



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)  
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA (IME)  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM  
MATEMÁTICA EM REDE NACIONAL (PROFMAT)



LEILIANE VIEIRA DE LIMA CHAGAS

**DIÁLOGOS ENTRE AS NEUROCIÊNCIAS COGNITIVAS  
E A MATEMÁTICA: uma revisão sistemática da  
literatura**

Goiânia

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

#### 1. Identificação do material bibliográfico

☒ Dissertação    ☐ Tese    ☐ Outro\*: \_\_\_\_\_

\*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

#### 2. Nome completo do autor

Leiliane Vieira de Lima Chagas

#### 3. Título do trabalho

Diálogos entre as Neurociências Cognitivas e a Matemática: uma revisão sistemática da literatura.

#### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM    ☐ NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
- b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Karly Barbosa Alvarenga, Professor do Magistério Superior**, em 17/12/2024, às 17:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leiliane Vieira De Lima Chagas, Discente**, em 04/01/2025, às 18:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5034944** e o código CRC **00C366EE**.

Referência: Processo nº 23070.058211/2024-99

SEI nº 5034944

LEILIANE VIEIRA DE LIMA CHAGAS

# **DIÁLOGOS ENTRE AS NEUROCIÊNCIAS COGNITIVAS E A MATEMÁTICA: uma revisão sistemática da literatura**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional, do Instituto de Matemática e Estatística (IME), da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de Mestre em Matemática.

**Área de concentração:** Matemática da Educação Básica.

**Linha de pesquisa:** Matemática no Ensino Básico

**Orientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Karly Barbosa Alvarenga

Goiânia

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Chagas, Leiliane Vieira de Lima  
Diálogos entre as neurociências cognitivas e a matemática:  
[manuscrito] : uma revisão sistemática da literatura / Leiliane Vieira de  
Lima Chagas. - 2025.  
CLXXXIV, 184 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Karly Barbosa Alvarenga.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto  
de Matemática e Estatística (IME), PROFMAT - Programa de Pós  
graduação em Matemática em Rede Nacional - Sociedade Brasileira  
de Matemática (RG), Goiânia, 2025.

Bibliografia. Apêndice.

Inclui siglas, abreviaturas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista  
de tabelas.

1. neurociências cognitivas. 2. ensino de matemática. 3.  
aprendizagem. 4. revisão bibliográfica. I. Alvarenga, Karly Barbosa ,  
orient. II. Título.

CDU 51



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA  
**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Ata nº **25** da sessão de Defesa de Dissertação de Leiliane Vieira de Lima Chagas, que confere o título de Mestra em Matemática, na área de concentração em Matemática do Ensino Básico.

Aos doze dias do mês de dezembro de dois mil e vinte e quatro, a partir das 15h, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de defesa de dissertação intitulada “**Diálogos entre as Neurociências Cognitivas e a Matemática: uma revisão sistemática da literatura.**” Os trabalhos foram instalados pela Orientadora, Professora Doutora Karly Barbosa Alvarenga (IME/UFV) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora Ana Paula De Almeida Saraiva Magalhães (UEG) e a Professora Doutora Selma Marques de Paiva (UEG) membras titulares externos. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da dissertação, tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pela Professora Doutora Karly Barbosa Alvarenga, presidenta da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos doze dias do mês de dezembro de dois mil e vinte e quatro.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Karly Barbosa Alvarenga, Professor do Magistério Superior**, em 17/12/2024, às 17:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **SELMA MARQUES DE PAIVA, Usuário Externo**, em 18/12/2024, às 19:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula De Almeida Saraiva Magalhães, Usuário Externo**, em 06/01/2025, às 15:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufv.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufv.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4965829** e o código CRC **FD6A0E96**.

Referência: Processo nº 23070.058211/2024-99

SEI nº 4965829

Aos meus pais, Maria de Lourdes e Osmino Vieira (*in memoriam*), ao meu esposo,  
João Roque Filho, e à minha filha Agnes e ao bebê que carrego em meu ventre.

---

## **AGRADECIMENTOS**

---

Agradeço primeiramente a Deus, por sua constante presença e por me conceder força e sabedoria ao longo de toda esta jornada. Sem sua mão guiando meus passos eu não teria chegado até aqui. A Ele toda a minha gratidão por cada vitória e superação.

À minha família expresso meu mais profundo reconhecimento. À minha mãe, Maria de Lourdes, por seu amor incondicional, por sempre me apoiar em todos os momentos e me ajudar tanto com minha filha, cuidando dela com toda dedicação nos momentos em que precisei me ausentar para estudar e trabalhar. Ao meu esposo, João Roque Filho, pela paciência, compreensão e companheirismo ao longo de todo o percurso, e à nossa filha, Agnes, que nasceu em meio a esse sonho e trouxe ainda mais luz para minha caminhada.

Minha sincera gratidão à minha orientadora, Dra. Karly Barbosa, que me acolheu com carinho e cuidado, oferecendo não apenas orientação acadêmica, mas também apoio emocional, sendo peça fundamental para a realização deste trabalho.

À equipe do colégio onde trabalho, CEPMG Manoel Vilaverde, agradeço a paciência e compreensão, reconhecendo que, em muitos momentos, a rotina exaustiva me impediu de realizar minhas tarefas como deveria. Sou grata por me apoiarem durante este período tão desafiador.

Aos companheiros de biblioteca, especialmente o Lucas Lemes, que me acompanhou por longas horas de estudo, agradeço a companhia e pelos momentos de apoio mútuo que tornaram a jornada menos solitária.

Por fim, aos colegas de curso, especialmente Josiane, Daniely, Alissany, Lydia, Lidiane e Sandro, que dividiram comigo os desafios, as alegrias e as conquistas ao longo desta caminhada, deixo meu agradecimento pelo companheirismo e pelas valiosas trocas de conhecimento.

A todos minha mais sincera gratidão.

---

## RESUMO

---

CHAGAS, Leiliane Vieira de Lima. **Diálogos entre as neurociências cognitivas e a matemática**: uma revisão sistemática da literatura. 2025. 184 f. Dissertação (Mestrado em Matemática) - Instituto de Matemática e Estatística, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2025.

