas demandas ou regras. Para Diamond (2013) às FEs são críticas e mais importantes para a prontidão escolar do que o quociente de inteligência (QI) ou a capacidade inicial de leitura/matemática, pois predizem a competência em ambas as áreas ao longo dos anos escolares. Elas são essenciais para a realização de atividades escolares, desde as rotineiras (como prestar atenção ou organizar materiais) até as metacognitivas (como pensar em estratégias para compreender um texto) .

O aprimoramento dessas funções é fundamental para a autorregulação e a metacognição ao organizar o pensamento e estabelecer estratégias comportamentais, as FEs levam em consideração os registros do passado armazenados na memória e as emoções sentidas. De acordo com Costa (2023) “No contexto educativo, observamos, assim, a relevância das orientações pedagógicas, especialmente no que se refere a prevenir os jovens sobre a importância do equilíbrio emocional e orientá-los a respeito dos riscos comuns a essa fase da vida (p.16)”.

Assim, trabalhar as FEs desde cedo possibilita ter adultos mais adaptados socialmente, mais autônomos e bem sucedidos profissionalmente. Entretanto, ausência desse trabalho educativo, levam a problemas sociais (como crime, violência), a dificuldades em encontrar e manter um emprego (pela baixa produtividade), e estão associadas a transtornos de saúde mental (como TDAH, depressão e vícios) e física (como obesidade e abuso de substâncias) (Diamond (2013).

3.3 COMO CÉREBRO APRENDE?

No livro intitulado “Cem Bilhões de Neurônios?” o neurocientista Roberto Lent, conceitua a neuroplasticidade como a capacidade do cérebro de se reorganizar através da formação de sinapses em resposta a estímulos do ambiente e experiências, resultando na modificação química e estruturais do sistema nervoso. Esse processo dinâmico permite que os circuitos neurais sejam modificados pela história pessoal, garantindo que nenhum cérebro seja exatamente igual ao outro, sendo o substrato biológico da individualidade.

Nesse sentido, o período da primeira infância (0 a 7 anos) é crucial, pois o cérebro apresenta grande neuroplasticidade, com uma capacidade muito alta de fazer e desfazer conexões (Amaral e Guerra, 2022). A maior quantidade de sinapses ocorre nos primeiros anos de vida (Brasil, 2020), atingindo o pico por volta dos 2 ou 3 anos. Em seguida, inicia-se a poda sináptica, onde as sinapses não utilizadas são removidas, buscando eficiência nos circuitos neurais.

Existem também momentos de janelas temporais em que o sistema nervoso é mais sensível a estímulos ambientais e a plasticidade é mais intensa (Amaral e Guerra, 2022), facilitando certas aprendizagens, com as especializações das funções cognitivas se estabelecem entre os primeiros 5 a 10 anos de vida.

Além disso, segundo Costa (2023) a atividade conjunta de distintos circuitos neurais no cérebro gera os processos cognitivos necessários para a aprendizagem em todas as idades, sendo elas a atenção, memória, motivação, funções executivas e emoções. A atenção prioriza as informações, focando em aspectos relevantes do ambiente e ignorando distrações, garantindo o processamento de informações indispensáveis. Ela funciona como um filtro seletivo para gerenciar o excesso de informações, permitindo que apenas o essencial chegue à memória. No ambiente escolar, a atenção é crucial para o engajamento do estudante, exigindo a minimização de distrações e o uso de estímulos que captem e mantenham o foco.

Como foi visto anteriormente, a memória está intrinsecamente correlacionada com a aprendizagem, sendo um processo fundamental que abrange a aquisição, o armazenamento e a evocação de informações. Para que a aprendizagem se torne duradoura e seja transferida para a memória de longo prazo, é essencial o processo de consolidação. Este processo envolve a repetição ativa e a elaboração, que consiste em associar novos conhecimentos a informações já existentes. Dessa forma, a memória não é apenas um repositório, mas um componente ativo que molda a retenção e a acessibilidade do que é aprendido. Já motivação desempenha um

papel crucial ao mobilizar a atenção, pois quando estamos motivados, a atenção é bem direcionada, facilitando a retenção de informações pela memória e gerando um desejo contínuo de engajamento nos objetivos de aprendizagem.

O papel das FEs são imprescindíveis nesse processo, sendo responsáveis pela metacognição (a capacidade de refletir sobre como se aprende), pela autorregulação e pela tomada de decisão. A capacidade de planejar, monitorar e ajustar o próprio aprendizado, mediada pelas funções executivas, impacta diretamente a forma como a atenção é sustentada e como as informações são codificadas e consolidadas na memória.

Por fim, e não menos importantes, as emoções também influenciam o aprendizado. Um ambiente de sala de aula positivo e autogestão emocional, são fundamentais para o convívio social e, conseqüentemente, para a aprendizagem. Por exemplo, um estudante que se sente seguro e bem emocionalmente em uma atividade tende a prestar mais atenção e a processar as informações de forma mais profunda, o que favorece a consolidação da memória. Em contraste, o estresse excessivo pode prejudicar a atenção e a capacidade de reter novas informações. Assim, a motivação e as emoções, embora com um domínio mais psicológico, atuam como incentivador ou como barreiras para a atenção, passando para o processamento executivo e, em última instância, para a formação de memórias duradouras.

Mesmo esses processos acontecendo em qualquer idade e sistema nervoso se alterando continuamente ao longo do tempo, o desenvolvimento se torna menos acelerado após a maturidade. De acordo com Lent (2010), a plasticidade se reduz, mas ainda está presente, sendo menos acentuada que a plasticidade da infância. com relação a neurogênese no adulto, embora a maioria dos neurônios na vida adultos seja incapaz de proliferar, regiões restritas do SNC, como o hipocampo, mantêm células-tronco que podem proliferar e gerar novos neurônios. Do mesmo modo que a alimentação adequada e o sono (consolidação das memórias) são fatores essenciais para a aprendizagem.

Dehaene (2022), um importante neurocientista cognitivista, em seu livro “É Assim Que Aprendemos” afirma que nosso cérebro funciona melhor do que qualquer máquina e que habilidades novas, como ler ou fazer cálculos, são adquiridas reciclando circuitos cerebrais que existiam desde o nascimento para funções diferentes (como visão e senso de quantidade). Será abordado mais à frente, mas por exemplo, o senso de quantidade ao perceber e processar magnitudes, ou seja, a quantidade de objetos em um conjunto, sem a necessidade de contagem formal, provoca na percepção visual aglomerados ou distinções entre mais e menos. Ao longo do desenvolvimento, é reciclado e adaptado para processar símbolos numéricos e operações

matemáticas mais complexas à medida que a criança aprende a matemática formal. Dessa forma, uma área cerebral que inicialmente ajudava a diferenciar, por exemplo, um grupo grande de maçãs de um grupo pequeno, passa a ser utilizada para entender que o número 5 representa uma quantidade maior que o número 3.

A partir disso, o autor destaca os quatro pilares da aprendizagem. Primeiro, a atenção (aspecto cognitivo) como crucial para selecionar informações relevantes. Em seguida, o envolvimento ativo (aspecto comportamental e cognitivo) que requer que o estudante esteja motivado por meio da curiosidade, permitindo que as informações sejam processadas em profundidade no cérebro. Em terceiro, a importância do “feedback de erros” que proporciona aprendizado quando o cérebro analisa a discrepância entre o que achou que entendeu e o que realmente aprendeu. Por fim, a consolidação (aspecto biológico/cognitivo) transforma o conhecimento, modificando as estruturas cerebrais como visto anteriormente.

Portanto, a premissa central da neurociência e educação é que o ato de aprender modifica fisicamente a estrutura do cérebro. Todos os nossos comportamentos e atividades mentais - desde as emoções mais intensas até o raciocínio mais complexo - surgem da atividade química e elétrica do sistema nervoso. Foi também essa capacidade de aprender e se adaptar, que garantiu ao ser humano um destino histórico, concedendo a habilidade de criar, transformar e construir uma história rica em ciência, cultura e tecnologia.

3.4 O QUE SABEMOS?

Um dos grandes nomes na área da aprendizagem matemática foi Jean Piaget (1896-1980). Um biólogo que desenvolveu a epistemologia genética (teoria da origem e desenvolvimento do conhecimento humano), defendendo que o conhecimento não é inato, mas que se constrói por meio da coordenação de ações e da interação com o ambiente. É amplamente reconhecido como um dos principais teóricos do desenvolvimento cognitivo das crianças e suas contribuições são referência para o processo de ensino-aprendizagem, incluindo o ensino da matemática, sendo frequentemente abordadas em cursos de formação de professores e em discussões sobre práticas pedagógicas inovadoras.

Para Piaget, as crianças passam por quatro estágios de desenvolvimento cognitivo (Rebouças; Oliveira; Bezerra, 2024): sensório-motor (0-2 anos), pré-operatório (2-7 anos), operatório concreto (7-11 anos) e operatório formal (a partir de 12 anos). De acordo com as fases do desenvolvimento cognitivo propostas por Piaget, o estágio operatório concreto é

considerado mais favorável ao ensino de matemática. Nesse período, a criança desenvolve a capacidade de realizar operações lógicas baseadas em objetos e situações concretas, permitindo compreender noções numéricas. Assim, o conhecimento lógico-matemático é construído a partir de ações do sujeito sobre os objetos e das relações que estabelece entre essas ações, constituindo-se como um saber de origem interna. Diferencia-se, portanto, do conhecimento físico e social, e fundamenta o desenvolvimento do raciocínio abstrato. Portanto, a matemática é vista como um sistema de operações reversíveis, coordenadas e equilibradas, em que a gênese no indivíduo ocorre pela construção de estruturas cognitivas. Ele sustentava que conceitos como número, medida, ordem e espaço emergem progressivamente por reorganizações estruturais da mente, não por simples acumulação de conhecimento.

Entretanto, o construtivismo de Piaget foi refutado cerca de vinte anos após as décadas de 1950, por experimentos que mostravam que os indivíduos possuíam uma intuição bem desenvolvida sobre números mesmo no primeiro ano de vida. Apesar disso, as conclusões de Piaget ainda têm um impacto considerável no sistema educacional, levando à crença de que a criança não está preparada para aritmética antes dos seis ou sete anos, o que pode desestimular o ensino de matemática e gera consequências consideráveis na vida de um indivíduo (Dehaene, 2011).

Em uma perspectiva neurocognitiva, o pesquisador Stanislas Dehaene dedicou-se a estudar as bases biológicas da aprendizagem da matemática. Seu principal objetivo era compreender as razões pelas quais a matemática é frequentemente percebida como uma disciplina difícil e se essa percepção reflete que o domínio dela seria restrito a um grupo seleto de indivíduos com uma espécie de aptidões únicas.

Para investigar essa questão, Dehaene ao longo de sua carreira utilizou metodologia de pesquisa rigorosa e diversificada com inúmeros estudos de neuroimagem ao utilizar a ressonância magnética funcional (fMRI) para observar atividade cerebral em tempo real enquanto os participantes realizavam tarefas matemáticas. Paralelamente, realizou experimentos comportamentais em diferentes estágios do desenvolvimento humano, desde a primeira infância até a idade adulta. Seus trabalhos buscaram, assim, oferecer respostas fundamentadas cientificamente sobre a natureza da matemática no ser humano, possibilitando encontrar as bases neurais e cognitivas da matemática.

Segundo Dehaene (2001), a aprendizagem matemática tem raízes biológicas e desenvolve-se por meio da interação entre a cultura e a experiência, integrando, pela educação

escolar, diferentes sistemas matemáticos da sociedade ao funcionamento do cérebro. Para o pesquisador, existe um senso numérico que é inato e ocorre através de um sistema precursor biológico de aritmética elementar, transmitido por herança genética. Este sistema é compartilhado por animais não-humanos, bebês, crianças em idade pré-escolar e adultos.

Sendo assim, a criança nasce com a capacidade de reconhecer representações de magnitude, o que lhe permite distinguir e estimar diferenças de tamanho e quantidade. Por outro lado, a matemática abstrata (matemática criada pela cultura), com seus símbolos e axiomas, é o resultado de milênios de evolução social (Nieder; Dehaene, 2009). Sua compreensão e domínio dependem fundamentalmente da aprendizagem e da interação com indivíduos que já possuem esse conhecimento. Essa interação e o processo de ensino-aprendizagem estimulam a formação de circuitos neurais mais especializados. Embora esses circuitos possam ser baseados em estruturas cerebrais preexistentes, eles se aprimoram e se adaptam conforme a matemática abstrata é ensinada e praticada, ligando-se e construindo sobre esses circuitos neurais já existentes que nos dão a intuição direta sobre o que os números significam (Nieder; Dehaene, 2009). A partir disso, Dehaene e Cohen (1995) propuseram o modelo do código triplo, que representa as três principais estruturas cerebrais fundamentais para o conhecimento matemático.

