

Potenciais Relativos a Eventos de Atividade Cerebral no Processamento da Atenção Matemática: uma revisão de escopo

Brain Event-Related Potentials in Mathematical Attention Processing: a scope review

Pamella Mendes Martiniano da Silva **CARDOSO**

Programa de Pós-Graduação em Neurociência e Comportamento – IP/USP

Laerte **FONSECA**

Programa de Pós-Graduação em Neurociência e Comportamento – IP/USP

Instituto Federal de Sergipe – IFS

Correspondência do autor:

pamellamart.n@gmail.com

RESUMO

Esta revisão de escopo, conduzida segundo as diretrizes PRISMA-ScR, teve como objetivo mapear os principais componentes de *Event-Related Potentials* (ERPs) cerebrais associados à atenção em tarefas matemáticas. A busca sistemática foi realizada nas bases PubMed e ScienceDirect, abrangendo publicações de janeiro de 2014 a junho de 2024. Foram incluídos estudos empíricos com indivíduos neurotípicos realizando tarefas matemáticas durante registro de ERPs, e excluídos estudos com populações clínicas, revisões e textos teóricos. Após triagem, 19 artigos foram analisados. Os estudos identificaram variações nos componentes P1 e N1 associados à atenção visual inicial, N2 (relacionado à inibição de respostas e detecção de conflito, P3 ligado à tomada de decisão e atualização d memória de trabalho, N400 envolvido no processamento semântico de fatos matemáticos e LPC refletindo integração tardia. Essas modulações ocorreram em função do desempenho dos participantes, tipo de estímulo e variáveis afetivas, como ansiedade matemática. Os achados destacam a sensibilidade dos ERPs a processos perceptuais, controle executivo, processamento semântico e regulação emocional na cognição matemática, além de evidenciar diferenças ao longo do desenvolvimento e influências da ansiedade matemática. A revisão reforça o potencial dos ERPs como marcadores neurofisiológicos para diagnósticos precoces e intervenções personalizadas, ao mesmo tempo que ressalta limitações decorrentes da heterogeneidade metodológica e amostral dos estudos atuais.

Palavras-chave: Matemática, ERP, EEG.

ABSTRACT

This scoping review, conducted according to the PRISMA-ScR guidelines, aimed to map the main components of brain event-related potentials (ERPs) associated with attention in mathematical tasks. The systematic search was carried out in the PubMed and ScienceDirect databases, covering publications from January 2014 to June 2024. Empirical studies with neurotypical individuals performing mathematical tasks during ERP recording were included, and studies with clinical



populations, reviews and theoretical texts were excluded. After screening, 19 articles were analyzed. The studies identified variations in the P1 and N1 components (associated with initial visual attention), N2 (related to response inhibition and conflict detection), P3/P300 (linked to decision-making and working memory updating), N400 (involved in the semantic processing of mathematical facts), and LPC (reflecting late Cognitive integration). These modulations occurred as a function of participant performance, stimulus type (symbolic or non-symbolic), and affective variables, such as math anxiety. The findings highlight the sensitivity of ERPs to perceptual processes, executive control, semantic processing and emotional regulation in mathematical cognition, in addition to highlighting differences throughout development and influences of mathematics anxiety. The review reinforces the potential of ERPs as neurophysiological markers for early diagnoses and personalized interventions, while also highlighting limitations arising from the methodological and sampling heterogeneity of current studies.

Keywords: Mathematic, ERP, EEG.



INTRODUÇÃO

A compreensão das bases cognitivas e neurais da aprendizagem matemática tem avançado significativamente nas últimas décadas, à medida que métodos de investigação cerebral vêm sendo incorporados às ciências da educação. Entre essas técnicas, o eletroencefalograma (EEG) destaca-se por registrar a atividade elétrica do cérebro por meio de sensores colocados no couro cabeludo, permitindo observar, em milissegundos, como o cérebro responde a diferentes estímulos. Essa alta resolução temporal faz do EEG uma ferramenta valiosa para investigar os processos mentais envolvidos na resolução de tarefas matemáticas. A partir desses registros, é possível extrair medidas conhecidas como potenciais relacionados a eventos (Event-Related Potentials - ERPs), que representam mudanças específicas na atividade elétrica cerebral associadas a eventos cognitivos, como perceber um número, resolver um cálculo ou detectar um erro. Esses componentes refletem processos como atenção, memória de trabalho, controle inibitório, detecção de erros e integração semântica (Luck, 2014; Wang et al., 2015).

A aprendizagem matemática é um domínio cognitivo complexo que exige a articulação de múltiplas funções executivas e habilidades de representação simbólica e não simbólica (Price e Wilkey, 2017). Dificuldades nessa área podem estar associadas tanto a fatores neurocognitivos — como déficits na codificação ou comparação de magnitudes — quanto a fatores afetivos, como a ansiedade matemática, que interfere negativamente na autorregulação e no desempenho (Ashcraft & Faust, 1994; Núñez-Peña & Campos-Rodríguez, 2024).