A presente dissertação traz o resultado de uma pesquisa que teve, como objeto de investigação, as publicações científicas mapeadas, as experiências que esses autores vivenciaram e as intersecções entre os resultados encontrados nessas pesquisas. O objetivo principal foi analisar, de forma descritiva, as possíveis contribuições das neurociências cognitivas encontradas nos estudos mapeados para o ensino e a aprendizagem de matemática, e como pergunta investigativa: Quais as possíveis contribuições dos estudos selecionados para o ensino e a aprendizagem de matemática? Desse modo, desenvolveu-se uma pesquisa com abordagem qualitativa do tipo bibliográfica exploratória e descritiva, com semelhanças que a aproximam de um estado da arte. Para a seleção das obras mapeadas foram utilizadas as bases de dados Google Acadêmico, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, bem como periódicos das instituições UEG, UFG, UFMG e UNESP, além de um banco de dados estruturado anteriormente e compartilhado pela orientadora. O recorte temporal considerado foi de 2010 a 2023, pois o interesse foi observar o que está sendo produzido sobre neurociências na atualidade. O corpus foi composto por 20 publicações entre artigos científicos, capítulos de livros, monografias, dissertações e teses. Estes foram categorizados em relação às suas abordagens metodológicas, ao alinhamento dos objetivos relacionados à matemática, à quantidade de obras produzidas em cada ano do recorte temporal, aos resultados que emergiram desses trabalhos e à relação entre os termos “matemática”, “neurociências” e “ensino” identificadas em seus títulos e nas palavras-chave. Os resultados reforçam a ideia de que o cerne da aprendizagem está no desenvolvimento de funções executivas. Portanto, a intersecção entre as neurociências cognitivas e a educação pode ser positiva, pois fornece subsídios para práticas pedagógicas mais eficazes e que mitiguem falsas crenças sobre o aprender matemática. É preciso que pesquisadores dos dois campos se voltem para pesquisas nessa ótica a fim de construir modelos teóricos que sirvam de inspiração para serem utilizados em salas de aulas. Esse trabalho apresenta um quadro com excertos extraídos das obras, sintetizando as contribuições elencadas pelos autores e, como consequência, produziu-se um livro paradidático que evidencia aspectos cerebrais importantes para a aprendizagem de matemática.

**Palavras-chave:** neurociências cognitivas; ensino de matemática; aprendizagem; revisão bibliográfica.

---

## ABSTRACT

---

CHAGAS, Leiliane Vieira de Lima. **Dialogues between cognitive neuroscience and mathematics: a systematic literature review.** 2025. 184 f. MSc. Dissertation. Instituto de Matemática e Estatística, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2025.

This dissertation presents the results of research that had, as its object of investigation, the mapped scientific publications, the experiences that these authors had and the intersections between the results found in these studies. The main objective was to analyze, in a descriptive way, the possible contributions of cognitive neurosciences found in the mapped studies for the teaching and learning of mathematics, and as an investigative question: What are the possible contributions of the selected studies for the teaching and learning of mathematics? Thus, research was developed with a qualitative approach of the exploratory and descriptive bibliographic type, with similarities that bring it closer to a state of the art. To select the mapped works, the databases used were Google Scholar, Scientific Electronic Library Online (Scielo), Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations (BDTD) and CAPES Theses and Dissertations Catalog, as well as journals from the institutions UEG, UFG, UFMG and UNESP, in addition to a previously structured database shared by the advisor. The time frame considered was from 2010 to 2023, since the interest was to observe what is currently being produced on neuroscience. The corpus was composed of 20 publications, including scientific articles, book chapters, monographs, dissertations, and theses. These were categorized in relation to their methodological approaches, the alignment of objectives related to mathematics, the number of works produced in each year of the time frame, the results that emerged from these works, and the relationship between the terms “mathematics,” “neuroscience,” and “teaching” identified in their titles and keywords. The results reinforce the idea that the core of learning lies in the development of executive functions. Therefore, the intersection between cognitive neuroscience and education can be positive, as it provides support for more effective pedagogical practices that mitigate false beliefs about learning mathematics. Researchers from both fields need to focus on research from this perspective in order to build theoretical models that can serve as inspiration for use in classrooms. This paper presents a table with excerpts from the works, summarizing the contributions listed by the authors and, as a result, a supplementary textbook was produced that highlights important brain aspects for learning mathematics.

**Keywords:** cognitive neuroscience; mathematics teaching; learning; literature review.

---

## LISTA DE FIGURAS

---

|                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1 - Evidência de cirurgia encefálica pré-histórica .....                                                                         | 22  |
| Figura 2 - Mapa frenológico do cérebro .....                                                                                            | 25  |
| Figura 3 - Lesão no cérebro de Monsieur Laborgne .....                                                                                  | 26  |
| Figura 4 - O crânio de Gage, exposto no museu de Harvard .....                                                                          | 30  |
| Figura 5 - Divisão anatômica do sistema nervoso .....                                                                                   | 35  |
| Figura 6 - Sistema nervoso central.....                                                                                                 | 35  |
| Figura 7 - Encéfalo .....                                                                                                               | 36  |
| Figura 8 - Córtex cerebral, parte interna e fibras de mielina .....                                                                     | 37  |
| Figura 9 - Vista superior e lateral do cérebro .....                                                                                    | 38  |
| Figura 10 - Neurônios impregnados pela coloração de Golgi.....                                                                          | 39  |
| Figura 11 - Estrutura do neurônio.....                                                                                                  | 40  |
| Figura 12 - Sinapse .....                                                                                                               | 42  |
| Figura 13 - Comparação entre atenção e uma lanterna.....                                                                                | 47  |
| Figura 14 - Principais categorias qualitativas para a memória humana .....                                                              | 49  |
| Figura 15 - Categorias temporais para a memória humana .....                                                                            | 50  |
| Figura 16 - Etapas da pesquisa bibliográfica .....                                                                                      | 57  |
| Figura 17 - Passos estabelecidos para uma RSL .....                                                                                     | 85  |
| Figura 18 - Os programas de mestrados.....                                                                                              | 96  |
| Figura 19 - Jogo Angry Birds Rio .....                                                                                                  | 106 |
| Figura 20 - Imagens de neurônios de um animal que provoca o estresse (lado esquerdo) e de um que recebe o estresse (lado direito) ..... | 116 |

---

## LISTA DE GRÁFICOS

---

|                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfico 1 - Distribuição de trabalhos quanto à metodologia de pesquisa.....                                                | 76  |
| Gráfico 2 - Distribuição das pesquisas qualitativas .....                                                                  | 77  |
| Gráfico 3 - Distribuição das pesquisas quanto ao tipo .....                                                                | 91  |
| Gráfico 4 - Frequência dos termos “matemática”, neurociência” e “ensino” nos títulos e nas palavras-chave dos resumos..... | 117 |