Tabela 1.
Modelo do Código triplo

Estrutura Cerebral	Representação/Código	Conhecimento Processado
Sulco Intraparietal (IPS)	Quantidade (Analogico)	Compreensão intuitiva e abstrata de quantidades (magnitudes) e a linha numérica mental. Essencial para a aproximação e subtração.
Giro Angular Esquerdo / Áreas de Linguagem	Verbal	Fatos aritméticos memorizados por repetição verbal (ex: tabuada). A atividade aumenta com o domínio progressivo de fatos matemáticos.
Áreas Visuais / Occipitotemporais	Visual (Arábico)	Representação de numerais (1, 2, 3) e símbolos (+, -).

Além dessas, outras estruturas também exercem papéis importantes ao longo da comunicação e do desenvolvimento das redes neurais relacionadas à matemática. O córtex pré-frontal (CPF) é crucial para os processos matemáticos mais avançados, como o cálculo e a álgebra, atuando na coordenação da atividade de redes distribuídas, no gerenciamento da

memória de trabalho e na correção de erros. O hipocampo, por sua vez, fortalece a conectividade funcional com o IPS e o CPF, associando-se à aquisição de novos conhecimentos matemáticos e às estratégias de recuperação para a memória de longo prazo. Já a ínsula é ativada em crianças durante tarefas de cálculo, sugerindo um papel na motivação intrínseca e na integração de processos cognitivos.

Deste modo, Dehaene reconhece que o sistema inato, embora útil para estimativas básicas, revelou-se insuficiente para as demandas crescentes de civilizações complexas que necessitavam de medições precisas, contabilidade detalhada e cálculos sofisticados. Portanto, Piaget e Dehaene concordam que aprendizagem também leva em consideração aspectos culturais que permitiram que a humanidade desenvolvesse seu conhecimento a partir do seu ambiente, abrindo caminho para avanços científicos e tecnológicos sem precedentes.

3.5 CIÊNCIA PARA EDUCAÇÃO

A educação baseada em evidências (EBE), é uma abordagem que propõe que decisões pedagógicas, políticas educacionais e práticas em sala de aula sejam fundamentadas em pesquisas científicas rigorosas. O objetivo central é aprimorar a qualidade do ensino e da aprendizagem por meio da adoção de métodos e intervenções comprovadas cientificamente, advindo de diversas fontes, como: observação, experiência pessoal, testemunho, artefatos, documentos ou arquivos, e diferentes tipos de pesquisa (Davies; Thomas; Pring, 2007).

Isso não implica negligenciar outros campos da educação básica, como a cultura e a arte, mas propor que a educação seja vista e pautada também em evidências científicas. A proposta não é considerar a escola como um mero objeto de pesquisa, mas sim o ponto de partida, o percurso e o desenvolvimento da pesquisa no ensino-aprendizagem, configurando-se também como um espaço de descobertas e experimentações para os alunos, professores e comunidade escolar. Por exemplo, os Colégios de Aplicação são vinculados às universidades públicas, sendo reconhecidos como referências educacionais na rede pública em seus Estados por estarem vinculadas às universidades públicas que possuem propostas associadas à pesquisa em educação nesses espaços escolares.

Para tanto, a implementação da EBE exige a formação de professores e gestores capazes de interpretar e utilizar resultados de pesquisas, além de promover uma cultura de avaliação contínua das práticas pedagógicas (Do Rosário; Diniz, 2009). Um outro ponto importante, é a necessidade de contextualizar as evidências para diferentes realidades

escolares e a importância de considerar a experiência dos educadores e as necessidades dos alunos, integrando a pesquisa, experiência profissional e valores dos estudantes (Davies; Thomas; Pring, 2007; Slavin; Cheung; Zhuang, 2021).

Além disso, Thomas e Gary (2004) afirmam que a EBE só é possível se educadores, pesquisadores do campo da educação e gestores de políticas públicas estiverem trabalhando juntos e comprometidos com o sistema educacional. Ou seja, sem essa articulação a educação fica desarticulada e fragmentada, com cada parte tomando suas decisões baseadas em seus interesses.

Nessa perspectiva, a neurociência cognitiva enriquece a ciência da educação ao estabelecer uma conexão entre as descobertas sobre o funcionamento do cérebro e a prática pedagógica, especificamente, na relação entre educação, neurociência e psicologia, resultando na neurociência educacional (Amaral; Guerra, 2022). No contexto brasileiro, destaca-se a necessidade de investir em formação avançada de professores e em pesquisas educacionais multidisciplinares para romper barreiras entre especialidades (psicologia, biologia, filosofia, sociologia, etc.) e metodologias de ensino ineficazes que atrasam o desenvolvimento das crianças e adolescentes (Do Rosário; Diniz, 2009). Logo, a neurociência e a educação oferecem mais um campo de investigação comprometido com as evidências científicas ao integrar com tantas outras áreas de conhecimentos dedicadas a entender a educação, especialmente no que tange aos processos de aprendizagem da matemática, buscando melhorar as práticas pedagógicas com base em como o cérebro realmente aprende.

4 DA EVIDÊNCIA AO CONHECIMENTO

4.1 CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA

Para proporcionar uma síntese do conhecimento existente por meio de evidências científicas sobre os processos neurocognitivos envolvidos na aprendizagem matemática em crianças e adultos, foi realizado uma revisão integrativa, pois como afirma Souza, Silva e Carvalho:

A revisão integrativa, finalmente, é a mais ampla abordagem metodológica referente às revisões, permitindo a inclusão de estudos experimentais e não-experimentais para uma compreensão completa do fenômeno analisado. Combina também dados da literatura teórica e empírica, além de incorporar um vasto leque de propósitos: definição de conceitos, revisão de teorias e evidências, e análise de problemas metodológicos de um tópico particular (2010, p. 102).

Nesse sentido, o método escolhido oferece transparência para monografia em um estudo significativo para educação, seguindo um protocolo científico adequado para responder a pergunta de pesquisa e manter alinhamento com o objetivo. Para isso, foram seguidas as seguintes etapas da revisão integrativa: identificação do tema e seleção da questão de pesquisa, estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão, categorização dos estudos selecionados, análise e interpretação dos resultados e apresentação da revisão/síntese do conhecimento. (Souza; Silva; Carvalho, 2010).

Na organização, foram utilizadas a planilha do Google Sheets e as ferramentas de inteligência artificial SciSpace, Perplexity e Notebook LM. A utilização combinada da inteligência artificial possibilitou uma organização mais eficiente e criteriosa das informações, favorecendo a visualização integrada dos resultados.

Como informado ao longo do texto, esse estudo tem como tema o campo da neurociência e educação, especificamente os processos neurocognitivos da aprendizagem matemática em crianças e adultos em educação

4.2 ESTRATÉGIA DE BUSCA E SELEÇÃO

A busca dos artigos foi realizada nas bases de dados Scopus e Periódicos CAPES. A Scopus por sua abrangência internacional devido a diversidade de revistas de periódicos científicos indexados, que contemplam áreas da saúde e das ciências humanas. E a Periódicos CAPES, por representar o principal repositório brasileiro de publicações acadêmicas em várias áreas do conhecimento.

A adoção dessas duas fontes (Tabela 2) visou reunir e relacionar evidências de artigos de periódicos nacionais e internacionais, permitindo mapear o conhecimento em busca avançada com artigos abertos e fechados, produzidos no período de 2014 a 2024, sendo em inglês para Scopus e em português para CAPES.

Tabela 2.
Protocolo de Busca e Seleção

OBJETIVO	Identificar a partir de evidências neurocientíficas, os mecanismos neurocognitivos envolvidos na aquisição de conhecimento matemático em crianças e adultos.
PALAVRAS-CHAVES	Neurociência; Matemática; Aprendizagem; Educação; Sala de Aula.
BASES DE DADOS PESQUISADAS	Scopus; Portal de Periódicos da CAPES.
CRITÉRIOS DE INCLUSÃO	- Artigo científico - Revisado por pares - Português - Inglês
CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO	- Não abordar matemática; - Fora do âmbito educacional - Transtornos neuropsiquiátricos
RECORTE TEMPORAL	2014-2024

Para além de serem publicados nos últimos dez anos, os critérios de inclusão considerados foram artigos científicos revisados por pares aplicado no filtro da base da pesquisa, disponíveis em português pela CAPES ou inglês na Scopus, com foco na neurociência da aprendizagem matemática em contextos educacionais com crianças ou com adultos.

Os critérios de exclusão continham publicações fora dos idiomas selecionados, estudos de outros campos da neurociência da aprendizagem sem relação com o ensino da matemática, pesquisas conduzidas com crianças ou adultos com transtornos neuropsiquiátricos ou deficiências que compromettesse os processos típicos de aprendizagem.

A estratégia de busca empregada em cada base (Tabela 3), foi primeiramente inserida na plataforma Scopus, os descritores inseridos estavam em inglês e a seleção foi realizada inicialmente pela leitura do título, resumo e palavras-chave. Na CAPES, por sua vez, apenas dois termos foram necessários na busca devido aos poucos artigos que combinam esses dois campos, sendo selecionados apenas produções nacionais em português.

Tabela 3.
Estratégia de Busca

Scopus	
População	child*" OR "adult*
Interesse	"math*" OR "numeracy" OR "number*" OR "numerical competence" OR "math* cognition" OR "math* concepts" OR "calculation skills" OR "calculation" OR "logical reasoning" OR "numerical understanding"
Contexto	"classroom" OR "primary education" OR "secondary education" OR "basic education" OR "education"
Resultado	"neuroscience" OR "cognitive neuroscience" OR "educational neuroscience" OR "neuroscience of learning"
Não conter	"disorder*" OR "neurodivergent" OR "neuroatypical" OR "dyscalculia" OR "autism"

CAPES	
Interesse	“Neurociência” e “Matemática”

4.3 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

A sistematização dos artigos selecionados foi realizada por meio de planilhas no *Google Sheets*, contendo um código de identificação (ID) e dados como autor, ano, título, objetivo, participantes, metodologia, resultados e limitações. Essa organização facilitou a construção da tabela de caracterização dos estudos selecionados.

Após a organização dos dados, conforme descrito anteriormente, a etapa seguinte consistiu na interpretação dos resultados dos estudos selecionados. Essa interpretação ocorreu com a leitura individual de cada estudo para síntese e achados principais, no entanto, o foco desta pesquisa não reside na descrição individual ou na análise de dados de cada artigo, mas nos resultados e comparação entre eles. Portanto, a análise da categoria identificada focou no grupo etário de acordo com objetivo. Estudos sem especificação etária, mas que contribuem para a análise da aprendizagem matemática foram analisados e comparados separadamente.

Com isso, a abordagem narrativa permitiu integrar as diferentes metodologias, construindo uma visão abrangente sobre a aprendizagem matemática a partir da neurociência, sem reanálise dos dados originais. Essa comparação foi fundamental para mapear padrões

relacionados ao desenvolvimento neurocognitivo de crianças e adultos, um dos objetivos centrais do estudo.

Embora os estudos incluídos na revisão pudessem apresentar metodologias qualitativas, quantitativas ou mistas em suas origens, a abordagem de análise nesta revisão visou integrar e sintetizar os achados de diferentes tipos de pesquisa. Isso significa que, independentemente da metodologia do estudo original, os resultados foram interpretados e discutidos de forma a construir uma narrativa coerente sobre o fenômeno da aprendizagem matemática. A síntese buscou extrair os dados relevantes de cada estudo para compor um panorama abrangente do estado da arte na área, sem aprofundar na reanálise dos dados brutos dos artigos.

Assim, este método permitiu descrever e interpretar as evidências de forma textual e integrada, sem a necessidade de análises estatísticas complexas dos dados dos estudos originais. A síntese narrativa focou em identificar as principais regiões cerebrais envolvidas, os processos cognitivos fundamentais e as implicações desses achados em diferentes fases da vida e para a prática educacional, respondendo assim aos objetivos da pesquisa.