Componentes avaliados no EEG como o P3/P300 têm sido amplamente investigados em tarefas aritméticas, sendo associados à alocação de atenção, à verificação de respostas e à detecção de alvos esperados (Soylu et al., 2019). O componente P3 tende a apresentar maior amplitude e menor latência de pico em tarefas

com baixa demanda atencional. Em contrapartida, à medida que a exigência atencional aumenta, observa-se uma redução na amplitude do P3 e um aumento em sua latência (Polich, 2007). Já o aumento de amplitude do N2 costuma ser ativado em situações de conflito quando o cérebro detecta que a resposta intuitiva pode estar errada (Li et al., 2023). Outros componentes, como o P1 e N1 o têm sido implicados em etapas precoces de processamento visual e atenção inicial e preparação para a resposta motora, respectivamente (Hillyard, Vogel e Luck, 1998).

Além disso, fatores emocionais modulam de maneira significativa a atividade neural durante tarefas matemáticas (Núñez-Peña et al., 2021). Estudos mostram que a ansiedade matemática altera a ativação de componentes como o Correct-Response Negativity (CRN) e o Error-related Positivity (Pe), ambos ERPs associados ao monitoramento do desempenho. O CRN é uma atividade negativa observada mesmo após respostas corretas e está ligado à vigilância cognitiva durante a execução da tarefa. Já o Pe é uma resposta positiva que ocorre após erros e está relacionado à consciência do erro e à motivação para o ajuste comportamental. Indivíduos com alta ansiedade matemática tendem a apresentar menor amplitude do Pe e maior CRN, sugerindo menor sensibilidade a erros e maior esforço cognitivo mesmo diante de respostas corretas, o que pode comprometer o aprendizado por meio do feedback (Klawohn et al., 2020). Emoções negativas também impactam componentes como o P60000 e o N2, sugerindo interferência desde a codificação até a tomada de decisão (Melani, Fabre e Lemaire, 2025).

Dada a diversidade de componentes neurais envolvidos e a heterogeneidade das tarefas utilizadas nos estudos, é necessário mapear sistematicamente como diferentes aspectos da cognição matemática têm sido avaliados por meio do EEG. Esse mapeamento pode fornecer uma base sólida para futuras pesquisas e intervenções neuroeducacionais, além de identificar marcadores precoces de dificuldades



de aprendizagem.

Assim, o objetivo deste trabalho foi revisar estudos empíricos que utilizaram EEG para investigar a cognição matemática, mapeando quais componentes neurais foram analisados, em que tipos de tarefas e populações, e quais padrões se destacam em relação ao desempenho, estratégias cognitivas, fatores emocionais e desenvolvimento. Para isso, foi conduzida uma análise de 19 estudos empíricos, com foco nos achados relacionados aos ERPs e seu papel na compreensão dos mecanismos neurocognitivos da matemática.

METODOLOGIA

Esta revisão de escopo foi conduzida com base nas diretrizes PRISMA-ScR, com o objetivo de mapear os principais componentes de potenciais relacionados a eventos (ERPs) associados à atenção em tarefas matemáticas. A busca sistemática foi realizada nas bases de dados PubMed e ScienceDirect. A escolha por essas duas plataformas se justifica pelo foco temático da revisão: a PubMed foi incluída por sua cobertura consolidada e de alta qualidade nas áreas de neurociência e psicologia cognitiva, enquanto a ScienceDirect foi selecionada pela ampla indexação de periódicos de neurociência aplicada, eletrofisiologia e educação matemática com rigor metodológico. Optou-se por não incluir outras bases como Scopus ou Web of Science devido à alta sobreposição com os periódicos já indexados nas plataformas escolhidas após análise prévia de sobreposição entre resultados dessas bases em revisões similares.

A estratégia de busca combinou descritores controlados e termos livres, priorizando especificidade e abrangência. Foram utilizados os seguintes termos: (“event-related potentials” OR “ERP”) AND (“mathematics” OR “mathematical problem solving” OR “numerical cognition”), aplicados aos campos de título, resumo e palavras-chave. O recorte temporal incluiu publicações entre janeiro de 2014 e junho de 2024, buscando contemplar os estudos mais atualizados sobre o tema e acompanhando os avanços recentes nas

técnicas de análise de ERP e no desenho experimental de tarefas cognitivas.

A pergunta de pesquisa foi delineada com base na estratégia PEO. A população de interesse (P) incluiu indivíduos neurotípicos de diferentes faixas etárias (crianças, adolescentes e adultos). A exposição considerada (E) foi a realização de tarefas numéricas – como comparação numérica, multiplicação, contagem, verificação de magnitude ou pareamento simbólico e não simbólico – conduzidas durante o registro eletrofisiológico por meio de Potenciais Relativos a Eventos. O desfecho investigado (O) consistiu nas modulações observadas nos componentes dos ERPs associadas à atenção sustentada, ao controle inibitório, à detecção de erros, à integração semântica e à tomada de decisão em contextos aritméticos.