---

## LISTA DE QUADROS

---

|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Quadro 1 - Grupos que compõem as neurociências .....                                                                           | 32  |
| Quadro 2 - Etapas para realizar um estudo de estado da arte.....                                                               | 61  |
| Quadro 3 - Tipo de organização dos dados segundo as características gerais .....                                               | 66  |
| Quadro 4 - Organização dos dados refinados.....                                                                                | 67  |
| Quadro 5 - As 20 obras organizadas segundo o seu tipo de publicação .....                                                      | 70  |
| Quadro 6 - Categorias e subcategorias da análise de dados.....                                                                 | 74  |
| Quadro 7 - Algumas construções mentais matemáticas a serem estimuladas e<br>oportunizadas a estudantes da educação básica..... | 81  |
| Quadro 8 - Resumo de algumas áreas corticais ativadas em relação à aprendizagem<br>matemática retratadas em CL1 .....          | 83  |
| Quadro 9 - Pesquisas bibliográficas.....                                                                                       | 94  |
| Quadro 10 - Pesquisas de campo .....                                                                                           | 95  |
| Quadro 11 - Pesquisa mista.....                                                                                                | 98  |
| Quadro 12 - Testes aplicados por CL2.....                                                                                      | 100 |
| Quadro 13 - Jogos utilizados em A12 e em D1 .....                                                                              | 105 |
| Quadro 14 - Trabalhos bibliográficos cujos objetivos fazem referência ao ensino e à<br>aprendizagem de matemática .....        | 108 |
| Quadro 15 - Pesquisas de campo cujos objetivos fazem referência ao ensino e à<br>aprendizagem de matemática .....              | 110 |
| Quadro 16 - Trabalhos que não citam "matemática" em seus títulos.....                                                          | 118 |
| Quadro 17 - Trechos que sintetizam os resultados apresentados pelos estudos<br>mapeados.....                                   | 122 |
| Quadro 18 - Concepções errôneas acerca da matemática .....                                                                     | 128 |

---

## LISTA DE TABELAS

---

|                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 - Tipos e quantidades dos trabalhos inicialmente mapeados .....                      | 65  |
| Tabela 2 - Tipos e quantidades das publicações selecionados como corpus .....                 | 68  |
| Tabela 3 - Distribuição de trabalhos quanto o tipo de estudo/pesquisa/investigação            | 76  |
| Tabela 4 - Distribuição de autores de metodologia de pesquisa utilizados em cada estudo ..... | 78  |
| Tabela 5 - As 10 maiores economias da América Latina em 2023, segundo projeção do FMI .....   | 87  |
| Tabela 6 - Distribuição de trabalhos quanto à natureza das fontes.....                        | 91  |
| Tabela 7 - Distribuição dos bancos digitais de dados .....                                    | 101 |
| Tabela 8 - Instrumentos de coleta de dados .....                                              | 103 |
| Tabela 9 - Quantidade de obras por ano.....                                                   | 113 |

---

## LISTA DE SIGLAS

---

|        |                                                                      |
|--------|----------------------------------------------------------------------|
| BDTD   | Biblioteca Digital de Teses e Dissertações                           |
| CAPES  | Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior |
| FMI    | Fundo Monetário Internacional                                        |
| PIB    | Produto Interno Bruto                                                |
| RSL    | Revisão Sistemática da Literatura                                    |
| SCIELO | Scientific Electronic Library Online                                 |
| UCS    | Universidade de Caxias do Sul                                        |
| UEG    | Universidade Estadual de Goiás                                       |
| UEM    | Universidade Estadual de Maringá                                     |
| UEPB   | Universidade Estadual da Paraíba                                     |
| UFFS   | Universidade Federal da Fronteira do Sul                             |
| UFG    | Universidade Federal de Goiás                                        |
| UFMG   | Universidade Federal de Minas Gerais                                 |
| UFPA   | Universidade Federal do Pará                                         |
| UFS    | Universidade Federal de Sergipe                                      |
| UFSCAR | Universidade Federal de São Carlos                                   |
| UNESP  | Universidade Estadual Paulista                                       |

---

## SUMÁRIO

---

|                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                                               | <b>14</b> |
| <b>2 NEUROCIÊNCIAS COGNITIVAS: UM CONTEXTO .....</b>                                                    | <b>21</b> |
| 2.1 NEUROCIÊNCIAS: BREVE LEVANTAMENTO HISTÓRICO .....                                                   | 21        |
| 2.1.1 Desvendando os mistérios cerebrais: os avanços de Gall, Broca,<br>Wernicke e Golgi .....          | 23        |
| 2.1.2 Caso Gage.....                                                                                    | 28        |
| 2.2 NEUROCIÊNCIAS: PRINCÍPIOS E CAMPOS DE ESTUDO .....                                                  | 31        |
| 2.2.1 Neurociências cognitivas .....                                                                    | 33        |
| 2.2.2 O sistema nervoso .....                                                                           | 34        |
| 2.2.1.1 Os neurônios e a transmissão de informações .....                                               | 39        |
| 2.2.1.2 As sinapses .....                                                                               | 41        |
| 2.2.1.3 A aprendizagem .....                                                                            | 43        |
| 2.2.1.4 As funções executivas.....                                                                      | 45        |
| 2.2.1.4.1 Atenção .....                                                                                 | 46        |
| 2.2.1.4.2 Memória .....                                                                                 | 48        |
| <b>3 METODOLOGIA DE PESQUISA.....</b>                                                                   | <b>51</b> |
| 3.1 A ABORDAGEM QUALITATIVA .....                                                                       | 52        |
| 3.2 A PESQUISA BIBLIOGRÁFICA .....                                                                      | 55        |
| 3.3 A PESQUISA EXPLORATÓRIA E DESCRITIVA .....                                                          | 59        |
| 3.4 ESTADO DA ARTE .....                                                                                | 60        |
| 3.5 METODOLOGIA DE COLETA DE DADOS.....                                                                 | 62        |
| 3.5.1 Processo de seleção das fontes .....                                                              | 63        |
| 3.5.2 As obras analisadas: caracterização e categorização dos fundamentos<br>teórico-metodológicos..... | 64        |
| <b>4 ALGUNS RESULTADOS.....</b>                                                                         | <b>73</b> |
| 4.1 AS ABORDAGENS METODOLÓGICAS DE PESQUISA DOS TRABALHOS<br>MAPEADOS.....                              | 75        |