5 O CÉREBRO MATEMÁTICO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS SELECIONADOS

Os resultados encontrados para seleção (Figura 5) foi um total de 118 artigos provenientes das bases de dados Scopus (86) e CAPES (32). Após a triagem por título e resumo, foram excluídos 66 estudos da Scopus e 17 da CAPES, restando 20 e 15 registros, respectivamente, para leitura completa. Na etapa seguinte, a leitura integral dos textos resultou na exclusão de mais 10 e 5 estudos de cada base por não corresponder ao objetivo da pesquisa. Por fim, foram selecionados 10 estudos de cada base, totalizando 20 artigos incluídos na análise final da revisão integrativa.

Os 20 estudos incluídos nesta revisão foram caracterizados e sistematizados para permitir comparações diretas dos achados relevantes para o ensino da matemática. A Tabela 4 sintetiza para cada estudo: autoria e ano, título, objetivo, participantes, metodologia, resultados e limitações, oferecendo um panorama completo dos achados.

A seleção desses campos visa identificar o tipo de evidência disponível a partir dos resultados apresentados.

A tabela 3 evidencia lacunas em contextos educacionais específicos, como a escassez de estudos nacionais e de longo prazo. Essas tendências serão aprofundadas na seção de Discussão, onde serão analisadas criticamente as convergências, divergências e implicações para a prática educacional, bem como as limitações e sugestões para futuras pesquisas.

Outro ponto a ressaltar, é com relação às metodologias, há um equilíbrio entre abordagens experimentais em laboratório (como fMRI e fNIRS), estudos de intervenção em sala de aula e revisões bibliográficas, indicando uma diversidade de métodos para investigar a relação entre neurociência e ensino da matemática.

5.2 CATEGORIAS TEMÁTICAS IDENTIFICADAS

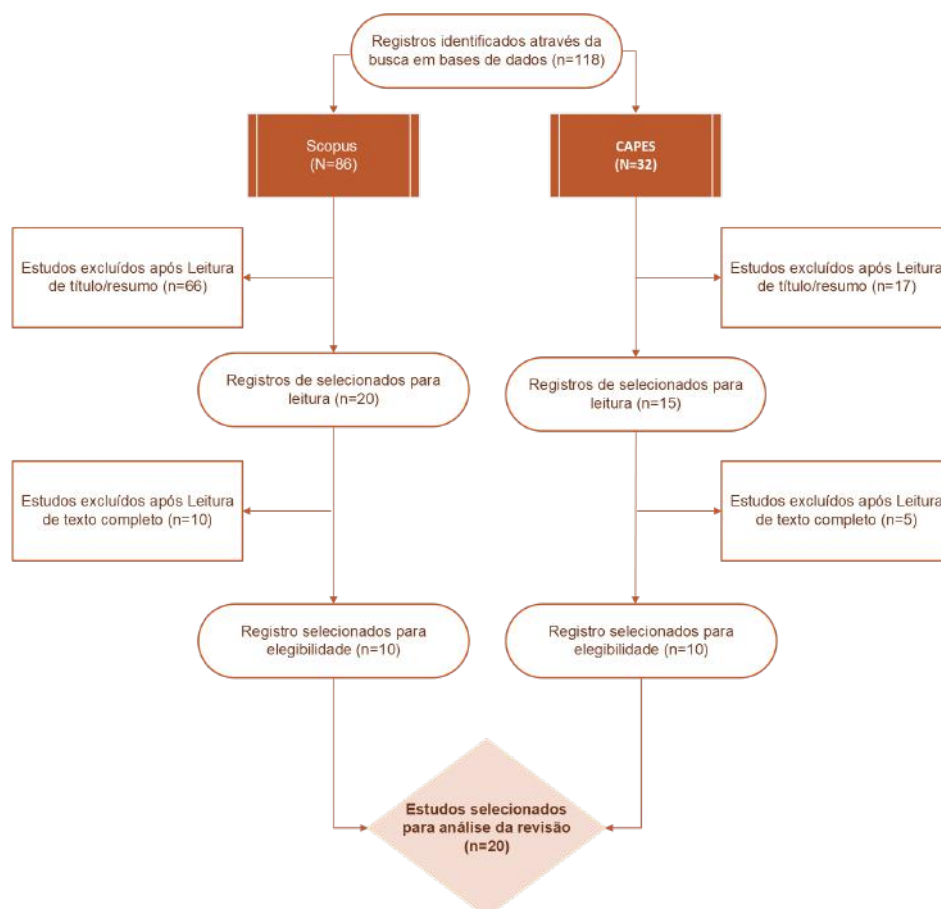


Figura 5. Fluxograma do processo de revisão integrativa.

Os artigos selecionados têm tendências claras na distribuição por faixa etária, com uma predominância de pesquisas focadas em crianças (6-9 anos) e jovens (10-14 anos), entretanto estudos com adultos são minoria para a compreensão do tema ao longo do desenvolvimento.

Os estudos foram comparados dentro do seu grupo etário de acordo com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação (1996) que define para cada fase da educação básica o regime seriado por idade no país. Sendo assim, a Educação Infantil dividida em creche (0-3 anos) e pré-escola (4-5 anos), Ensino Fundamental dividido em I (6-9 anos) e II (10-14 anos), Ensino Médio (15-18 anos), Ensino Superior não tem uma data especificada. Já para Educação de Jovens Adultos (EJA) o Ensino Fundamental seria a partir dos 15 anos e o Ensino Médio na modalidade a partir dos 18 anos. Portanto, o agrupamento dos estudos ficaram da seguinte maneira para análise:

Tabela 4.
Temáticas identificadas

Faixa Etária	Artigos (Título e Referência)	Grupo
Creche e Pré-escola (0-5 anos)	“Pensando na Frente”, projeto de estimulação cognitiva da matemática por meio da musicalização (Rozal et. al.,2019). O desenvolvimento da Cognição Numérica: compreensão necessária para o professor que ensina Matemática na Educação Infantil (Sanchez Júnior e Blanco, 2018).	EDUCAÇÃO INFANTIL
Pré-escola (3–4 anos)	Let's Talk About Maths: The Role of Observed "Maths-Talk" and Maths Provisions in Preschoolers' Numeracy. (von Spreckelsen et al., 2019)	
Fundamental 1 (6-9 anos)	Hitting the Target: Mathematical Attainment in Children Is Related to Interceptive-Timing Ability. (Giles, et al.. 2018). Informing the design of a multisensory learning environment for elementary mathematics learning (Cuturi et. al., 2021). Domain-Specific Inhibitory Control Training to Improve Children's Learning of Counterintuitive Concepts in Mathematics and Science (Wilkinson et al., 2019).	EDUCAÇÃO FUNDAMENTAL
Fundamental 2 (10-14 anos)	Student's Perspective and Teachers' Metacognition: Applications of Eye-Tracking in Education and Scientific Research in Schools (da Silva, 2021). Distributed Neural Representations of Logical Arguments in School-Age Children (Mathieu et al., 2014). Neuroanatomical correlates of performance in a state- wide test of math achievement (Wilkey et. al., 2017). Resolução de problemas por meio do ensino híbrido: relacionando neurociência e aprendizagem matemática (Moraes e Barreto, 2022). Reflexões neurocognitivas no desenvolvimento das noções de sólidos geométricos no 7º ano do ensino fundamental (Santos et. al., 2021). Aprendizagem matemática com jogos digitais online: um estudo fundamentado a partir da Neurociência (da Silva e Scheffer, 2019). O jogo digital on-line e as funções cognitivas de atenção e memória em Matemática: um estudo em neurociências (da Silva e Scheffer, 2019).	
Adultos	Cortical Activations During a Computer-Based Fraction Learning Game: Preliminary Results from a Pilot Study (Baker et al., 2015). Operation-Specific Lexical Consistency Effect in Fronto-Insular-Parietal Network During Word Problem Solving (Ng, Lung & Chang, 2021). Formação de professores: um diálogo à luz da Andragogia e da neurociência do aprendizado (Borges et. al., 2015).	ENSINO DE JOVENS E ADULTOS

Sem delimitação	A Neurociência e a História das Frações (Manoel de Campos Almeida, 2020). Neurociência, História da Matemática e Música: Conexões Interdisciplinares (Manoel de Campos Almeida, 2020). Aprendizagem em matemática, aprendizagem significativa e neurociência na educação: dialogando aproximações teóricas (Rozal et. al., 2017). Neuroscientific studies of mathematical thinking and learning: a critical look from a mathematics education viewpoint (Verschaffel et. al., 2016)	REVISÕES
-----------------	---	-----------------

A maior concentração de estudos está no Ensino Fundamental, com o Fundamental 2, que reúne 7 dos 10 artigos dessa etapa: *Student's Perspective and Teachers' Metacognition: Applications of Eye-Tracking in Education and Scientific Research in Schools* (da Silva, 2021); *Distributed Neural Representations of Logical Arguments in School-Age Children* (Mathieu et al., 2014); *Neuroanatomical correlates of performance in a state- wide test of math achievement* (Wilkey et. al., 2017); Resolução de problemas por meio do ensino híbrido: relacionando neurociência e aprendizagem matemática (Moraes e Barreto, 2022); Reflexões neurocognitivas no desenvolvimento das noções de sólidos geométricos no 7º ano do ensino fundamental (Santos et. al., 2021); Aprendizagem matemática com jogos digitais online: um estudo fundamentado a partir da Neurociência (da Silva e Scheffer, 2019); O jogo digital on-line e as funções cognitivas de atenção e memória em Matemática: um estudo em neurociências (da Silva e Scheffer, 2019). No Fundamental 1 são os três: *Hitting the Target: Mathematical Attainment in Children Is Related to Interceptive-Timing Ability*. (Giles, et al., 2018); *Informing the design of a multisensory learning environment for elementary mathematics learning* (Cuturi et. al., 2021); *Domain-Specific Inhibitory Control Training to Improve Children's Learning of Counterintuitive Concepts in Mathematics and Science* (Wilkinson et al., 2019).

Essa predominância sugere que há um interesse significativo da comunidade científica em investigar os processos neurocognitivos da aprendizagem matemática durante os anos escolares em que os alunos consolidam habilidades mais complexas.

A Educação Infantil aparece com 3 artigos: “Pensando na Frente”, projeto de estimulação cognitiva da matemática por meio da musicalização (Rozal et. al., 2019); O desenvolvimento da Cognição Numérica: compreensão necessária para o professor que ensina Matemática na Educação Infantil (Sanchez Júnior e Blanco, 2018); *Let's Talk About Maths:*

The Role of Observed "Maths-Talk" and Maths Provisions in Preschoolers' Numeracy (von Spreckelsen et al., 2019); O desenvolvimento da Cognição Numérica: compreensão necessária para o professor que ensina Matemática na Educação Infantil (Sanchez Júnior e Blanco, 2018).

No grupo de Ensino Superior e EJA conta com 3 estudos voltados à formação docente e ao uso de tecnologias educacionais com adultos, são eles: *Cortical Activations During a Computer-Based Fraction Learning Game: Preliminary Results from a Pilot Study* (Baker et al., 2015). *Operation-Specific Lexical Consistency Effect in Fronto-Insular-Parietal Network During Word Problem Solving* (Ng, Lung & Chang, 2021). Formação de professores: um diálogo à luz da Andragogia e da neurociência do aprendizado (Borges et. al., 2015).

5.3 O QUE A NEUROCIÊNCIA DIZ?

Nos estudos encontrados tem como resultados importantes indicadores de diversas áreas cerebrais que trabalham juntas nesse processo. Os principais achados são a região parietal, circuito fronto-parietal e funções executivas. A região parietal é onde fica localizado o lobo parietal, uma das quatro principais divisões do cérebro, com destaque ao sulco parietal superior e o giro angular esquerdo. Essas áreas estão ligadas à forma como lidamos com quantidades e como integramos o espaço (visualização) com o significado dos números.

O Circuito fronto-parietal atua como um centro de comando para a atenção e a resolução de problemas, como também a ínsula que ajuda a integrar informações e a reagir a situações complexas. Quando há dificuldades em problemas de linguagem relacionados à matemática, essa rede (fronto-insular-parietal) é ativada de forma diferente, dependendo da experiência de cada pessoa, mostrando a ligação entre linguagem, atenção e a capacidade de usar símbolos na matemática. Além disso, em crianças, o giro frontal inferior esquerdo é fundamental para o raciocínio lógico verbal, sugerindo que a matemática na escola utiliza diferentes caminhos de processamento (visuais e verbais).