A triagem foi realizada a partir da análise dos títulos, resumos e textos completos, com base nos critérios de elegibilidade previamente definidos. Após remoção de duplicatas e aplicação dos critérios de exclusão, foram identificados inicialmente 122 artigos (105 na ScienceDirect e 17 na PubMed), dos quais 19 atenderam a todos os critérios de inclusão e foram considerados na análise final.

RESULTADOS

A análise dos 19 estudos revelou que diferentes componentes dos potenciais relacionados a eventos (ERPs) se associam a etapas específicas do processamento matemático. Os componentes P1 e N1 foram modulados por aspectos perceptuais e atencionais; o N2, por conflito cognitivo e inibição de resposta; o P3/P300, por tomada de decisão e verificação de acertos; o N400, por processamento semântico e familiaridade com os fatos aritméticos; e o LPC, por integração cognitiva de informações e encerramento de resposta. Tais variações ocorreram de acordo com o tipo de tarefa e o perfil dos participantes, como nível de desempenho ou ansiedade matemática. As amostras variaram entre 24 (Melani, Fabre & Lemaire, 2025; Rivera & Soylyu, 2021; Sabaghypour et al., 2023) e 159 participantes. O estudo com maior amostra foi conduzido por Grenier e colaboradores (2020),



com 159 participantes, sendo 99 pré-adolescentes e 60 adultos universitários.

Diversos componentes de ERP foram identificados ao longo dos estudos, cada qual associado a diferentes etapas do processamento cognitivo em tarefas matemáticas. Os componentes P1, N1 e P3 foram utilizados por Soylyu e colaboradores (2019), enquanto Lin e colaboradores (2023) também incluíram o componente *Bereitschaftspotential* (BP), relacionado à preparação motora e cognitiva antes da apresentação do estímulo. O componente P3 (ou P300) foi um dos mais frequentemente analisados, aparecendo também nos estudos de Melani, Fabre e Lemaire (2025), Klados e colaboradores (2017), Li e colaboradores (2023), Rivera e Soylyu (2021), Sabaghypour e colaboradores (2023), Dickson e Wicha (2019), Grenier e colaboradores (2020), e Núñez-Peña, Colomé e González-Gómez (2021). O componente N2 foi investigado por Melani, Fabre e Lemaire (2025), Klados e colaboradores (2017), Li e colaboradores (2023), Gómez-Velázquez e colaboradores (2015), e Bagnoud e colaboradores (2021). Já os componentes ERN (Negatividade Relacionada ao Erro) e Pe (Positividade do Erro) foram explorados por Núñez-Peña e Campos-Rodríguez (2024). O componente N400, associado ao processamento semântico, foi analisado por Dickson e colaboradores (2022), Grenier e colaboradores (2020), Tejero e Macizo (2020), Bagnoud e colaboradores (2021) e Dickson e Federmeier (2017). Por fim, o componente LPC (Late Positive Component) foi examinado por Tejero e Macizo (2020), Jang e Hyde (2020) e Dickson e Federmeier (2017).

As tarefas empregadas variaram amplamente, refletindo o caráter multidimensional da cognição matemática. Soylyu e colaboradores (2019) analisaram a percepção de configurações numéricas com montring e contagem de dedos. Núñez-Peña e Campos-Rodríguez (2024) utilizaram uma tarefa de verificação aritmética simples. Melani, Fabre e Lemaire (2025) avaliaram problemas complexos de multiplicação sob influência emocional. Klados e colaboradores (2017) e Li e colaboradores (2023) exploraram a resolução de problemas congruentes e incongruentes. Wang e colaboradores (2015) aplicaram uma tarefa de codificação de memória digital.

Grenier e colaboradores (2020) investigaram a resolução de multiplicações simples em diferentes faixas etárias. Shen, Liu e Chen (2018) utilizaram tarefas *n-back* espaciais e verbais para avaliar a memória de trabalho em crianças. Gómez-Velázquez, Berumen e González-Garrido (2015) aplicaram tarefas de comparação simbólica e não simbólica. Dickson e colaboradores (2022) solicitaram julgamentos de multiplicações de um dígito, variando entre problemas pequenos e grandes. Núñez-Peña, Colomé e González-Gómez (2021) aplicaram uma tarefa de comparação numérica para investigar o efeito SNARC. Lin e colaboradores (2023) utilizaram tarefas de pareamento de quantidades racionais, com estímulos simbólicos e não simbólicos. Rivera e Soylyu (2021) aplicaram uma tarefa de verificação de magnitude de frações. Tejero e Macizo (2020) analisaram a resolução de adições simples com operandos fáceis e difíceis. Bagnoud, Dewi e Thevenot (2021) aplicaram operações simples envolvendo operandos iguais, diferentes e com o número 1. Jang e Hyde (2020) avaliaram a soma não simbólica com julgamentos de correspondência numérica. Sabaghypour e colaboradores (2023) relacionaram números e lateralidade manual, considerando hábitos individuais de contagem. Dickson e Federmeier (2017) e Dickson e Wicha (2019) investigaram julgamentos de correção de multiplicações simples com variações na plausibilidade da resposta e na forma de apresentação (visual ou auditiva).