|                                                                         |            |
|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4.1.1 Um enfoque sobre a análise dos dados desses trabalhos.....</b> | <b>76</b>  |
| 4.1.1.1 Abordagem qualitativa.....                                      | 77         |
| 4.1.1.1.1 <i>Os artigos</i> .....                                       | 78         |
| 4.1.1.1.2 <i>Os capítulos de livro</i> .....                            | 82         |
| 4.1.1.1.3 <i>As dissertações</i> .....                                  | 84         |
| 4.1.1.1.4 <i>As monografias</i> .....                                   | 86         |
| 4.1.1.2 Abordagem quantitativa.....                                     | 86         |
| 4.1.1.3 Abordagem mista (quali-quantitativa).....                       | 88         |
| <b>4.1.2 Um enfoque sobre os tipos de pesquisas.....</b>                | <b>90</b>  |
| 4.1.2.1 As bibliográficas.....                                          | 93         |
| 4.1.2.2 As de campo.....                                                | 95         |
| 4.1.2.3 Os participantes.....                                           | 96         |
| 4.1.2.4 Os lócus.....                                                   | 97         |
| 4.1.2.5 As mistas (bibliográficas e de campo).....                      | 98         |
| <b>4.1.3 Um enfoque sobre os instrumentos de coleta de dados.....</b>   | <b>101</b> |
| 4.1.3.1 Testes, sequências didáticas e oficinas.....                    | 103        |
| 4.1.3.2 Jogos digitais.....                                             | 104        |
| 4.2 OS OBJETIVOS DOS ESTUDOS MAPEADOS RELACIONADOS À                    |            |
| MATEMÁTICA.....                                                         | 107        |
| 4.3 QUANTIDADE DE OBRAS.....                                            | 112        |
| 4.4 OS RESULTADOS DA BIBLIOGRAFIA SELECIONADA.....                      | 113        |
| 4.5 RELAÇÕES ENTRE OS TERMOS “MATEMÁTICA”, “NEUROCIÊNCIAS” E            |            |
| “ENSINO” IDENTIFICADAS NOS TRABALHOS QUE FORMAM O CORPUS.....           | 116        |
| 4.6 PROPOSTA DE LIVRO PARADIDÁTICO.....                                 | 130        |
| <b>5 REFLEXÕES.....</b>                                                 | <b>132</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                 | <b>139</b> |
| <b>APÊNDICE A - LIVRO PARADIDÁTICO.....</b>                             | <b>147</b> |

---

## 1 INTRODUÇÃO

---

Nas últimas décadas, esforços educacionais em diversas nações, incluindo o Brasil, têm fortalecido a educação matemática como um campo autônomo de ensino e pesquisa abordando questões fundamentais. Este campo contempla uma variedade de saberes onde a competência profissional não se limita ao conhecimento matemático e à experiência em sala de aula. Diante desse recente panorama da educação matemática, emergem indagações no anseio de práticas de ensino que contribuam para uma formação mais integral, humana e crítica do estudante e do professor.

Considerando que as neurociências cognitivas são um campo interdisciplinar que integra conhecimentos de diversas áreas para investigar como o cérebro desempenha funções cognitivas, esta pesquisa partiu da hipótese de que os processos cerebrais exercem influência na aprendizagem de matemática. Assim, postulamos que as funções executivas são moldadas por múltiplos estímulos e, portanto, podem ser ensinadas. Desse modo, esse entendimento pode orientar as práticas pedagógicas no ensino de matemática.

Ao compreender os mecanismos neurais subjacentes à aquisição de habilidades matemáticas é possível desenvolver estratégias de ensino que otimizem a assimilação de conceitos, promovam o engajamento dos estudantes e facilitem a superação de dificuldades específicas. Isso, por sua vez, contribui para a criação de um ambiente de aprendizagem mais inclusivo e adaptado às necessidades individuais dos estudantes, potencializando o desenvolvimento cognitivo e o desempenho acadêmico.

Nesse âmbito, esta pesquisa reflete o interesse da autora enquanto pesquisadora, pois suscita questionamentos e procura respostas, ainda que isso nos conduza a novas indagações. Entendemos que pesquisas que promovam estudos que venham a orientar os professores a aperfeiçoar suas práticas pedagógicas, visando o sucesso na aprendizagem, são primordiais, uma vez que são essenciais para identificar estratégias de ensino mais eficazes, baseadas em evidências científicas, que possam ser aplicadas no dia a dia da sala de aula, contribuindo para um ensino que leve os estudantes a pensar e a buscar sentido naquilo que estudam.

A motivação para o desenvolvimento desta pesquisa perpassa pelos anos de atuação como docente da rede pública estadual, lecionando matemática nas séries finais do ensino fundamental e na etapa de ensino médio. Esta experiência suscitou inquietações acerca da forma como a matemática é recebida pelos estudantes, frequentemente entendida como uma disciplina formada por um conjunto de cálculos e fórmulas desconectadas do cotidiano, resultando em desmotivação e na crença, por parte de alguns, de que não serão capazes de aprender. Essa vivência nos levou à busca por metodologias e práticas de ensino que possibilitem, ao professor, compartilhar com os estudantes a beleza intrínseca da matemática.

Corroboramos com Boaler (2018), que ressalta a diferença entre a forma como os estudantes da educação básica e muitas outras pessoas enxergam a matemática e a perspectiva dos matemáticos. Para os não-matemáticos a matemática é frequentemente vista como uma disciplina repleta de números, fórmulas e regras sem aplicabilidade visível. Em contrapartida, para os matemáticos ela é considerada a mais sublime das ciências, fundamental para o raciocínio sobre a organização do tempo, a capacidade de acomodar eventos e tarefas no dia e o uso eficiente do espaço. Um dos desafios no ensino de matemática reside em esclarecer essas concepções aos estudantes.

Nesse contexto, as neurociências cognitivas podem ser uma peça-chave para que os professores consigam despertar o interesse e motivar seus alunos a estudar matemática. O conhecimento biológico sobre como ocorre a aprendizagem e como as emoções influenciam esse processo, bem como estratégias para captar a atenção dos estudantes, são componentes essenciais para promover um aprendizado efetivo.