As funções executivas são a atenção, a memória de trabalho (capacidade de manter e manipular informações por um curto período) e o controle inibitório (capacidade de ignorar distrações ou respostas automáticas) são cruciais para a aprendizagem da matemática. Treinar o controle inibitório, por exemplo, pode melhorar o raciocínio em ciências e em situações que desafiam a intuição, principalmente em crianças mais novas.

Além disso, muitos dos desenhos experimentais e revisões teóricas tiveram como foco

a utilização de jogos online na aprendizagem matemática, especificamente os digitais, como ferramentas pedagógicas. É possível sugerir que tais jogos são eficazes para estimular diversas funções cognitivas essenciais, como a atenção, a memória de trabalho e o engajamento dos estudantes. Portanto, a interatividade e o caráter lúdico dos jogos digitais podem criar um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e motivador, facilitando a aprendizagem de conteúdos que, de outra forma, poderiam ser considerados muito mais desafiadores ou abstratos.

Tabela 5.
Caracterização dos Estudos Seleccionados (2014-2024)

Base Indexada	Autor(es) e Ano	Título	Objetivo	Participantes	Metodologia	Resultados	Limitações
Scopus	Chan-Tat Ng, Tzu-Chen Lung e Ting-Ting Chang (2021).	Operation-Specific Lexical Consistency Effect in Fronto-Insular-Parietal Network During Word Problem Solving.	Investigar o efeito da consistência lexical em problemas matemáticos verbais.	36 adultos (20-29 anos).	fMRI para analisar a resolução de problemas com palavras, variando consistência lexical (consistente/inconsistente) e operação aritmética. Também incluiu uma tarefa comportamental externa.	Problemas inconsistentes ativam a rede fronto-insular-parietal para adição, enquanto na consistência foi inverso para subtração. Isso é mais evidente em quem tem menos experiência em resolver problemas.	Apenas adultos em contexto de laboratório.
Scopus	Eric D. Wilkey, Laurie E. Cutting e Gavin R. Price. (2017)	Neuroanatomical correlates of performance in a state- wide test of math achievement.	Correlacionar estruturas cerebrais com desempenho em teste estadual de matemática.	49 crianças (10-14 anos).	Analisou o volume da massa cinzenta (GM). Modelos de regressão linear para investigar a relação entre o volume de GM e os teste de matemática controlando idade, sexo, volume cerebral e leitura. Também incluiu uma análise de divisão mediana por nível de série.	Maior volume no giro angular esquerdo associado ao melhor desempenho matemático.	Não inclui intervenção, não avalia fatores ambientais.
Scopus	Hannah R. Wilkinson, Claire Smid, Su Morris et. al. (2019)	Domain-Specific Inhibitory Control Training to Improve Children's Learning of Counterintuitive Concepts in Mathematics and Science.	Avaliar a relação entre controle inibitório (CI) e raciocínio contraintuitivo, e testar uma intervenção computadorizada em sala de aula.	627 crianças (7-10 anos) .	Análises transversais e avaliação de uma intervenção computadorizada (liderada pelo professor/ liderada pelo aluno). Avaliou o raciocínio contraintuitivo, o desempenho acadêmico e o controle inibitório usando avaliações pré e	A intervenção melhorou o raciocínio contraintuitivo e o desempenho em ciências, mas não em matemática, e apenas nas crianças mais novas (7-8 anos).	Curto prazo, contexto escolar específico, dependência de tecnologia.

					pós-intervenção (ANCOVAs).		
Scopus	Joseph M. Baker, Taylor Martin, Ani Aghababayan et al. (2015)	Cortical Activations During a Computer-Based Fraction Learning Game: Preliminary Results from a Pilot Study.	Investigar ativações corticais durante a aprendizagem de frações em jogo digital.	10 estudantes universitários. Não informa a idade.	fNIRS para observar a ativação cerebral em jogo de frações, tarefa espacial e tarefa matemática. Análise da quantidade de hemoglobina oxigenada.	Ativação parietal durante tarefas de fração e no jogo; padrões semelhantes aos de tarefas matemáticas tradicionais.	Amostra pequena, apenas adultos, estudo piloto.
Scopus	Lieven Verschaffel, Erno Lehtinen e Wim Van Dooren. (2016)	Neuroscientific studies of mathematical thinking and learning: a critical look from a mathematics education viewpoint.	Analisar criticamente estudos neurocientíficos sobre pensamento/aprendizagem matemática.	Revisão de literatura.	Comentário/revisão que analisa e discute vários estudos neurocientíficos sobre o pensamento e a aprendizagem matemática.	Avanços na compreensão neural, mas limitações na aplicação direta à prática escolar; necessidade de integração interdisciplinar.	Revisão narrativa, não apresenta dados empíricos próprios.
Scopus	Luigi F. Cuturi, Giulia Cappagli, Nikoleta Yiannoutsou, Sara Price e Monica Gori. (2021)	Informing the design of a multisensory learning environment for elementary mathematics learning.	Informar um modelo de ambiente multissensorial para aprendizagem matemática	101 professores de ensino fundamental; 20 crianças (6–11 anos).	Questionários feitos por professores sobre dificuldades de aprendizagem e uso de modalidades sensoriais e workshops participativos. Incluiu uma avaliação de usuário de um protótipo de jogo multissensorial "Space Shapes" que explora informações visuais e por tato.	Ambientes multissensoriais melhoram raciocínio espacial e engajamento; aceitação depende do envolvimento docente.	Estudo exploratório, foco em aceitação e percepção, não mede aprendizagem a longo prazo.

Scopus	Megan von Spreckelsen, Emma Dove, Ilse Coolen, Annelot Mills et al. (2019)	Let's Talk About Maths: The Role of Observed "Maths-Talk" and Maths Provisions in Preschoolers' Numeracy.	Examinar a relação de qualidade de conversa matemática entre alunos e docentes; recursos físicos; displays visuais disponíveis e numeracia infantil.	208 crianças de 3–4 anos e 51 educadores observados/entrevistados.	Entrevistas semiestruturadas com educadores e observações em sala de aula. Avaliação da relação entre linguagem matemática dos educadores, recursos matemáticos disponíveis e habilidades de numeramento das crianças.	A amplitude (variação) da linguagem matemática dos educadores previu positivamente as habilidades de cardinalidade das crianças; recursos físicos e displays visuais disponíveis isoladas, não explicam desempenho	A medida de amplitude da linguagem não capturou sua frequência ou volume. O status socioeconômico (SES) parental, um potencial fator de confusão, não foi controlado.
Scopus	Oscar T. Giles, Katy A. Shire, Liam J. B. Hill et al. (2018)	Hitting the Target: Mathematical Attainment in Children Is Related to Interceptive-Timing Ability.	Relacionar habilidade de temporização interceptiva ao desempenho matemático.	309 crianças (6–11 anos).	Realizar uma tarefa de tempo de interceptação com alvo móvel, testes de habilidades manual e controle postural. Foi utilizado regressão proibit ordenada e técnicas de estimação Bayesiana para habilidade matemática prevista a partir do tempo de interceptação da tarefa, controlando idade, leitura e escrita.	Precisão e estabilidade temporal correlacionam-se com melhor desempenho matemático.	Não estabelece causalidade, fatores contextuais não controlados.
Scopus	Raimundo da Silva Soares Jr., Katerina Lukasova, Maria Teresa Carthery-Goulart e João Ricardo Sato. (2021)	Student's Perspective and Teachers' Metacognition: Applications of Eye-Tracking in Education and Scientific Research in Schools.	Explorar uso de eye-tracking para análise de atenção e metacognição docente em matemática.	19 alunos (9-11 anos) e 10 professores.	Estudo de Eye-Tracking (ET) com seis problemas matemáticos de múltipla escolha. Os dados foram analisados e visualizados como mapas de calor. Professores entrevistados para analisar sua percepção e interpretação com os vídeos de ET dos alunos, respondendo a um questionário.	Professores conseguem inferir estratégias e dificuldades dos alunos a partir dos padrões de olhar; Eye-Tracking favorece a reflexão docente.	Amostra pequena, estudo ilustrativo, não mede impacto direto na aprendizagem dos alunos.

Scopus	Romain Mathieu, James R. Booth e Jérôme Prado. (2014)	Distributed Neural Representations of Logical Arguments in School-Age Children.	Analisar redes neurais envolvidas em raciocínio lógico em crianças e adultos	25 crianças (9-14 anos).	fMRI utilizado para medir a atividade cerebral de crianças, enquanto avaliavam a validade de argumentos lógicos. Foram utilizadas tarefas de localização independentes para identificar regiões envolvidas no processamento verbal e espacial.	Crianças ativaram redes do sulco parietal superior (redes espaciais) e giro frontal inferior esquerdo (redes verbais), independentemente da idade.	Amostra limitada, tarefa específica, generalização restrita
CAPES	Edilene Farias Rozal, Ednilson Sergio Ramalho de Souza e Neuma Teixeira dos Santos. (2017)	Aprendizagem em matemática, aprendizagem significativa e neurociência na educação: dialogando aproximações teóricas.	Relacionar aprendizagem significativa, neurociência e ensino da matemática.	Revisão bibliográfica.	Produções científicas nacionais e internacionais.	Aproximações teóricas fundamentam práticas inovadoras e reflexivas no ensino de matemática.	Ausência de pesquisa empírica ou aplicação prática.
CAPES	Herica Cambraia Gomes, Simone Martins Nazareth Borges et al. (2019)	“Pensando na Frente”, projeto de estimulação cognitiva da matemática por meio da musicalização.	Estimular o desenvolvimento cognitivo matemático por meio da musicalização desde a infância.	Nº de crianças não especificado (6 meses - 3 anos).	Observação de aulas, registros fotográficos e filmagens.	Musicalização promove contagem, percepção sonora, memorização numérica e escuta atenta, fortalecendo estruturas cognitivas matemáticas.	Não informa o número dos participantes, resultados parciais, análise restrita ao início do projeto.
CAPES	Manoel de Campos Almeida. (2020)	A Neurociência e a História das Frações.	Discutir a história das frações e sua relação com a neurociência do aprendizado matemático.	Revisão bibliográfica.	Livros didáticos, artigos científicos, textos especializados.	Dificuldades em frações relacionam-se à comparação de magnitudes; integração histórica e neurocientífica é chave.	Não realiza estudo experimental ou de campo.

CAPES	Manoel de Campos Almeida. (2021)	Neurociência, História da Matemática e Música: Conexões Interdisciplinares.	Explorar conexões entre neurociência, história da matemática e música.	Revisão bibliográfica.	Literatura interdisciplinar (matemática, música, neurociência).	Processos cognitivos similares em matemática e música; interdisciplinaridade amplia competências cognitivas.	Discussão teórica, sem aplicação em contexto escolar específico.
CAPES	Márcio Ponciano dos Santos, Laerte Silva da Fonseca et al. (2021)	Reflexões neurocognitivas no desenvolvimento das noções de sólidos geométricos no 7º ano do ensino fundamental.	Analisar o uso de recursos didáticos manipuláveis no ensino de sólidos geométricos e memória de longo prazo.	22 alunos (não informa a idade das crianças).	Atividades práticas com recursos didáticos manipuláveis (RDM) como jujubas e palitos, junto com análise de livro didático.	Recursos concretos potencializam a memória de longo prazo e a compreensão de conceitos geométricos.	Não informa a idade das crianças, amostra pequena, ausência de avaliação longitudinal.
CAPES	Maria Ursulla Jurema Borges, Aldicea Craveiro de Lima Ferreira et. al. (2015)	Formação de professores: um diálogo à luz da Andragogia e da neurociência do aprendizado.	Discutir a formação de professores à luz da andragogia e neurociência do aprendizado.	Revisão bibliográfica. (Adultos)	Literatura acadêmica nacional e internacional.	Integração entre andragogia e neurociência contribui para práticas docentes mais eficazes e reflexivas	Falta de aplicação empírica direta.
CAPES	Juliana Marcondes de Moraes e Maria Auxiliadora Motta Barreto. (2022)	Resolução de problemas por meio do ensino híbrido: relacionando neurociência e aprendizagem matemática.	Investigar o impacto do ensino híbrido baseado em neurociência na resolução de problemas matemáticos.	29 alunos (10-11 anos).	Testes matemáticos, observação participante, entrevistas semiestruturadas.	Ensino híbrido com rotação de estações estimula funções executivas, engajamento e aprendizagem significativa em matemática.	Amostra restrita a uma turma; resultados não generalizáveis sem replicação.
CAPES	Sidney Lopes Sanchez Júnior e Marília Bazan Blanco. (2018)	O desenvolvimento da Cognição Numérica: compreensão necessária para o professor que ensina Matemática na Educação Infantil.	Analisar a cognição numérica e sua importância para professores da Educação Infantil.	Revisão bibliográfica. (Educação Infantil)	Literatura científica sobre cognição numérica, neurociência e educação infantil.	A cognição numérica é gradualmente construída, e professores informados propõem práticas pedagógicas mais eficazes.	Não envolve estudo empírico com crianças ou professores.