De modo geral, os estudos revisados evidenciaram que componentes precoces como P1 e N1 refletem a atenção visual inicial e diferem conforme o tipo de estímulo e o nível de proficiência matemática (Soylyu et al., 2019; Lin et al., 2023). O componente N2 mostrou-se sensível a situações de conflito e controle inibitório, apresentando maior amplitude em tarefas incongruentes (Li et al., 2023; Klados et al., 2017). O P3/P300 foi consistentemente associado à tomada de decisão, à verificação de respostas e à detecção de incongruências, com maior amplitude em condições de menor carga atencional ou em respostas corretas (Grenier et al., 2020; Sabaghypour et al., 2023; Dickson & Wicha, 2019). O componente N400 esteve relacionado ao processamento semântico e ao acesso à memória aritmética, apresentando



maior negatividade em problemas incorretos ou mais complexos (Grenier et al., 2020; Dickson et al., 2022). Já o LPC refletiu processos de avaliação cognitiva tardia e integração afetivo-semântica, sendo modulado por fatores como dificuldade da tarefa, plausibilidade da resposta e presença de emoções negativas (Tejero & Macizo, 2020; Jang & Hyde, 2020; Dickson & Federmeier, 2017; Melani et al., 2025). Além disso, componentes como ERN e Pe indicaram o monitoramento de erros e a regulação emocional, sendo modulados pela ansiedade matemática (Núñez-Peña & Campos-Rodríguez, 2024). O Quadro 1, a seguir, sintetiza os dados principais de cada estudo incluído nesta revisão.

Quadro 1 – Resultados

Autor	Amostra	Tarefa	Principais Resultados
Soylu et al., 2019	46 Estudantes de Graduação	Duas formas de configuração de dígitos numéricos; montring de dedos e contagem de dedos. Montring se refere a como as pessoas levantam os dedos para mostrar numerosidades aos outros.	Maior positividade na faixa P1/N1 no montring. Montring e contagem mostraram maior positividade na faixa P3.
Núñez-Peña & Campos-Rodríguez, 2024	46 Estudantes de Graduação (23 HMA e 23 LMA)	Tarefa de verificação aritmética	Indivíduos LMA apresentaram amplitudes de CRN menos negativas e mais positivas de Pe do que seus pares mais ansiosos.
Melani, Fabre & Lemaire, 2025	24 Estudantes da Força Aérea da Francesa	Problemas Complexos de Multiplicação	Emoções negativas anteciparam o pico do componente P1 em problemas verdadeiros com o número cinco e não relacionados ao cinco, reduziram as amplitudes dos componentes P300 e P60000 em problemas falsos sem violação de regras, anteciparam
Klados et al., 2017	32 (16 HMA e 16 LMA)	Resolução de Problemas Congruentes e Incongruentes	a latência do N2 e aumentaram o LPC em problemas que violavam a regra de paridade, e anteciparam o N2 em regiões centrais, mas atrasaram esse mesmo componente em regiões pré-frontais direitas para problemas que violavam simultaneamente as regras do cinco e da paridade. Aumento da amplitude de P2 quando os alunos resolveram problemas congruentes e aumento da amplitude de N2 e diminuição de P3 quando resolveram problemas incongruentes.
Wang et al., 2015	36 pré-adolescentes selecionados de diversas escolas primárias em Kaifeng, China (18 controles e 18 com dislexia)	Codificação de memória digital	No período de 500-600 ms, o efeito Dm no grupo controle foi significativamente maior do que no grupo com dislexia apenas na região parietal.
Grenier et al., 2020	99 pré-adolescentes e 60 estudantes da Aristotle University of Thessaloniki	Soluções para problemas simples de multiplicação ($2 \times 3 = 6$ ou $= 7$)	Efeito N400 para soluções de multiplicação com maior amplitude (mais negativa) para soluções incorretas do que corretas em crianças. Resposta P300 para soluções corretas, sugerindo que eles tratavam essas soluções como alvos potenciais em expressões matemáticas excessivamente ensaiadas em adultos.
Shen, Liu & Chen, 2018	42 crianças do sexto ano (14 HMA, 14 LMA e 14	N-Back espacial e verbal	Alunos com alto desempenho em matemática superaram alunos com desempenho