Compreendendo a complexidade que envolve o ensino de matemática e visualizando o conhecimento sobre as neurociências cognitivas como suporte metodológico de ensino, a pesquisa teve, como objeto de estudo, as publicações científicas mapeadas, as experiências que esses autores vivenciaram e as intersecções entre os resultados encontrados nessas pesquisas. Dessa forma, o estudo foi orientado pela seguinte questão: Quais as possíveis contribuições dos estudos selecionados para o ensino e a aprendizagem de matemática?

As neurociências cognitivas compreendem um campo de pesquisa relativamente novo, o qual abarca diversas áreas do conhecimento. Nos últimos anos, principalmente motivados pela chamada “Década do cérebro” (1990-1999), proposta pelo Congresso dos Estados Unidos, pesquisadores empenharam esforços a fim de

clarificar as relações existentes entre o funcionamento cerebral e a aprendizagem. O desenvolvimento tecnológico propiciou um considerável avanço no estudo sobre o cérebro, uma vez que o uso de equipamentos de imagem permite visualizar, diretamente no cérebro, quais regiões ficam mais ativas e, assim, analisar o comportamento cerebral em resposta a estímulos. Inicialmente vista como uma área decorrente da biologia, as neurociências cognitivas têm se consolidado como um campo de estudo amplo e interdisciplinar, pois explica, ainda que incipiente, não somente as reações do corpo, mas os fenômenos da mente.

Sob essa perspectiva, as neurociências cognitivas e a educação estão intimamente relacionadas, visto que “a educação tem por finalidade o desenvolvimento de novos conhecimentos ou comportamentos, sendo mediada por um processo que envolve a aprendizagem” (Cosenza; Guerra, 2011, p. 141). Ao passo que as neurociências cognitivas “abrangem os estudos das funções cognitivas e do modo como o ser humano responde em relação aos estímulos” (Silva, 2017, p. 26). Assim, para as neurociências cognitivas a aprendizagem está relacionada a mudanças nas atividades cerebrais, as quais refletem no comportamento. Essas mudanças podem ser compreendidas por meio da plasticidade cerebral e são capazes de ocorrer naturalmente, mas também podem ser estimuladas.

É importante ressaltar que os estudos neurocientíficos não têm condições de apresentar soluções definitivas para os problemas educacionais, assim como as neurociências não podem ser entendidas como metodologia de ensino. Elas simplesmente nos ajudam a compreender de forma mais clara como o processo de aprendizagem ocorre e, assim, podem contribuir apoiando práticas pedagógicas já bem-sucedidas e oferecendo sugestões para novas intervenções, evidenciando que as estratégias pedagógicas alinhadas com o funcionamento cerebral podem ser mais eficazes.

No anseio de compreender as contribuições existentes na literatura, sobre essa temática, para o ensino e a aprendizagem de matemática, assumimos a tarefa de mapear e analisar alguns trabalhos com foco nessa área. Nosso intuito foi identificar e entender a produção existente, a abordagem metodológica, os tipos de pesquisa, os objetivos na intersecção entre neurociências e o ensino de matemática, os participantes das pesquisas de campo e as conclusões apresentadas. O período analisado abrange os anos de 2010 a 2023 frente ao desejo de analisar o que tem sido produzido recentemente acerca das neurociências.

Para atender ao objetivo maior foram previstos cinco objetivos específicos:

- a) Mapear trabalhos de neurociências cognitivas que possam dialogar com a aprendizagem de matemática;
- b) Conhecer os aspectos fisiológicos do cérebro que formam a base para a aprendizagem;
- c) Destacar os trabalhos que, de forma direta ou indireta, influenciam no ensino e na aprendizagem de matemática;
- d) Descrever as abordagens teóricas das neurociências para a aprendizagem de matemática;
- e) Apresentar um produto educacional como fruto das análises.

A pesquisa aqui apresentada é de caráter bibliográfico. Compreendemos a pesquisa bibliográfica como aquela realizada sobre material disponível a partir de estudos de outros pesquisadores, isto é, o pesquisador trabalha com foco nas contribuições dos autores da literatura selecionada (Severino, 2013). Desse modo, o objeto de estudo da pesquisa bibliográfica são materiais como livros e trabalhos científicos (artigos, teses, dissertações e outros). Assim, é primordial que os pesquisadores investiguem a veracidade dos dados coletados, visto que, por vezes, as publicações, sobretudo originárias de meio eletrônico, podem não refletir fielmente a realidade.

A pesquisa do tipo bibliográfica se faz importante, pois possibilita, ao pesquisador, acesso a fontes variadas oriundas de diversas localidades, permitindo, assim, uma cobertura muito mais ampla do tema investigado. Conforme Lakatos e Marconi (2003), a pesquisa bibliográfica não consiste apenas na repetição do que já foi dito ou escrito sobre um determinado assunto, mas sim na análise do tema sob uma nova perspectiva ou abordagem, facilitando a obtenção de conclusões inovadoras.

A abordagem metodológica de pesquisa do trabalho está assentada nos parâmetros do estudo qualitativo. A pesquisa qualitativa é aquela que oferece uma compreensão aprofundada das características de um fenômeno específico (Bicudo, 2011). Essas investigações, ao explorar o fenômeno em um contexto particular, possibilitam a abertura para novas interpretações quando o mesmo fenômeno é analisado em diferentes contextos. Essa abordagem não só enriquece a compreensão do fenômeno, mas também fornece base sólida para raciocínios e argumentos que

são cruciais na formulação de decisões políticas, educacionais e de pesquisa. Além disso, essas pesquisas desempenham um papel fundamental na criação de novas áreas de investigação, promovendo análises e interpretações rigorosas que ajudam a expandir o conhecimento e estimular novos estudos.

Em relação aos objetivos, nossa pesquisa se inscreve no tipo exploratória e descritiva. Exploratória no sentido de que desde as primeiras buscas, por pesquisas científicas que abordem as neurociências cognitivas e o ensino de matemática, o intuito foi de nos familiarizar com a temática e inventariar algumas produções nos últimos 13 anos. É descritiva, ao passo que, no decorrer de nosso trabalho, descrevemos e mapeamos os achados das literaturas elencadas com o objetivo de registrar e descrever como as contribuições das neurociências cognitivas se manifestam nos estudos mapeados.