CAPES	Sindia Liliane Demartini da Silva e Nilce Fátima Scheffer. (2019)	Aprendizagem matemática com jogos digitais online: um estudo fundamentado a partir da Neurociência.	Investigar o impacto de jogos digitais online na aprendizagem matemática fundamentada na neurociência	Não informa a quantidade de participantes e a idade.	Aplicação de jogos digitais, observação, entrevistas	Jogos digitais promovem engajamento, atenção e memória, facilitando a compreensão de conceitos matemáticos.	Não informa a idade e número de participantes, não detalha análise quantitativa dos resultados.
CAPES	Sindia Liliane Demartini da Silva, Nilce Fatima Scheffer. (2019)	O jogo digital on-line e as funções cognitivas de atenção e memória em Matemática: um estudo em neurociências.	Avaliar efeitos de jogos digitais on-line nas funções cognitivas de atenção e memória em matemática.	Não informa a quantidade de participantes e a idade.	Aplicação de jogos digitais, observação, análise de interações.	Jogos digitais mantêm atenção sensorial/mental, estimulam a memória de trabalho e consolidação de memória permanente.	Não informa a idade e número de participantes, não detalha extensão temporal da intervenção nem análise quantitativa de desempenho.

6 CONEXÕES QUE CONTAM

6.1 EDUCAÇÃO INFANTIL

Os três artigos encontrados relacionados a Educação Infantil que exploram o desenvolvimento da cognição numérica em bebês sob diferentes perspectivas, são eles: “*Let's Talk About Maths: The Role of Observed "Maths-Talk" and Maths Provisions in Preschools Numeracy*”¹ (von Spreckelsen et al.); “Pensando na Frente”, projeto de estimulação cognitiva da matemática por meio da musicalização (Gomes et al.)” e “O desenvolvimento da Cognição Numérica: compreensão necessária para o professor que ensina Matemática na Educação Infantil (Sanchez Júnior e Blanco)” .

O artigo de von Spreckelsen et al., investigou o impacto da linguagem matemática na sala de aula e das disposições dos materiais nas pré-escolas para as habilidades de numeramento em crianças. Foi observado que a variação do vocabulário matemático dos educadores está relacionada a melhores resultados com a cardinalidade². As evidências relatadas no artigo, mostram que o ambiente influencia na aprendizagem matemática e que pode prever a cardinalidade infantil, por meio da qualidade e quantidade (frequência) de linguagem matemática utilizada por educadores e pais, além da qualidade dos recursos físicos e itens visuais que estimulem o aprendizado.

Já no estudo de Gomes et al. concentra-se em como o projeto “Pensando na Frente” utiliza a musicalização para estimular as habilidades cognitivas de matemática em crianças. É proposto um aprendizado que vai além da contagem, enfatizando relações ritmo-movimento e conceitos de pausa-pulso (zero-um) para trabalhar as estruturas cognitivas que precedem os conceitos de zero e um, que são integrantes do sistema de numeração decimal, sendo zero a ausência de som e um a presença de som.

Em relação a pesquisa de Sanchez Júnior e Blanco, o artigo aborda o desenvolvimento da cognição numérica, diferenciando entre habilidades matemáticas primárias (senso numérico inato) e secundárias (como contagem e cálculo), e destacando a importância desse conhecimento para os professores. O artigo oferece uma revisão teórica para discutir como se desenvolve a cognição numérica com conceitos, modelos e teorias de diversos autores e pesquisadores da área, mas sem dados empíricos próprios.

Os estudos reconhecem janelas de oportunidade e plasticidade cerebral como

¹ Tradução: Vamos Falar de Matemática: O Papel da Observação de "Conversas de Matemática" e das Disposições Matemáticas no Acervo Numérico de Crianças em Idade Pré-Escolar.

² Número de elementos distintos que pertencem a um conjunto. $A=\{1,2,3\}$ contém 3 elementos

princípios norteadores para intervenções. É observado pelos pesquisadores von Spreckelsen et al. um viés de comunicação desproporcional dos educadores britânicos em atividades de contagem (91,67% das práticas relatadas) em detrimento de cálculo (16,67%) e valor posicional (0%). O que pode sugerir uma priorização ou falta de conhecimento dos professores em relação a outros temas fundamentais na matemática para essa idade, demonstrando que a variedade de tipos de linguagem matemática (não apenas a frequência do tempo) influencia. Esta especificidade dialoga com a ênfase do estudo Sanchez Júnior e Blanco na necessidade de professores compreenderem trajetórias de desenvolvimento cognitivo numérico, visto que ao se ter conhecimento acerca do funcionamento neurocognitivo, é possível pensar em outras possibilidades de ensino.

Outro ponto importante, é que von Spreckelsen et al. especulam que recursos abundantes podem não compensar a ausência de linguagem matemática específica e direcionada, sugerindo que a quantidade de materiais não substitui a qualidade da mediação docente. Sanchez Júnior e Blanco já argumentam que o problema pode decorrer de fatores neurológicos do aluno e da privação socioeconômica, mas enfatiza também que aspecto da boa intervenção pedagógica é necessária no processo .

Todos os artigos reconhecem a importância da contagem e cardinalidade nas crianças nessa fase do desenvolvimento, embora os instrumentos avaliativos nas pesquisas se diferenciam substancialmente de um estudo para o outro, proporcionando uma forma ampla de enxergar o fenômeno. Gomes et al. utiliza observações qualitativas de comportamentos (atenção voluntária, sincronização motora) durante a interação das crianças com a música, que resulta numa maior atenção e engajamento. Enquanto von Spreckelsen et al. emprega uma tarefa de cardinalidade e outras duas de contagem para análise das habilidades numéricas, correlacionando que crianças com configurações ambientais com maior variação linguística da matemática também apresenta maior nível educacional parental e status socioeconômico. No estudo de revisão teórica de Sanchez Júnior e Blanco, o foco foi a acerca da base biológica da matemática com os substratos neurais (sulco intraparietal, córtex pré-frontal), argumentando que os estudos sobre uma base neurológica em bebês realmente discriminam a numerosidade ou apenas propriedades perceptuais.

Sanchez Júnior e Blanco cita estruturais cerebrais como sulco intraparietal bilateral como núcleo da representação analógica de magnitude e da comparação numérica, o giro angular esquerdo sendo suporte da forma verbal e da recuperação de fatos aritméticos, como também o giro fusiforme bilateral sendo responsável da forma visual-arábica e do reconhecimento de dígitos. Já o córtex pré-frontal (com ênfase em regiões dorsolaterais e no

giro frontal inferior) para memória de trabalho e estratégias de cálculo, áreas perisilvianas da linguagem para numerais verbais, lobo temporal medial/hipocampo e núcleos da base para memória semântica de fatos, e o corpo caloso para integração inter-hemisférica, com lateralização funcional que favorece cálculo e linguagem à esquerda e estimativas de magnitude à direita. As funções cognitivas destacadas incluem subitização e estimativa, contagem verbal e cardinalidade, decodificação simbólica, comparação de quantidades, cálculo aritmético básico, memória de trabalho numérica e recuperação de fatos, articuladas pelos modelos de processamento numérico do Triplo Código (Dehaene e Cohen).

Gomes et al., não informa áreas corticais específicas, mas enfatizam os sistemas auditivo, somatossensorial e a mediação corpo–ritmo–som como base neurofuncional para desenvolver escuta atenta, atenção voluntária, sincronização motora, estruturação espaço-temporal, contagem, memorização dos nomes dos números e precursores conceituais de zero e um durante janelas de alta plasticidade entre 6 meses e 3 anos. Em von Spreeckelsen et al. também não são citadas regiões cerebrais específicas, o foco recai sobre funções cognitivas e linguísticas com cardinalidade e contagem, além da amplitude da linguagem matemática dos educadores (incluindo linguagem de valor posicional e unidades de medida) e sua relação com o desempenho das crianças.

Apesar da fundamentação neurocientífica, nenhum estudo emprega pesquisa de neuroimagem. Juntos, os estudos demonstram que a neurociência podem informar sobre conhecimento neurocognitivo da aprendizagem matemática ao: (1) identificar na literatura estruturas e funções cognitivas específicas para o conhecimento matemático; (2) caracterizar ambientes linguísticos favorecedores; e (3) propor intervenções de ensino multimodais (musicalização) que estimulem o aprendizado matemático.

Em contrapartida, as principais lacunas nos estudos incluem: ausência de medidas neurofisiológicas diretas nos estudos empíricos, o que limita os efeitos observados; desenhos sem grupo controle e com acompanhamento curto na intervenção por musicalização, inviabilizando inferências causais e a avaliação de manutenção de ganhos; confusão por variáveis socioeconômicas e educacionais parentais não especificadas; generalização restrita por amostras localizadas (rede municipal específica no Brasil e áreas administrativas na Inglaterra) e uma distância entre a revisão teórica que detalha substratos neurais e as práticas avaliadas, sem triangulação entre comportamento e ambiente para sustentar recomendações curriculares robustas.

Portanto, os estudos analisados convergem ao reconhecer a relevância da cognição numérica na Educação Infantil e a importância de intervenções pedagógicas que considerem

tanto aspectos neurocognitivos quanto contextuais. Há consenso sobre a centralidade da contagem e da cardinalidade como marcos iniciais do desenvolvimento matemático, bem como sobre a influência do ambiente e da mediação docente na aprendizagem. Entretanto, observa-se lacunas significativas: a predominância de práticas voltadas à contagem em detrimento de conceitos mais complexos, como valor posicional, sugere necessidade de formação continuada para ampliar a variedade da linguagem matemática utilizada pelos educadores. Além disso, embora os estudos dialoguem com fundamentos neurocientíficos, nenhum emprega métodos empíricos de neuroimagem. Em síntese, os trabalhos indicam caminhos promissores ao articular psicologia, neurociência e práticas pedagógicas em matemática.

6.2 ENSINO FUNDAMENTAL 1

Os três artigos encontrados relacionados ao Ensino Fundamental I são: “*Domain-Specific Inhibitory Control Training to Improve Children's Learning of Counterintuitive Concepts in Mathematics and Science*”³ (Wilkinson et al.) ; “*Informing the design of a multisensory learning environment for elementary mathematics learning*”⁴ (Cuturi et al.) e “*Hitting the Target: Mathematical Attainment in Children Is Related to Interceptive-Timing Ability*”⁵ (Giles et al.) .

Os artigos se concentram na interconexão entre habilidades cognitivas/motoras e o desempenho matemático em crianças. A pesquisa do Giles et al. estabelece uma correlação entre habilidade de tempo de interceptação e a capacidade matemática em crianças do ensino fundamental, sugerindo uma ligação entre os sistemas sensorio motor e cognitivo. Já o Wilkinson et al. investiga a relação entre o controle inibitório e o raciocínio contraintuitivo em matemática e ciências, e avalia um jogo chamado *Stop & Think* (Pare e Pense) em um treinamento, encontrando evidências iniciais de efeito para o desempenho acadêmico em crianças mais novas. Cuturi et al. detalha um modelo de ambiente de aprendizagem multissensorial, com o jogo *Space Shapes* (Formas Espaciais), que utiliza tecnologia por tato e visão para apoiar o aprendizado de conceitos geométricos e aritméticos desafiadores, partindo das dificuldades identificadas pelos professores.

³ Tradução: Treinamento de Domínio Específico do Controle Inibitório para Melhorar a Aprendizagem de Conceitos Contraintuitivos em Matemática e Ciências por Crianças.

⁴ Tradução: Informando um Modelo de Ambiente de Aprendizagem Multissensorial para o Ensino de Matemática no Ensino Fundamental.

⁵ Tradução: Acertando o Alvo: O Desempenho Matemático de Crianças Está Relacionado à Capacidade de Temporização Interceptiva.