	AMA)		médio à medida que a carga de memória aumentou. Alunos com alto desempenho em matemática apresentaram amplitudes P3 aumentadas nas tarefas n-back espaciais e verbais.			Tarefas de pareamento de quantidades racionais, com dois tipos de estímulos: Não-simbólicos e Simbólicos. Dois tipos de condições: Pareamento discretizado (com estímulos bem separados). Pareamento contínuo (com estímulos mais próximos ou ambíguos)	HA teve melhor desempenho na tarefa com estímulos não-simbólicos discretos. Nos pareamentos contínuos, HA e LA tiveram desempenhos semelhantes. BP foi maior nos estudantes HA. N1 foi maior em HA para números não-simbólicos. P1 foi maior em HA para números simbólicos. Maior BP e N1 associaram-se a tempos de reação mais curtos. Maior P1 correlacionou-se a menor taxa de erro.
Gómez-Velázquez, Berumen & González-Garrido, 2015	45 crianças de 8 a 10 anos (15 LA, 15 AA e 15 HA)	Comparação simbólica – comparar números representados por símbolos (ex: dígitos como "4" e "7"). Comparação não simbólica – comparar quantidades visuais (ex: conjuntos de pontos).	Crianças LA tiveram dificuldades especialmente com magnitudes simbólicas (erros frequentes). N200 teve maior amplitude nas comparações não simbólicas. P2P foi menor em crianças LA, tanto para simbólicas quanto não simbólicas. Latência do P3 variou conforme o tipo de comparação (simbólica vs não simbólica).	Lin et al., 2023	48 estudantes universitários (24 HMA e 24 LMA)		
				Li et al., 2023	34 estudantes de graduação da Universidade de Shenzhen	Resolução de Problemas Congruentes e Incongruentes	Aumento da amplitude de P2 quando os alunos resolveram problemas congruentes e aumento da amplitude de N2 e diminuição de P3 quando resolveram problemas incongruentes.
Dickson et al., 2022	57 crianças do 3º ao 5º ano do Ensino Fundamental	Participantes julgaram a correção de problemas de multiplicação de um dígito, apresentados como uma sequência de três dígitos, que eram pequenos (por exemplo, 4 3 12 vs. 4 3 16) ou grandes (por exemplo, 8 7 56 vs. 8 7 64)	Maior amplitude do N400 em problemas grandes corretos do que em problemas pequenos corretos. Soluções incorretas não mostraram modulação do N400 pelo tamanho do problema. Foi observado um efeito tardio de tamanho do problema, mesmo nas soluções incorretas.	Rivera & Soyly, 2021	24 adultos	Tarefa de verificação de magnitude de frações. Condições: Matching (correspondência/magnitude de igual) Mismatching (magnitude diferente)	Respostas mais lentas para frações com magnitudes diferentes. Trials incongruentes evocaram um N270 frontal. Trials congruentes (matching) evocaram um P300 parietal.
Núñez-Peña, Colomé & González-Gómez, 2021	40 estudantes do sexo feminino da Universidade de Barcelona (20 HMA e 20 LMA)	Tarefa de comparação numérica: os participantes comparavam números que foi usada para investigar o efeito SNARC.	Indivíduos HMA mostraram um efeito SNARC mais forte do que LMAs. Em HMA, o efeito SNARC apareceu principalmente em números grandes. No grupo HMA, o P3b foi menos positivo em trials incongruentes com números grandes. Esse padrão não foi observado no grupo LMA.	Tejero & Macizo, 2020	30 adultos	Tarefa de resolução de adições simples com operandos de um dígito. Dois tipos de problemas: Fáceis operandos entre 1 e 4. Controles/difíceis com pelo menos um operando maior que 4.	Não houve modulação significativa do N400 entre os dois tipos de problema. Problemas mais difíceis evocaram LP mais positivo, especialmente em regiões posteriores (P3 e Pz).
				Bagnoud, Dewi &	25 (16 deles eram	Os participantes	Sem diferenças no N400. Menor



Thevenot, 2021	estudantes de graduação de psicologia da Universidade de Lausanne. 9 eram estudantes de outras faculdades em universidades suíças.	resolveram operações aritméticas simples, de três tipos: Tie problems: operandos repetidos (ex.: $4 + 4$). Non-tie problems: operandos diferentes (ex.: $4 + 3$). 1-problems: problemas envolvendo o número 1 (ex.: $1 + 7$)	negatividade no N2 para tie problems. 1-problems também mostraram N2 menos negativo.			direita e grandes com a esquerda; para quem começa pela esquerda, era o contrário. Combinações diferentes dessas eram consideradas incongruentes.	
Jang & Hyde, 2020	34 adultos	Soma não simbólica seguida por um conjunto-prova com outro número de pontos. A tarefa era julgar se esse conjunto-prova era igual à soma dos dois primeiros.	O LPC refletiu o momentum operacional (diferença entre somas maiores ou menores que o esperado), independentemente do campo visual. Isso indica uma dissociação temporal e funcional entre o processamento de magnitude e o processamento ordinal.	Dickson & Federmeier, 2017	30 jovens adultos	Participantes viam expressões de multiplicação simples seguida de um número-resposta, que podia aparecer no centro da tela (atenção conjunta) ou em um dos lados (esquerdo ou direito), ativando preferencialmente o hemisfério cerebral oposto. O número apresentado podia ser a resposta correta, incorreta mas parecida com a correta (como 11 em vez de 12), ou incorreta e não relacionada (como 19 em vez de 12). A tarefa era julgar se a resposta estava certa ou errada.	Ambos os hemisférios respondem à correção da resposta. O hemisfério direito mostrou uma resposta LPC mais prolongada para respostas erradas. O tamanho da LPC foi modulado pela confusabilidade da resposta: quanto mais o número incorreto parecia plausível, menor era a LPC.
Sabaghyour et al., 2023	24 adultos	Na tarefa, os participantes viam primeiro um número pequeno ou grande, seguido por uma imagem de uma mão (esquerda ou direita), e tinham que indicar rapidamente qual mão foi apresentada. A congruência entre número e mão dependia do hábito individual de contagem com os dedos: para quem começa a contar pela mão direita, números pequenos combinavam com a mão	Tempo de Reação mais rápidos nos trials congruentes. Amplitude do P300 maior nos trials incongruentes. Atraso no P300 no processamento incongruente.	Dickson & Wicha, 2019	32 adultos	Os participantes viam ou ouviam problemas de multiplicação simples, como: $2 \times 4 = 8$ (correto, problema pequeno), $8 \times 7 = 56$ (correto, problema	P300 maior em problemas fáceis.). Problemas grandes e incorretos associaram-se a P300 muito reduzido