É necessário ressaltar que nossa investigação se assemelha a um estado da arte, uma vez que, conforme Ferreira (2002), tanto o estado da arte quanto a pesquisa bibliográfica compartilham o desafio de mapear e discutir uma determinada produção acadêmica em diferentes campos do conhecimento, almejando responder quais aspectos e dimensões têm sido destacados e privilegiados em diferentes épocas e locais. Eles diferem quanto à amplitude, sendo que o levantamento realizado no estado da arte tem como objeto de estudo um recorte amplo de dados analisados, pois contempla tanto áreas amplas quanto específicas, ou seja, o estado da arte visa ilustrar, por meio da literatura existente, o panorama completo de uma determinada temática. Nosso intento aqui não foi esse. O levantamento feito aqui não foi de grande proporção, de modo que as semelhanças se revelam no fato de mapear e analisar pesquisas científicas.

Para explorar o assunto, a dissertação está estruturada em três capítulos, além desta introdução e das reflexões finais. No primeiro capítulo focamos nas neurociências, estabelecendo as bases teóricas e apresentando os conceitos fundamentais que sustentam a compreensão do cérebro e seus processos. Para isso, iniciamos com uma contextualização histórica acerca de sua origem e constatações, ressaltando os achados de pioneiros que contribuíram para os conhecimentos que hoje temos. Por conseguinte, delineamos os princípios conceituais fundamentais, apresentamos as neurociências cognitivas como um ramo das neurociências, assim como os conceitos biológicos do sistema nervoso central, a estrutura e funcionalidade

dos neurônios e das sinapses. Descrevemos as funções executivas, principalmente a atenção e a memória e evidenciamos suas relações com a aprendizagem.

No segundo capítulo apresentamos a metodologia de pesquisa, isto é, os instrumentos utilizados, clarificando acerca de nossas escolhas metodológicas para essa investigação. Assim, expomos como a pesquisa foi delineada, detalhamos os procedimentos e abordagens adotados para a coleta e análise dos dados, assegurando a validade e confiabilidade do estudo. Ainda nesse capítulo, elucidamos o processo de busca e seleção das fontes investigadas, ou seja, como o corpus da pesquisa foi constituído, e apresentamos os dados já devidamente organizados de acordo com seu local de publicação.

O terceiro capítulo é dedicado à apresentação dos resultados, onde os dados obtidos são analisados e interpretados, destacando as contribuições que as obras mapeadas fornecem. A partir desses dados construímos um quadro com alguns excertos que sintetizam as principais contribuições reveladas nos estudos, as quais fornecem subsídios para que educadores, ávidos por metodologias de ensino que promovam uma aprendizagem matemática mais eficaz, com menor resistência dos estudantes e maior fluidez, possam integrá-las em suas práticas pedagógicas. De porte desses trechos, fomos motivadas a escrever um livro paradidático, apresentado no Apêndice A, o qual sintetiza as contribuições das obras analisadas.

O livro, em forma de narrativa, tem como objetivo apresentar alguns conceitos de neurociências cognitivas e demonstrar não apenas a importância destes para o desenvolvimento de habilidades matemáticas, mas também o quanto a aprendizagem dessa ciência pode ser acessível a todos os indivíduos. Acreditamos na importância de incentivar e motivar diariamente os estudantes a se dedicarem à matemática, promovendo conexões entre conceitos abstratos e suas aplicações práticas no dia a dia. Por meio das interações entre os personagens, a obra explora temas como estratégias para superar dificuldades e a valorização do esforço contínuo, de modo a tentar desmistificar a matemática. Espera-se, assim, que a narrativa inspire os leitores a perceberem a matemática como uma ferramenta essencial para compreender o mundo e aprimorar o pensamento crítico. Este livro conclui nosso trabalho e representa uma contribuição tanto para professores da educação básica, quanto para adolescentes.



---

## 2 NEUROCIÊNCIAS COGNITIVAS: UM CONTEXTO

---

No panorama abrangente das neurociências cognitivas mergulhamos em um retrospecto histórico acerca do entendimento humano sobre o cérebro e a mente. Este capítulo apresenta os achados e teorias que moldaram a compreensão moderna do funcionamento cerebral, desde as primeiras observações de cérebros em dissecação até as revolucionárias contribuições de pioneiros como Franz Joseph Gall, Pierre Paul Broca, Carl Wernicke e Camillo Golgi. Dentre os relatos históricos destacamos o intrigante caso de Phineas Gage, cujo infortúnio lançou luz sobre a interação entre a função cerebral e o comportamento. Além disso, estabelecemos os alicerces conceituais essenciais, delineando o sistema nervoso central, a estrutura e função dos neurônios, o papel das sinapses e das emoções na aprendizagem. Este mergulho no passado nos prepara para uma melhor compreensão das complexidades neurocognitivas que moldam a experiência humana.

### 2.1 NEUROCIÊNCIAS: BREVE LEVANTAMENTO HISTÓRICO

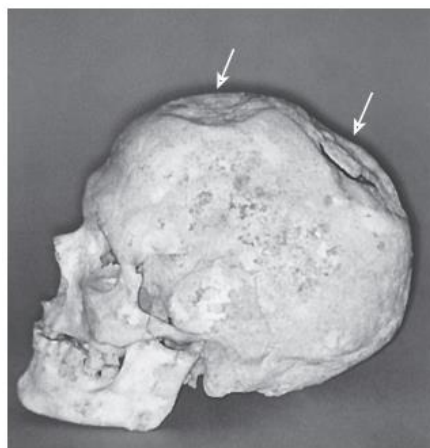
Há tempos a relação entre emoção e razão tem sido um tema central na filosofia. Muitos estudiosos exploraram a interação complexa e fascinante entre os aspectos emocionais e racionais, debatendo sobre as emoções e seu papel na vida humana (Esperidião-Antônio *et al.*, 2008), visto que, “as emoções são inerentes ao ser humano e muitas vezes se manifestam como uma combinação letal para o aprendizado nos níveis neurológico, biológico e psíquico” (Mogollón, 2010, p. 118). Pensadores da Grécia Antiga também valorizavam o estudo do cérebro e da mente. A escola Pitagórica (580-510 a.C.) postulava que a mente residia no encéfalo, enquanto a alma e as sensações estavam localizadas no coração. Alcmeon (cerca de 500 a.C.) acreditava ser o cérebro o centro do intelecto e dos sentidos. Hipócrates (cerca de 460-370 a.C.) afirmava que cada metade sua controlava a metade oposta do corpo, e, além de considerá-lo como o local da inteligência, identificou a epilepsia como um distúrbio cerebral. Platão (427-347a.C.) o via como o centro dos processos mentais, enquanto Aristóteles (384-322 a.C.) atribuía a ele a função de resfriar o corpo

e a alma, pois acreditava que o coração era responsável pelas sensações e pela inteligência (Muci-Mendonça, 2007; Pinheiro, 2005).