Os estudos demonstram que as habilidades sensório motoras estão relacionadas ao desenvolvimento cognitivo. Em Wilkinson et al., encontraram que o domínio específico do controle inibitório de matemática e ciência prediz bom desempenho acadêmico em relação aos treinos cognitivos genéricos, sugerindo que processos executivos estão relacionados a esses domínios do conhecimento. Entretanto, o estudo informa que treinar o controle inibitório isoladamente raramente está relacionado ao bom desempenho em matemática, mas incorporar esse treino em conteúdos curriculares específicos pode proporcionar raciocínio contraintuitivo em crianças de 7-8 anos. Outro ponto a destacar em Wilkinson et al., é que atividade utilizada *Stop & Think* beneficiou apenas crianças do terceiro ano, sem efeitos para o quinto ano, mas faltou mais dados de desempenho acadêmico de crianças do quinto ano devido a restrições escolares, o que impossibilitou outras conclusões de interferência na pesquisa. Logo, esse estudo evidencia um dos cenários possíveis da realidade acerca de fazer pesquisa em educação, ao demonstrar a dificuldade de generalizar treinos cognitivos além de contextos específicos.

Por sua vez, Giles et al. demonstrou que o tempo interceptivo das crianças que são melhores em interceptar alvos em movimento tendem a ter melhores resultados em matemática. Essa ligação específica mesmo após considerar e "descontar" o impacto de outras habilidades motoras (como a habilidade manual geral ou o equilíbrio), a habilidade de interceptação ainda mostra uma relação significativa com a matemática, não é apenas que crianças com boa coordenação motora geral são boas em matemática. Existe algo específico na capacidade de prever onde e quando um objeto em movimento estará (habilidade de interceptação) que parece ter uma relação particular com o desempenho em matemática.

Além disso, Giles et al. utilizou uma tarefa computadorizada de tempo interceptivo que, embora objetiva, difere de ações naturais como pegar uma bola, levantando questões sobre se os mesmos mecanismos neurais na tarefa estão envolvidos em ações naturais. Porém, embora controlem habilidades motoras gerais, não controlaram inteligência geral (QI), leitura ou fatores socioeconômicos, deixando aberta a possibilidade de variáveis omitidas mediar a relação observada. Os próprios autores apontam isso em "estudos correlacionais sempre levantam questões sobre direção de causalidade (p.9)". Portanto, é mais uma questão que ilustra a complexidade de interação entre pesquisas neurocientíficas para educação, destacando a importância de uma pesquisa participativa com professores e testes ecológicos em salas de aula reais.

Em Cuturi et al. desenvolveram um ambiente multissensorial que combina resposta visual e por tato para ensinar rotação mental⁶ e transformações 2D e 3D, baseando-se na teoria da calibração cross-sensorial⁷ que calibra os outros sentidos, propondo uma cognição corporificada⁸. A junção neural entre processamento espacial, temporal e numérico no córtex parietal suporta essa interpretação, afirma Cuturi et al. e também é observado em Giles et al.. Assim, esse estudo sugere que representações abstratas matemáticas (número, espaço, tempo) emergem de interações sensório-motoras com o ambiente, conforme proposto por Piaget e evidenciado pela neurociência. Cuturi et al. também destaca que integração multissensorial visual e tato desenvolve-se tardiamente em crianças de 8 anos, sugerindo que crianças menores podem não se beneficiar totalmente de ambientes multissensoriais, revelando que a resposta visual que prevaleceu sobre o modelo multissensorial requer compreensão sofisticada de preferências sensoriais e estratégias para evitar que uma modalidade domine a outra. Sendo assim, faltou no estudo comparação de eficácia de intervenções multissensoriais versus unissensorial em diferentes faixas etárias, limitando a pesquisa.

Com relação aos achados neurocientíficos, o Wilkinson et al. encontrou maior ativação das regiões cerebrais (córtex pré-frontal dorsolateral, córtex frontal inferior e córtex cingulado anterior) associadas ao controle inibitório em raciocínio contraintuitivo em matemática e ciências. Observaram que crianças suprimiam seus comportamentos com teorias ingênuas ou pistas perceptuais enganosas para aprender conceitos contraintuitivos como números negativos, frações ou propriedades físicas, sugerindo um controle inibitório eficiente. Este controle, essencial para suprimir respostas impulsivas e equívocas, permite a aprendizagem de conceitos contraintuitivos e é mediado por circuitos pré-frontais que amadurecem na adolescência.

Já em Giles et al. é sugerido que o córtex parietal, especialmente o sulco intraparietal (IPS), é a base neural compartilhada para representações de número, espaço e tempo. Eles propõem que representações numéricas abstratas derivam do processamento espaço-temporal, com evidências de circuitos neurais parietais para essas dimensões. Afirmam que o tempo interceptivo exige coordenação espaço-temporal e precisa de modelos internos sensório-motores (associados ao cerebelo) para estimar consequências sensoriais e prever movimentos.

⁶ Manipulação e rotação de imagens mentais de objetos.

⁷ Na idade escolar primária, é considerado a modalidade sensorial mais forte para propriedades perceptivas específicas.

⁸ Interconexão entre os processos mentais e o corpo em que essas duas instâncias não podem ser isoladas uma da outra.

Por fim, Cuturi et al. não mencionam regiões cerebrais específicas, mas baseiam o ambiente multissensorial em teorias neurocientíficas e cognição incorporada. Eles citam que o córtex motor mostra atividade durante tarefas cognitivas envolvendo linguagem de ação e rotação mental, sugerindo interconexão motora e imaginária.

Dessa maneira, os artigos mostraram caminhos promissores e mecanismos neurais fundamentais, como também avanços metodológicos ao adotar modelos de pesquisas ecológicas por mais que não tenham incluído medidas neurofisiológicas. Portanto, pesquisas futuras devem priorizar ensaios controlados randomizados, medidas neurofisiológicas pré-pós, relação entre treino comportamental e mudança cognitiva, análises didática comparado a intervenções de métodos pedagógicos convencionais à aprimorados, pois assim é uma possibilidade da neurociência educacional ir além de demonstrações de conceitos teóricos e fundamentar políticas educacionais com evidências mais sólidas.

6.3 ENSINO FUNDAMENTAL II

Para esta seção foram encontrados sete artigos referentes ao Ensino Fundamental II: “*Neuroanatomical correlates of performance in a state- wide test of math achievement*” (Wilkey et al.)⁹; “*Student’s Perspective and Teachers’ Metacognition: Applications of Eye-Tracking in Education and Scientific Research in Schools*”¹⁰ (Soares Jr. et al.)”; “*Distributed Neural Representations of Logical Arguments in School-Age Children*”¹¹ (Mathieu et al.)”; “Reflexões neurocognitivas no desenvolvimento das noções de sólidos geométricos no 7º ano do ensino fundamental.” (Santos et al.); “Resolução de problemas por meio do ensino híbrido: relacionando neurociência e aprendizagem matemática (Moraes e Barreto)” ; “Aprendizagem matemática com jogos digitais online: um estudo fundamentado a partir da Neurociência (Silva e Scheffer, 2019)” e “O jogo digital on-line e as funções cognitivas de atenção e memória em Matemática: um estudo em neurociências (Silva e Scheffer, 2020)”.

Os estudos de Moraes e Barreto, Silva e Scheffer (2019) e Silva e Scheffer (2020) reconhecem que funções executivas - especialmente memória de trabalho e controle inibitório - são fundamentais para a aprendizagem matemática. Em Moraes e Barreto é demonstrado que

⁹ Correlatos neuroanatômicos do desempenho em uma avaliação estadual de proficiência matemática.

¹⁰ Perspectiva dos Estudantes e Metacognição dos Professores: Aplicações do Rastreamento Ocular na Educação e na Pesquisa Científica Escolar.

¹¹ Representações Neurais Distribuídas de Argumentos Lógicos em Crianças em Idade Escolar.

o ensino híbrido estimula essas funções através da rotação por estações¹², enquanto Silva e Scheffer (2019) e Silva e Scheffer (2020) evidenciam que jogos digitais ativam redes neurais relacionadas à controle inibitório e memória de trabalho durante a resolução de problemas matemáticos. Já em Santos et al. afirma que recursos didáticos manipuláveis (RDM) podem acionar maiores potenciais de ação (sinapses) quando múltiplos sentidos são envolvidos, facilitando o armazenamento na memória de longo prazo.

Mathieu et al., utilizando técnica de neuroimagem com ressonância magnética funcional, encontraram em crianças de 9 a 14 anos uma sensibilidade neural modulada pelo tipo de argumento lógico (ordem linear vs. inclusão de conjuntos) utilizado. Argumentos de ordem linear (envolvem a comparação de elementos) foram mais associados a mecanismos cerebrais espaciais (córtex parietal), enquanto argumentos de inclusão de conjuntos (relação de pertencimento de um item a uma categoria) foram mais associados a mecanismos verbais (córtex frontal esquerdo). Essa dissociação neural não foi modulada pela idade, sugerindo que ela provavelmente emerge antes da escolarização formal. Contudo, o estudo também observou mudanças em regiões frontais e parietais que dependiam do tipo de relação lógica, com maiores aumentos de atividade relacionados à idade para argumentos de inclusão de conjuntos em regiões como o córtex pré-frontal rostral e o giro frontal superior medial. Isso indica que o período da educação escolar pode desempenhar um papel importante no desenvolvimento do processamento neural do raciocínio dedutivo.

O artigo de Wilkey et al., também utilizou fMRI e observou a relação entre regiões cerebrais e o desempenho matemático em uma avaliação escolar de grande escala em Tennessee, nos Estados Unidos. A análise da avaliação escolar estadual com as regiões mais relacionadas ao desempenho matemático indicou que a formação hipocampal bilateral e o giro frontal inferior direito - áreas associadas à memória declarativa e funções executivas gerais - estão mais ligadas ao desempenho em testes de matemática baseados na escola do que ao processamento numérico específico. Ou seja, essas regiões influenciam mais o quanto bem uma pessoa se sai em testes de matemática aplicados na escola, do que em tarefas que envolvem habilidades numéricas mais básicas e específicas (como comparar quantidades ou contar). Em outras palavras, o estudo sugere que o sucesso em provas escolares de matemática está mais relacionado a capacidades cognitivas gerais (como memória e funções executivas) do que àquelas áreas do cérebro que processam números de forma muito específica.

¹² Ensino híbrido em que os estudantes se revezam entre diferentes atividades em um horário fixo ou conforme a orientação do professor. Essas tarefas podem incluir discussões em grupo, leituras, escritas e, necessariamente, uma atividade online.

Silva e Scheffer (2019) e Silva e Scheffer (2020) propõem intervenções por jogos digitais, distinguindo tipos de atenção (reflexa vs. voluntária e sensorial vs. mental) e tipos de memória (declarativa e procedural). Criticamente, Silva e Scheffer (2019) destaca como as emoções podem desviar o foco atencional como “no momento em que está realizando cálculos com mais parcelas, já no 4º nível do jogo, o estudante se irrita com o comentário e o riso do colega mediante o erro da soma $5 + 4$ ” (p.163). Esta descrição é importante, pois revela que ambiente socioemocional também importa para cognição, algo frequentemente não considerado em estudos de neurociência educacional. Em Silva e Scheffe (2020) reconheceu que o giro angular está mais relacionado ao desempenho matemático nas séries iniciais (3º-4º ano), enquanto o giro frontal inferior se torna mais relevante nas séries finais (5º-8º ano), sugerindo transições no desenvolvimento do processamento matemático. Ambos os estudos também reconhecem que a plasticidade cerebral permite que treino repetido fortaleça sinapses e que aprendizagem significativa e contextualizada captura atenção seletiva melhor que estímulos descontextualizados. Entretanto, apesar dos estudos identificarem correlatos neurais, não investigam sistematicamente os mecanismos neurobiológicos relacionados às mudanças observadas no desempenho.