	grande), $2 \times 4 = 9$ (incorreto, problema pequeno), $8 \times 7 = 48$ (incorreto, problema grande). Eles deviam julgar se a solução era correta ou incorreta. Dois formatos de apresentação dos operandos: Dígitos escritos (ex.: 2×4). Palavras faladas (ex.: “dois vezes quatro”)	
--	--	--

Nota: LA= Baixo Desempenho em Matemática; AA = Médio Desempenho em Matemática; HA= Alto Desempenho em Matemática;

HMA= Alta Ansiedade Matemática; LMA= Baixa Ansiedade Matemática; AMA = Média Ansiedade Matemática; SNARC= Spatial-Numerical Association of Response Codes; BP= Potencial de Prontidão (um potencial negativo de crescimento lento em áreas parietal anterior e pré-central de ambos os hemisférios, cerca de 800 ms antes do início de um movimento rápido dos dedos; LP = Late Positivity;

Fonte: Os autores.

DISCUSSÕES

Os achados desta revisão indicam que os potenciais relacionados a eventos (ERPs) fornecem uma janela privilegiada para compreender os mecanismos neurais envolvidos na cognição matemática, desde os estágios iniciais de percepção visual até processos mais tardios de monitoramento de erros e regulação emocional. Os diferentes componentes de ERP, como o P1, N1, N2, P3, N400, LPC, entre outros, mostram-se sensíveis a aspectos distintos da tarefa matemática, refletindo tanto a natureza do estímulo (simbólico vs. não simbólico), quanto o estado afetivo e cognitivo do indivíduo.

Componentes precoces, como o P1 e o N1,

refletem processos perceptuais e atencionais iniciais e foram modulados por características do estímulo e do desempenho do indivíduo (Hillyard, Vogel e Luck, 1998). Por exemplo, indivíduos com maior proficiência matemática demonstraram maior amplitude nesses componentes, sugerindo maior eficiência na alocação inicial de atenção visual a estímulos numéricos (Lin et al., 2023) achado que reforça evidências anteriores de que a expertise modifica precocemente a forma como os estímulos são processados no cérebro associado à modulação dos componentes P1 e N1 (Orlandi e Proverbio, 2019).

Componentes relacionados ao controle executivo, como o N2 e o BP (Bereitschaftspotential), foram particularmente sensíveis a demandas de inibição, conflito e preparação cognitiva. A ativação do BP antes mesmo da apresentação do estímulo sugere que indivíduos com alto desempenho matemático se preparam com mais eficiência para tarefas de pareamento numérico (Lin et al., 2023). Esse achado se alinha com a literatura sobre antecipação motora e tomada de decisão (Shibasaki & Hallett, 2006), e sugere que a performance matemática pode ser parcialmente predita por padrões cerebrais prévios à resposta.

Já os componentes P3/P300 e LPC mostraram ampla participação em tarefas que exigem tomada de decisão, alocação de atenção e atualização da memória de trabalho (Polich, 2007). Os estudos revisados demonstraram que a amplitude e latência desses componentes são moduladas por variáveis como dificuldade da tarefa, correção da resposta, congruência semântica, ansiedade matemática e presença de emoções negativas (Melani et al., 2025; Dickson & Wicha, 2019; Li et al., 2023; Núñez-Peña et al., 2021). Em especial, o P300 apresentou uma resposta robusta a soluções corretas de problemas matemáticos, o que sugere seu envolvimento em processos de verificação e detecção de alvos esperados (Polich, 2007).

Os componentes N400 e N270, tradicionalmente associados ao processamento semântico e à detecção de conflito, também



mostraram sensibilidade a variáveis matemáticas. O N400 foi modulado pelo tamanho do problema e pela plausibilidade da resposta, Dickson e colaboradores (2022) demonstraram que maior amplitude do componente N400 associou-se a respostas corretas a problemas grandes, reforçando a noção de que o processamento semântico é influenciado pela familiaridade com os fatos aritméticos. Já o N270 frontal foi ativado por incongruências entre frações, evidenciando conflito semântico em representações numéricas complexas (Rivera & Soylu, 2021).