No entanto, ainda hoje neurocientistas parecem não conseguir definir com clareza o que é a emoção e o que é a razão. Dessa forma, usam “definições operacionais como a seguinte: razão e emoção são operações mentais acompanhadas de uma experiência interior característica, capazes de orientar o comportamento e realizar os ajustes fisiológicos necessários” (Lent, 2004, p. 714). Em outras palavras, o cérebro humano não trabalha com compartimentos isolados de razão ou de emoção, assim, atividades racionais e emocionais estão conectadas e se influenciam mutuamente.

Hoje os estudos sobre emoção e razão continuam em diversas áreas, incluindo filosofia, psicologia, neurociência e ciências cognitivas, buscando entender como esses aspectos se relacionam e influenciam nosso comportamento, pensamento e experiência humana (Esperidião-Antônio *et al.*, 2008). Em contrapartida, o estudo do encéfalo remonta a milhões de anos, com evidências de que nossos ancestrais reconheciam sua importância e realizavam operações cerebrais (Figura 1) para tratar problemas de saúde relacionados a cefaleias ou transtornos mentais (Bear; Connors; Paradiso, 2017). A literatura menciona a identificação de práticas de trepanação datadas entre 7.000 e 20.000 anos em diversos continentes (Pinheiro, 2005).

Figura 1 - Evidência de cirurgia encefálica pré-histórica



Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2017, p. 5).

Entre o final do século XIX e início do século XX houve um crescente interesse em compreender os processos cognitivos ligados à memória e à aprendizagem. Começou-se a reconhecer a relação entre o sistema nervoso, especialmente o

cérebro, e o comportamento humano. Assim, a necessidade de compreender como as emoções se originam e influenciam o comportamento trouxe inquietações que ultrapassaram as margens da filosofia e alcançaram outras áreas do conhecimento, tais como a psicologia, a psicanálise e a biologia. Embora se acredite que a ciência possa explicar os aspectos biológicos concernentes à emoção, a sua essência continua sendo uma questão primordialmente filosófica (Esperidião-Antônio *et al.*, 2008).

### **2.1.1 Desvendando os mistérios cerebrais: os avanços de Gall, Broca, Wernicke e Golgi**

Compreender se as partes que compõem o cérebro funcionam de maneira interligada ou de forma independente movimentou as pesquisas em neurociências (Gazzaniga; Ivry; Mangun, 2006). Quando houve o reconhecimento das zonas anatomicamente definidas do córtex, tornou-se possível e compreensível propor que diferentes funções mentais estão localizadas em diferentes regiões cerebrais (Herculano-Houzel, 2004a).

Um importante colaborador no estudo dessa temática foi o anatomista alemão Franz Joseph Gall (1758-1828), que propôs observar o cérebro como um conjunto de órgãos separados onde cada parte controla uma “faculdade” inata separada, ou seja, uma aptidão. Para ele, existiam, a princípio, 27 “áreas afetivas e intelectuais”, desde as cognitivas básicas – como linguagem, até características de transição – como autoestima, benevolência, agressividade e amor parental. Posteriormente esse número foi aumentado (Pinheiro, 2005). Em Herculano-Houzel (2004a) encontramos o seguinte esclarecimento:

Gall acreditava que o cérebro é uma máquina sofisticada que produz comportamento, pensamento e emoção, e que o córtex cerebral é na verdade um conjunto de órgãos com diferentes funções. Postulou a existência de 27 faculdades “afetivas e intelectuais”, e assumiu que: (1) elas se localizam em órgãos específicos (áreas) do córtex cerebral; (2) o nível de atividade de cada função determina o tamanho do órgão cortical respectivo; e (3) o desenvolvimento das faculdades mentais de cada indivíduo (e, portanto, de seus órgãos corticais) causa protuberâncias características nas partes do crânio que os cobrem, através das quais a personalidade do indivíduo pode ser avaliada (Herculano-Houzel, 2004a, p. 26).

Dessa forma, na comunidade científica, Franz Joseph Gall foi precursor em ilustrar com precisão as circunvoluções corticais. As “faculdades”, assim definidas por ele, eram mantidas por regiões específicas do córtex cerebral, sendo estas passíveis de levar ao desenvolvimento anatômico de acordo com seu uso. Ou seja, assim como os músculos aumentam de tamanho quando submetidos a exercícios físicos, as funções cerebrais também podem ter seu formato modificado (Bear; Connors; Paradiso, 2017; Gazzaniga; Ivry; Mangun, 2006).

Nesse cenário, a teoria formulada por ele recebeu o nome de frenologia<sup>1</sup>, tendo-o como o principal representante. Para os frenologistas

O desenvolvimento de uma determinada “faculdade” causava uma hipertrofia na zona cortical correspondente; esta zona hipertrofiada exercia pressão sobre a calota craniana, produzindo neste local uma pequena saliência óssea. As funções pouco desenvolvidas ou ausentes produziam, ao contrário, uma depressão na superfície craniana (Pinheiro, 2005, p. 184).

Gazzaniga, Ivry e Mangun (2006, p. 21) ressaltam que “Gall, médico e neuroanatomista austríaco, não era um cientista, pois não testava suas idéias”, mas, visando validar suas hipóteses, estes autores, juntamente com seus colaboradores, selecionaram centenas de pessoas de diversos tipos de personalidade. Buscaram desde os mais talentosos a indivíduos com transtorno de personalidade antissocial, marginalizados e envolvidos em atividades ilegais e/ou criminosas. Nestes indivíduos executaram o que definiram como “craniometria” – ato de medir cuidadosamente o crânio em seu volume, circunferência e nos mais diversos ângulos, apalpando as proeminências para avaliar as “capacidades mentais” desses indivíduos.