Na pesquisa de Soares Jr. et al., o *Eye-Tracking* (rastreamento ocular) é utilizado como ferramenta de investigação para identificar as dificuldades dos alunos, com o foco nos padrões de movimento ocular e como os professores interpretam esses movimentos. Consequentemente, sugerindo que padrões de atenção visual dos estudantes podem significar inferências por parte dos professores sobre o desenvolvimento do raciocínio dos alunos, evidenciando que docentes mais experientes conseguem compreender as dificuldades e necessidades dos estudantes. Esse aspecto da pesquisa é particularmente relevante, no qual a diversidade de perfis de aprendizagem exige uma compreensão aprofundada dos processos cognitivos dos alunos. Como também, a capacidade dos professores de reavaliar suas percepções iniciais e aprimorar seu "modelo mental do aluno" a partir da observação dos dados de *Eye-Tracking*, ressaltando a importância de estratégias que permitam aos educadores irem além do resultado final, analisando o como o aluno chega a uma resposta, seja ela correta ou incorreta

Apesar dos estudos analisados terem diferentes contribuições dentro do campo de evidências científicas, a maioria dos estudos utilizou tarefas experimentais controladas em ambientes de laboratórios. Por exemplo, o método de ressonância magnética utilizado nos Wilkey et al. e Mathieu et al., difere substancialmente das situações reais de sala de aula, mesmo o Wilkey et al. avançando ao integrar avaliações escolares estaduais em seu desenho

de pesquisa, mas reconhecendo que as medidas neuroanatômicas foram obtidas fora do contexto educacional. Essa e outras limitações ecológicas dificultam a generalização dos achados para práticas pedagógicas cotidianas, sendo uma lacuna na comunicação dessas contribuições em estratégias pedagógicas concretas. Portanto, para que a neurociência contribua efetivamente para a educação, é essencial adotar abordagens translacionais que integrem rigor científico e relevância pedagógica, priorizando medidas contextualizadas, desenho de estudos longitudinais e colaboração transdisciplinar entre neurocientistas, educadores e pesquisadores no ensino da matemática.

6.4 ENSINO DE JOVENS E ADULTOS

Ao realizar a busca por artigos científicos que abordassem o tema no cérebro adulto como critério de inclusão, foram identificados apenas três estudos relevantes que se enquadram nessa faixa de desenvolvimento, sendo eles: “*Operation-Specific Lexical Consistency Effect in Fronto-Insular-Parietal Network During Word Problem Solving*”¹³ (Ng et al.) ; “*Cortical Activations During a Computer-Based Fraction Learning Game: Preliminary Results from a Pilot Study*”¹⁴ (Baker et al.)” e “Formação de professores: um diálogo à luz da Andragogia e da neurociência do aprendizado (E16)”.

O Ng et al. apresenta uma pesquisa utilizando ressonância magnética funcional (fMRI) para investigar o efeito da consistência lexical (a relação entre a linguagem do problema e a operação aritmética exigida) na rede fronto-insulo-parietal durante a resolução de problemas matemáticos verbais em adultos. A medida neurofisiológica empregada (fMRI) contribuiu ao desenvolver um paradigma experimental rigoroso para examinar como aspectos linguísticos específicos (consistência lexical) interagem com processamento matemático. Logo, sua abordagem integra consistência lexical e operações aritméticas (adição vs. subtração) propõe uma possibilidade de investigação entre linguagem e matemática no cérebro.

Em Baker et al. foi utilizado uma técnica de neuroimagem recente em estudos de neurociência educacional com a espectroscopia funcional de infravermelho próximo (fNIRS) para analisar as ativações corticais durante o jogo de frações e as comparando com atividades espaciais. Ao integrar a técnica de neuroimagem fNIRS serviu para demonstrar a viabilidade do estudo da aprendizagem matemática em contextos naturalísticos. Esta tecnologia

¹³ Tradução: Efeito Específico de Consistência Lexical em Operação na Rede Fronto-Insular-Parietal Durante a Resolução de Problemas Matemáticos Verbais.

¹⁴ Tradução: Ativações Corticais Durante um Jogo Digital de Aprendizagem de Frações: Resultados Preliminares de um Estudo Piloto.

representa um avanço significativo sobre a fMRI tradicional realizado em laboratório, permitindo maior tolerância ao movimento e medições em ambientes mais próximos ao contexto educacional real. Assim, a aprendizagem de frações ativou o sulco intraparietal bilateral e regiões dorsolaterais pré-frontais do que em uma tarefa controle puramente espacial. Isso indica recrutamento de regiões típicas de número/controla cognitivo além do que seria explicado só por processamento visuoespacial exibindo um padrão parietal comparável ao cálculo com algarismos.

Já em Borges et al. oferece uma contribuição essencial ao propor a integração da neurociência com a andragogia na formação docente, especialmente para a Educação de Jovens e Adultos (EJA). Embora o próprio estudo reconhece implicitamente uma abordagem mais qualitativa e descritiva em seu método, e, portanto, metodologicamente menos rigoroso que estudos experimentais no que tange à comprovação causal de intervenções, ele preenche uma lacuna crítica importante. Ao discutir descobertas neurocientíficas para práticas pedagógicas no ensino de adultos, a pesquisa destaca a considerar como o cérebro adulto aprende para aprimorar as estratégias de ensino de matemática na EJA. Essa abordagem é particularmente relevante em um cenário educacional que, muitas vezes, negligencia as particularidades do aprendizado adulto, e que se beneficia enormemente de uma fundamentação científica sobre os processos cognitivos.

Apesar dos estudos coletivamente sugerirem pontos relevantes em pesquisas relevantes da neurociência e educação, algumas lacunas foram observadas. No Ng et al. conduziram pesquisas com falantes de chinês tradicional, examinando efeitos de consistência lexical específicos a esta língua, embora metodologicamente rigoroso, estes achados podem não generalizar para outras línguas ou culturas, limitando inferências dos resultados e reprodução dos achados. Na demonstração do Baker et al., o estudo focou em medições pontuais e intervenções de curto prazo, falhando em analisar como as redes neurais se organizam durante a aprendizagem da matemática ao longo do tempo com o jogo *Refracion*. Já Borges et al. baseou-se numa experiência específica com um grupo do segundo segmento da EJA numa instituição particular. Apesar das informações importantes para esse contexto, o artigo não discutiu as limitações da generalização dos achados para outras populações de adultos ou diferentes contextos educacionais de Jovens e Adultos.

Portanto, juntos informam que fatores linguísticos e contextuais modulam redes neurais, que tecnologias de neuroimagem podem ser aplicadas em contextos educacionalmente e a integração teórica interdisciplinar é possível para compreensão da aprendizagem matemática em adultos.

6.5 SEM DELIMITAÇÃO

Os últimos textos a serem analisados são revisões teóricas gerais que abordam como o cérebro aprende matemática, oferecendo uma perspectiva mais ampla sobre o tema. São eles: “*Neuroscientific studies of mathematical thinking and learning: a critical look from a mathematics education viewpoint*”¹⁵ (Verschaffel et al.); “Aprendizagem em matemática, aprendizagem significativa e neurociência na educação: dialogando aproximações teóricas (Rozal et al.)”; “A Neurociência e a História das Frações (Almeida, 2020)”; “Neurociência, História da Matemática e Música: Conexões Interdisciplinares (Almeida, 2021)”

Em conjunto, os textos apontam que a neurociência oferece descrições importantes sobre como o cérebro representa magnitudes (valor contínuo ou uma grandeza que pode ser medida, como comprimento, área ou volume), proporções e frações, e isso pode proporcionar projetos didáticos mais alinhados ao contexto, história/cultura e fatores afetivos como motivação e ansiedade. Além disso, convergem na necessidade de um diálogo explícito entre neurociência e educação que considere motivação, clima emocional e tempo oportuno de aprendizagem, pois estados afetivos negativos inibem o aprender e o engajamento é condição para a construção de significado.

Em Verschaffel et al. sistematiza que o sulco intraparietal (IPS) e córtex pré-frontal participam do processamento de proporções e frações, com associações entre magnitudes simbólicas e não simbólicas, elevando a compreensão de “onde” e “como” o cérebro lida com relações numéricas. As técnicas que a revisão encontrou como mais comum para estudos no campo, destacam-se o uso de ferramentas como EEG, fMRI e o uso de eye-tracking para inferir estratégias em comparação de frações e explorações para monitorar carga cognitiva, ainda que com reservas quanto à implementação educativa imediata. Além disso, coloca que análises críticas da relação entre neurociência e educação com e tarefas artificiais, amostras adultas e medidas de tempo de reação, embora informativas, dizem pouco sobre aprendizagem situada de crianças em contextos reais, exigindo cautela ao derivar prescrições pedagógicas diretas.

Além disso, Rozal et al. faz uma contribuição importante ao relacionar os estudos da neurociência e educação com a psicologia acerca das emoções envolvidas na matemática, citando um autor importante no campo da psicologia da aprendizagem Ausubel. As autoras conectam os achados neurocientíficos à teoria da Aprendizagem Significativa, defendendo

¹⁵ Tradução: Estudos neurocientíficos sobre o pensamento e a aprendizagem matemática: um olhar crítico sob a perspectiva do ensino da matemática.

que motivação, clima emocional livre de medo e ansiedade, e respeito ao tempo de aprendizagem individual são condições essenciais para que novos conhecimentos matemáticos se ancorem aos preexistentes.

As revisões Almeida (2020) e Almeida (2021), encontraram evidências neurocientífica de que frações e proporções são codificadas no sulco intraparietal e em redes fronto-parietais, em grande parte de modo relativamente independente da notação, converge com a ideia educacional de partir de conhecimentos prévios e de contextos significativos para ensinar conceitos racionais como relações antes de algoritmos, reforçando abordagens que valorizam intuições proporcionais e representações múltiplas. De acordo com o autor a percepção quantitativa é guiada por razão/proporção (Lei de Weber–Fechner) e que proporções/frações têm tratamento neuronal como magnitudes abstratas, o que favorece didáticas que começam por quantidades contínuas, comparações e múltiplas representações antes da aritmética simbólica estreita.

O Almeida (2020) e Almeida (2021) reconhecem que frações complexas (Ex: $256/243$; $729/512$) usadas historicamente provavelmente não têm representações exatas inatas, sugerindo que as conexões do nosso cérebro, são moldadas pela nossa cultura, como de fato Dehaene em seus estudos verifica, pois a matemática mais complexa é construída pela sociedade na escola. Também, Almeida (2021) coloca que preferência por escalas músicas é fortemente mediada por treinamento e cultura, e que instrumentos reais enfrentam limitações físicas para afinações teoricamente ótimas. Já em Verschaffel et al. destaca que recomendações instrucionais derivadas de medidas neurais frequentemente são genéricas, redundantes com o que já se conhece didaticamente, e que a dimensão histórico-cultural e afetivo-motivacional, embora crítica, é subexplorada na relação entre neurociência e educação.

Com isso, os artigos mostram que é fundamental adotar didáticas que iniciem frações por contextos, explorem múltiplas notações (comuns, decimais, unitárias) e integrem história da matemática para contextualizar o ensino. Como também, propor ambientes de aprendizagem que diminuam a ansiedade, promovendo motivação e respeito aos tempos individuais de consolidação do conhecimento, pois clima emocional negativo inibe sinapses e aprendizagem significativa depende da memória de trabalho e longo prazo. Portanto, é necessário explorar módulos interdisciplinares da música e matemática conectando intervalos racionais e percepção auditiva proporcional, aproveitando alinhamento entre escalas tradicionais e sensibilidade como prática docente.

7 CONCLUSÃO

7.1 ENSINO DA MATEMÁTICA COM A NEUROCIÊNCIA

A presente revisão integrativa teve como objetivo reunir e analisar as evidências disponíveis na literatura sobre a contribuição da neurociência educacional para aprendizagem matemática em crianças e adultos, permitindo uma compreensão ampliada sobre o assunto. Os estudos analisados informaram sobre: Educação Infantil, Ensino Fundamental, Educação de Jovens e Adultos e Revisões Teóricas fundamentais para elaboração deste trabalho.

A maioria dos estudos evidenciou regiões fundamentais para aprendizagem matemática que envolve uma rede complexa de regiões cerebrais: as frontais (para selecionar informações e inibir o que não é relevante), as parietais (para lidar com quantidades e atenção espacial), às insulares (para integrar informações importantes) e as temporo-parietais (para o significado dos números), propondo que a forma como essas regiões são ativadas variam de acordo com a tarefa, a idade e a experiência da pessoa.

Além disso, as pesquisas destacaram que a atenção, a memória de trabalho e o controle inibitório são pilares para a melhoria do desempenho matemático e que intervenções pedagógicas, como jogos digitais, ensino híbrido e atividades que usam múltiplos sentidos, são eficazes para fortalecer essas funções. Por exemplo, jogos online e a rotação de estações de aprendizagem aumentam o foco e o engajamento, facilitando a recordação e a fixação do conhecimento como também maior controle inibitório em problemas contraintuitivos. Já na geometria, o uso de materiais concretos melhoram a memorização de conceitos. Logo, os estudos demonstraram que o fortalecimento da atenção, da memória de trabalho e da autorregulação são caminhos possíveis para melhorar o desempenho em matemática, e não apenas a identificação de regiões cerebrais isoladas.