Do ponto de vista afetivo, os componentes ERN e Pe mostraram-se promissores como indicadores da regulação emocional durante a resolução de problemas. Indivíduos com baixa ansiedade matemática apresentaram menor negatividade no CRN e maior positividade no Pe, sugerindo um padrão de hipersensibilidade ao erro, com menor adaptação comportamental posterior (Núñez-Peña & Campos-Rodríguez, 2024). Esse padrão reforça o modelo de interrupção emocional da performance matemática, no qual a ansiedade interfere no monitoramento eficiente de erros (Ashcraft & Faust, 1994).

Destaca-se ainda a importância do desenvolvimento na modulação dos Potenciais Relacionados a Eventos, particularmente em crianças em fase escolar. Os dados de Gómez-Velázquez e colaboradores (2015) demonstram que crianças apresentam padrões diferenciados de ativação neural a depender do tipo de tarefa (simbólica ou não simbólica) e do desempenho escolar. Crianças com baixo desempenho exibiram menores amplitudes no componente P2P. Além disso, a amplitude do P2P apresentou correlação positiva com as pontuações no WRAT-4, um teste padronizado de habilidades acadêmicas. Essa correlação sugere que uma resposta neural mais robusta (maior P2P) está associada a melhor desempenho escolar. Em outras palavras, o P2P pode funcionar como um marcador neurofisiológico da proficiência acadêmica, refletindo a eficiência do processamento numérico simbólico e não

simbólico.

Já Dickson e colaboradores (2022), ao investigarem crianças do 3º ao 5º ano na resolução de multiplicações simples, observaram uma modulação significativa do componente N400 pelo tamanho do problema nas soluções corretas. Problemas maiores e corretos evocaram maior amplitude do N400, sugerindo maior exigência de acesso à memória semântica. Além disso, foi identificado um efeito tardio (pós-N400) mesmo nas respostas incorretas, o que pode indicar uma alocação cognitiva mais prolongada em tarefas de maior dificuldade.

Apesar desses avanços, alguns fatores dificultam a generalização dos achados. A heterogeneidade amostral, que inclui desde crianças a adultos com diferentes níveis de proficiência e ansiedade matemática, e as variações metodológicas entre os estudos — como tipos de tarefas, estímulos e componentes ERP analisados — impõem limites à comparabilidade direta. Além disso, a maioria dos estudos utiliza amostras pequenas e métodos laboratoriais controlados, o que pode não refletir plenamente a complexidade da aprendizagem matemática em contextos naturais e variados.

Por outro lado, essas limitações também funcionam como pontos positivos, ao revelar a riqueza e a complexidade dos processos neurais envolvidos na matemática, estimulando abordagens multimodais e longitudinalmente orientadas para capturar nuances de desenvolvimento e interação afetiva-cognitiva. A identificação de múltiplos marcadores neurofisiológicos específicos para diferentes componentes da cognição matemática sugere caminhos promissores para intervenções educacionais personalizadas e diagnósticos precoces, adaptados ao perfil individual.

Em suma, a análise dos ERPs no contexto da matemática fornece insights valiosos que complementam as abordagens comportamentais, abrindo espaço para uma compreensão integrada do desempenho acadêmico e dos desafios enfrentados por diferentes perfis de aprendizes.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os potenciais relacionados a eventos (ERPs) oferecem uma ferramenta valiosa para desvendar os processos neurais que sustentam a cognição matemática em diferentes faixas etárias e níveis de proficiência. Componentes como P1, N1, N2, P3, N400 e LPC refletem etapas variadas, desde a percepção visual até o monitoramento de erros e a regulação emocional durante tarefas matemáticas. A modulação desses componentes por fatores como ansiedade matemática, tipo de estímulo e desenvolvimento cognitivo reforça a complexidade da rede neural envolvida.

Embora a heterogeneidade das amostras e métodos dificulte a generalização dos resultados, esses desafios também estimulam o desenvolvimento de abordagens mais abrangentes e personalizadas para a educação matemática. A identificação de marcadores neurofisiológicos específicos abre possibilidades para diagnósticos precoces e intervenções direcionadas, potencialmente contribuindo para melhorar a aprendizagem e o desempenho em matemática.

Assim, esta revisão ressalta o papel central dos ERPs como janela para compreender os fundamentos neurais da matemática, promovendo avanços teóricos e práticos na interface entre neurociência, educação e psicologia cognitiva.