Apesar do mapeamento significativo de pesquisas no campo, alguns pontos são apresentados como limitações. Em uma análise geral, a maior parte dos estudos, frequentemente, fica restrita a ambientes laboratoriais rigidamente controlados. Essa restrição metodológica representa um obstáculo considerável para possíveis inferência em cenários do mundo real, como o contexto dinâmico da sala de aula.

Além disso, a escola é muito complexa, caracterizada pela interação de variáveis importantes que são frequentemente simplificadas em condições de laboratório. Entre essas variáveis, destacam-se as emoções e as relações sociais, que desempenham um papel crucial no desenvolvimento dos indivíduos e no processo de ensino-aprendizagem. A impossibilidade de consideração de algumas dessas variáveis contextuais pode levar a conclusões distorcidas ou incompletas sobre os fenômenos estudados. Para que as pesquisas no campo ofereçam

contribuições mais robustas, é fundamental que haja uma maior integração de metodologias científicas que permitam observar e analisar os fenômenos em seus contextos naturais.

Entretanto, é compreensível que estudar o cérebro de primatas a partir de um rigor científico é muito difícil e com ressalvas éticas consideráveis. Esse desafio se intensifica ao considerarmos a complexidade dos sistemas neurais e a inerente dificuldade de replicar condições naturais em ambientes controlados de pesquisa, sem mencionar as implicações morais. A busca por modelos alternativos e métodos não invasivos de pesquisa é, portanto, uma prioridade crescente.

A educação, por sua vez, caminha em passos lentos para que possa ser vista e reconhecida como uma área de produção de conhecimento científico, principalmente dentro das neurociências. Essa lentidão pode ser atribuída a diversos fatores, incluindo a percepção histórica da pedagogia como uma prática empírica em vez de uma disciplina baseada em evidências, a dificuldade em isolar variáveis em contextos educacionais complexos e a necessidade de metodologias de pesquisa que conciliam o rigor científico com a ética do trabalho com seres humanos, especialmente crianças.

Contudo, não é possível falar de ser humano sem um dos pilares fundamentais: a aprendizagem. Sendo ela a base para o desenvolvimento cognitivo, social e emocional, a aprendizagem ultrapassa a mera aquisição de informações, moldando a individualidade e a capacidade de adaptação. A interação entre os processos neurobiológicos da aprendizagem e as estratégias pedagógicas é um campo fértil para pesquisas, prometendo alicerces valiosos sobre como melhorar o ensino e aprimorar as capacidades humanas. A neurociência educacional surge, assim, como uma ponte vital entre essas duas áreas, buscando compreender os mecanismos cerebrais da aprendizagem e relacionar esse conhecimento às práticas educacionais.

Portanto, o cérebro constitui a base biológica primordial para o processamento da aprendizagem, não podendo conceber que a aquisição de conhecimento matemático sem que ele passe pelas redes neurais. Desconsiderar essa premissa é análogo a tentar edificar uma construção sem os alicerces fundamentais que garantem sua estabilidade e integridade. Sendo assim, a educação é uma ciência, a aprendizagem, em sua essência, é um fenômeno neurobiológico, e a matemática, em particular, exige a mobilização de áreas específicas do cérebro para a compreensão de conceitos, o raciocínio lógico e a resolução de problemas. Ignorar o papel central do cérebro nesse processo seria negligenciar a própria natureza do aprendizado humano.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Manoel de Campos. 2 - A Neurociência e a História das Frações. **Revista Brasileira de História da Matemática**, v. 20, n. 39, p. 51–62, 2020.

AMARAL, Ana Luiza Neiva; GUERRA, Leonor Bezerra. Neurociência e Educação: olhando para o futuro da aprendizagem. **Brasília: Sesi/DN**, 2022.

BAKER, J. M. *et al.* 5 - Cortical Activations During a Computer-Based Fraction Learning Game: Preliminary Results from a Pilot Study. **Technology, Knowledge and Learning**, v. 20, n. 3, p. 339–355, 2015.

BORGES, Maria Ursulla Jurema *et al.* 4 - Formação de professores: um diálogo a luz da Andragogia e da neurociência do aprendizado. **Revista de Estudios e Investigación en Psicología y Educación**, p. 224–228, 10 nov. 2015.

BRASIL. **Relatório Nacional de Alfabetização Baseada em Evidências**. [S.l.]: Secretaria de Alfabetização, 16 nov. 2020.

CANTLON, Jessica F. *et al.* Functional imaging of numerical processing in adults and 4-y-old children. **PLoS biology**, v. 4, n. 5, p. e125, 2006.

COSTA, Raquel Lima Silva. Neurociência e aprendizagem. **Revista Brasileira de Educação**, v. 28, p. e280010, 2023.

CUTURI, L. F. *et al.* 8 - Informing the design of a multisensory learning environment for elementary mathematics learning. **Journal on Multimodal User Interfaces**, v. 16, n. 2, p. 155–171, 2022.

DA SILVA SOARES, R. *et al.* 2 - Student's Perspective and Teachers' Metacognition: Applications of Eye-Tracking in Education and Scientific Research in Schools. **Frontiers in Psychology**, v. 12, 2021.

DAVIES, Philip. What is evidence-based education? **British journal of educational studies**, v. 47, n. 2, p. 108–121, 1999.

DAVIES, Philip; THOMAS, Gary; PRING, Richard. **Educação baseada em evidências: a utilização dos achados científicos para a qualificação da prática pedagógica**. [S.l.]: Artmed, 2007.

DEHAENE, Stanislas. Précis of the number sense. **Mind & language**, v. 16, n. 1, p. 16–36, 2001.

DEHAENE, Stanislas *et al.* Arithmetic and the brain. **Current opinion in neurobiology**, v. 14, n. 2, p. 218–224, 2004.

DEHAENE, Stanislas. **The number sense: how the mind creates mathematics**. Rev. and updated ed ed. New York: Oxford university press, 2011.

DEHAENE, Stanislas. **É assim que aprendemos: por que o cérebro funciona melhor do que qualquer máquina (ainda...)**. [S.l.]: Editora Contexto, 2022.

DIAMOND, Adele. Executive functions. **Annual review of psychology**, v. 64, n. 1, p. 135–168, 2013.

DO ROSÁRIO, Daísa Gomes; DINIZ, Cristowan Wanderley Picanço. Panorama da educação brasileira: contribuições para uma política baseada em evidências. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 5, n. 1, p. 48–57, 2009.

ELGAVI, O.; HAMO, P. Math on the Brain: Seven Principles from Neuroscience for Early Childhood Educators. **Early Childhood Education Journal**, 19 mar. 2024.

FRANCO, Maria Amélia Santoro; LIBÂNEO, José Carlos; PIMENTA, Selma Garrido. Elementos para a formulação de diretrizes curriculares para cursos de pedagogia. **Cadernos de Pesquisa**, v. 37, p. 63–97, 2007.

GOMES, Hérica Cambraia *et al.* “PENSANDO NA FRENTE”, PROJETO DE ESTIMULAÇÃO COGNITIVA DA MATEMÁTICA POR MEIO DA MUSICALIZAÇÃO. **Revista Valore**, v. 4, p. 164–181, 2020. BRASIL.

LENT, Roberto. **Cem bilhões de neurônios**. [S.l.]: Artmed editora, 2010. v. 2

MATHIEU, R.; BOOTH, J. R.; PRADO, J. 6 - Distributed neural representations of logical arguments in school-age children. **Human Brain Mapping**, v. 36, n. 3, p. 996–1009, 2015.

MORAIS, Juliana Marcondes de; BARRETO, Maria Auxiliadora Motta. RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS POR MEIO DO ENSINO HÍBRIDO: RELACIONANDO NEUROCIÊNCIA E APRENDIZAGEM MATEMÁTICA. **Revista Dynamis**, v. 28, n. 2, p. 19–38, 2022.

NG, C. T.; LUNG, T. C.; CHANG, T. T. 3 - Operation-Specific Lexical Consistency Effect in Fronto-Insular-Parietal Network During Word Problem Solving. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 15, 2021.

NIEDER, Andreas; DEHAENE, Stanislas. Representation of number in the brain. **Annual review of neuroscience**, v. 32, n. 1, p. 185–208, 2009.

O.T. GILES *et al.* 4 - Hitting the Target: Mathematical Attainment in Children Is Related to Intercept-Timing Ability. **Psychological Science**, v. 29, n. 8, p. 1334–1345, 2018.

PISA 2022 Results (Volume I and II) - Country Notes: Brazil. Disponível em: <https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/brazil_61690648-en.html>. Acesso em: 7 out. 2025.

QEDU. **Brasil: Aprendizado Adequado no Saeb | QEDU**. Disponível em: <<https://qedu.org.br/brasil/aprendizado/>>. Acesso em: 9 out. 2025.

REBOUÇAS, Marcos Sergio Carvalho; OLIVEIRA, Marcos Antônio De; BEZERRA, Diogo Pereira. Vygotsky, Piaget e Freire: Perspectivas Teóricas e Contribuições ao Ensino e Aprendizagem da Matemática. **Jornal Internacional de Estudos em Educação Matemática**, v. 17, n. 2, p. 250–256, 7 out. 2024.

ROZAL, Edilene Farias; SOUZA, Ednilson Sérgio Ramalho de; SANTOS, Neuma Teixeira dos. 3 - APRENDIZAGEM EM MATEMÁTICA, APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E NEUROCIÊNCIA NA EDUCAÇÃO DIALOGANDO APROXIMAÇÕES TEÓRICAS. **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, v. 5, n. 1, p. 143–163, 2017.

SANCHEZ JÚNIOR, Sidney; BLANCO, Marília Bazan. 1 - O desenvolvimento da Cognição Numérica: compreensão necessária para o professor que ensina Matemática na Educação Infantil. **Revista Thema**, v. 15, n. 1, p. 241–254, 2018.

SANTOS, Márcio Ponciano dos *et al.* 9 - Reflexões neurocognitivas no desenvolvimento das noções de sólidos geométricos no 7º ano do ensino fundamental. **TANGRAM - Revista de Educação Matemática**, v. 4, n. 1, p. 170–184, 2021.

SCHAEFFER, Marjorie W. *et al.* Elementary school teachers' math anxiety and students' math learning: A large-scale replication. **Developmental science**, v. 24, n. 4, p. e13080, 2021.

SILVA, Sindia Liliane Demartini da; SCHEFFER, Nilce Fátima. 8 - O jogo digital on-line e as funções cognitivas de atenção e memória em Matemática: um estudo em neurociências. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 2, n. 1, p. 150–171, 2019b.

SILVA, Sindia Liliane Demartini da; SCHEFFER, Nilce Fátima. 5 - Aprendizagem matemática com jogos digitais online: um estudo fundamentado a partir da Neurociência. **Educitec - Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, v. 5, n. 11, 2019a.

SLAVIN, Robert E. How evidence-based reform will transform research and practice in education. **Educational Psychologist**, v. 55, n. 1, p. 21–31, 2020.

SLAVIN, Robert E.; CHEUNG, Alan CK; ZHUANG, Tengting. How could evidence-based reform advance education? **ECNU Review of Education**, v. 4, n. 1, p. 7–24, 2021.

SOUZA, Marcela Tavares de; SILVA, Michelly Dias da; CARVALHO, Rachel de. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein (São Paulo)**, v. 8, p. 102–106, 2010.

VERSCHAFFEL, L.; LEHTINEN, E.; VAN DOOREN, W. 10 - Neuroscientific studies of mathematical thinking and learning: a critical look from a mathematics education viewpoint. **ZDM - Mathematics Education**, v. 48, n. 3, p. 385–391, 2016.

VON SPRECKESEN, M. *et al.* 1 - Let's Talk About Maths: The Role of Observed "Maths-Talk" and Maths Provisions in Preschoolers' Numeracy. **Mind, Brain, and Education**, v. 13, n. 4, p. 326–340, 2019.

WILKEY, E. D.; CUTTING, L. E.; PRICE, G. R. 9 - Neuroanatomical correlates of performance in a state-wide test of math achievement. **Developmental Science**, v. 21, n. 2, 2018.

WILKINSON, H. R. *et al.* 7 - Domain-Specific Inhibitory Control Training to Improve Children's Learning of Counterintuitive Concepts in Mathematics and Science. **Journal of Cognitive Enhancement**, v. 4, n. 3, p. 296–314, 2020.