REFERÊNCIAS

- ASHCRAFT, M. H.; FAUST, M. W. Mathematics anxiety and mental arithmetic performance: An exploratory investigation. *Cognition and Emotion*, v. 8, n. 2, p. 97–125, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1080/02699939408408931>.
- BAGNOUD, J. et al. Arithmetic word problems describing discrete quantities: EEG evidence for the construction of a situation model. *Acta Psychologica*, v. 190, p. 116–121, 2018. DOI: 10.1016/j.actpsy.2018.07.008.
- BAGNOUD, J.; DEWI, J.; THEVENOT, C. Differences in event-related potential (ERP) responses to small tie, non-tie and 1-problems in addition and multiplication. *Neuropsychologia*, v. 153, 2021. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2021.107771.
- DICKSON, D. S.; FEDERMEIER, K. D. The language of arithmetic across the hemispheres: An event-related potential investigation. *Brain Research*, v. 1662, p. 46–56, 2017. DOI: 10.1016/j.brainres.2017.02.019.
- DICKSON, D. S.; WICHA, N. Y. Y. P300 amplitude and latency reflect arithmetic skill: An ERP study of the problem size effect. *Biological Psychology*, v. 148, 2019. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2019.107745.
- DICKSON, D. S. et al. When multiplying is meaningful in memory: Electrophysiological signature of the problem size effect in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, v. 219, 2022. DOI: 10.1016/j.jecp.2022.105399.
- GÓMEZ-VELÁZQUEZ, F. R.; BERUMEN, G.; GONZÁLEZ-GARRIDO, A. A. Comparisons of numerical magnitudes in children with different levels of mathematical achievement: An ERP study. *Brain Research*, v. 1627, p. 189–200, 2015. DOI: 10.1016/j.brainres.2015.09.009.
- GRENIER, A. E. et al. Meaning to multiply: Electrophysiological evidence that children and adults treat multiplication facts differently. *Developmental Cognitive Neuroscience*, v. 46, 2020. DOI: 10.1016/j.dcn.2020.100873.
- JANG, S.; HYDE, D. C. Hemispheric asymmetries in processing numerical meaning in arithmetic. *Neuropsychologia*, v. 146, 2020.



DOI:

10.1016/j.neuropsychologia.2020.107524.

KLADOS, M. A. et al. Math anxiety: Brain cortical network changes in anticipation of doing mathematics. *International Journal of Psychophysiology*, v. 122, p. 24–31, 2017. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2017.05.003.

LI, X. et al. The role of inhibition in overcoming arithmetic natural number bias in the Chinese context: Evidence from behavioral and ERP experiments. *Learning and Instruction*, v. 86, 2023. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2023.101752.

LIN, P. et al. Early neural markers for individual difference in mathematical achievement determined from rational number processing. *Neuropsychologia*, v. 181, 2023. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2023.108493.

MELANI, P.; FABRE, L.; LEMAIRE, P. How negative emotions influence arithmetic problem-solving processes: An ERP study. *Neuropsychologia*, v. 211, 2025. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2025.109132.

NÚÑEZ-PEÑA, M. I.; COLOMÉ, À.; GONZÁLEZ-GÓMEZ, B. The SNARC effect in highly math-anxious individuals: An ERP study. *Biological Psychology*, v. 161, 2021. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2021.108062.

NÚÑEZ-PEÑA, M. I.; CAMPOS-RODRÍGUEZ, C. Response monitoring in math-anxious individuals in an arithmetic task. *Biological Psychology*, v. 186, 2024. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2024.108759.

POLICH, J. Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, v. 118, n. 10, p. 2128–2148, 2007. DOI: 10.1016/j.clinph.2007.04.019.

PRICE, G.; WILKEY, E. Cognitive

mechanisms underlying the relation between nonsymbolic and symbolic magnitude processing and their relation to math. *Cognitive Development*, v. 44, p. 139–149, 2017. DOI: 10.1016/j.cogdev.2017.09.003.

RIVERA, B.; SOYLU, F. Incongruity in fraction verification elicits N270 and P300 ERP effects. *Neuropsychologia*, v. 161, 2021. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2021.108015.

SABAGHYPOUR, S. et al. Do numbers make us handy? Behavioral and electrophysiological evidence for number-hand congruency effect. *Acta Psychologica*, v. 233, 2023. DOI: 10.1016/j.actpsy.2023.103841.

SHEN, I. H.; LIU, P. Y.; CHEN, C. L. Neural correlates underlying spatial and verbal working memory in children with different mathematics achievement levels: An ERP study. *International Journal of Psychophysiology*, v. 133, p. 149–158, 2018. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2018.07.006.

SHIBASAKI, H.; HALLETT, M. What is the Bereitschaftspotential? *Clinical Neurophysiology*, v. 117, n. 11, p. 2341–2356, 2006. DOI: 10.1016/j.clinph.2006.04.025.

SOYLU, F. et al. ERP differences in processing canonical and noncanonical finger-numeral configurations. *Neuroscience Letters*, v. 705, p. 74–79, 2019. DOI: 10.1016/j.neulet.2019.04.032.

TEJERO, G.; MACIZO, P. Simple additions: Dissociation between retrieval and counting with electrophysiological indexes. *International Journal of Psychophysiology*, v. 149, p. 48–59, 2020. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2020.01.001.

WANG, E. et al. Digital memory encoding in Chinese dyscalculia: An event-related potential study. *Research in Developmental Disabilities*, v. 36C, p. 142–149, 2015. DOI: 10.1016/j.ridd.2014.09.020.