Os frenologistas fundamentavam suas teorias na hipótese de que variáveis tais como a capacidade craniana, a massa cerebral e a morfologia das circunvoluções corticais poderiam ser utilizadas para realizar classificações relativas aos atributos morais e intelectuais dos indivíduos; bem como, em uma perspectiva mais abrangente, para compreender as potencialidades de progresso das comunidades humanas. De acordo com suas crenças, criaram os mapas frenológicos com representações gráficas (Figura 2) que mostram áreas específicas do crânio e sua suposta relação

---

<sup>1</sup> Frenologia: do grego *phrén*, *phrenós* = alma, inteligência, espírito. Também foi inicialmente chamada de Craneoscopia ou Craneologia (Muci-Mendonça, 2007).

com funções mentais e características de personalidade (Gazzaniga; Ivry; Mangun, 2006).

Figura 2 - Mapa frenológico do cérebro



Fonte: Amthor (2017, p. 286).

As suposições de Franz Joseph Gall desafiavam a comunidade científica, pois a ideia de que o cérebro era o órgão da mente ainda não era totalmente aceita. Dividi-lo em partes parecia contradizer a visão de uma alma indivisível exigida pela Igreja, que exercia grande influência naquela época (Herculano-Houzel, 2004a). Assim sendo, o pesquisador alemão foi expulso de Viena e sua teoria associada ao charlatanismo e à pseudociência.

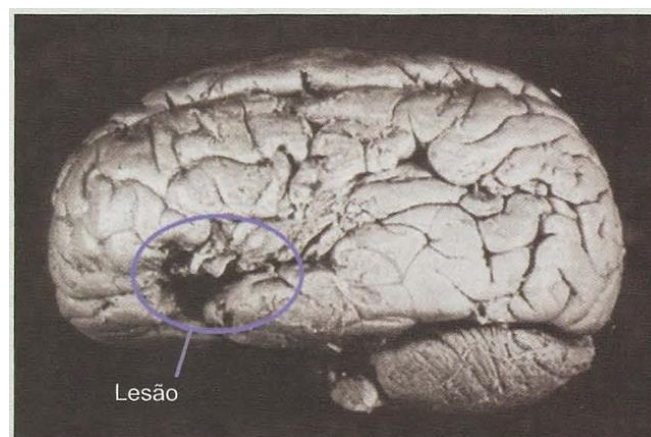
Jean Marie Pierre Flourens, fisiologista francês, foi um dos principais nomes a refutar a visão localizacionista de Franz Joseph Gall, afirmando que não havia parte específica no encéfalo para determinados comportamentos, pois ele trabalha em conjunto de maneira orquestrada. Suas críticas tinham um bom embasamento. Por ser um estudioso de animais, sobretudo pássaros, Jean Marie Flourens observou que lesões em áreas cerebrais específicas não resultavam em déficits comportamentais duradouros em tais animais. E ainda, independentemente da localização da lesão, o pássaro sempre conseguia se recuperar. Partindo desse pressuposto, acreditava que

todas as regiões cerebrais exercem influência no comportamento. Em 1824 ele escreveu: “Todas as sensações, todas as percepções, e todas as vontades ocupam o mesmo espaço nestas estruturas (cérebro). As faculdades de sensação, percepção e vontade são, essencialmente, uma só faculdade” (Gazzaniga; Ivry; Mangun, 2006, p. 21).

Posteriormente, cientistas começaram a provocar lesões cerebrais em animais de laboratório a fim de ter provas contundentes que alicerçassem o repúdio às ideias localizacionistas. Observaram, então, que as lesões provocadas tinham consequências que, por sua vez, dependiam de sua localização, vendo-se, assim, obrigados a concordar com os conceitos de Franz Joseph Gall. A partir daí, surgiram as primeiras ideias do que hoje conhecemos como neurociência experimental (Herculano-Houzel, 2004a).

Franz Joseph Gall influenciou gerações ficou conhecido, por seus trabalhos, como “o autor da verdadeira anatomia do cérebro” (Esperidião-Antônio *et al.*, 2008, p. 57), sendo considerado pioneiro na ideia de “localizacionismo cerebral”. Entretanto, para Bear, Connors e Paradiso (2017), quem tem esse reconhecimento científico é o neurologista francês Paul Broca (1824-1880), o qual tratou de Monsieur Laborgne, um paciente que, por consequência de um acidente vascular cerebral, tinha dificuldade em formar frases completas e expressar seus pensamentos por escrito. Mas que, por outro lado, conseguia falar palavras isoladas e até cantar uma melodia, além de compreender perfeitamente a linguagem oral. Monsieur Laborgne faleceu em 1861 e o médico abriu seu crânio para examiná-lo, o que o fez com cautela, descobrindo que havia uma lesão no lobo frontal esquerdo do cérebro (Figura 3).

Figura 3 - Lesão no cérebro de Monsieur Laborgne



Fonte: Lent (2004, p. 25).

Porém, para concluir que essa região é a responsável pela produção da fala e que, uma vez lesionada, traz, como consequência, dificuldades na comunicação verbal, Paulo Broca analisou outros pacientes com casos semelhantes. De acordo com seus trabalhos, denominou distúrbios como esse de “afemia”, termo que posteriormente ficou conhecido por “afasia”<sup>2</sup>.

Em 1865 Paul Broca publicou um trabalho esmiuçando a lateralidade da fala, afirmando que embora “a capacidade de conceber as conexões entre ideias e palavras pertenceria a ambos os hemisférios, [...] a capacidade de exprimi-las com movimentos articulados na fala era exclusividade do hemisfério esquerdo” (Herculano-Houzel, 2004b, p. 682). Sua contribuição à ciência foi de grande valia, seus estudos corroboraram a ideia de localizacionismo proposta por Franz Joseph Gall. Em sua homenagem, a exata parte do cérebro que estava lesionada em seu paciente, o lobo frontal esquerdo, foi denominada de “área de Broca”, e os distúrbios cujas lesões estão localizadas sobre a região lateral inferior do lobo frontal esquerdo foram nomeadas de “afasias de Broca”.

Outra figura importante no cenário da evolução das neurociências é o neurologista alemão Carl Wernicke (1848-1904). Em 1874 ele descobriu que uma lesão “localizada posteriormente no hemisfério esquerdo causa freqüentes problemas de compreensão da linguagem falada” (Pinheiro, 2005, p. 186). O local afetado pelas lesões por ele investigadas foi posteriormente denominado, em sua homenagem, como “área de Wernicke”. Um indivíduo com uma lesão nessa região tem a capacidade de compreender o que lhe é dito, porém não consegue repetir as mesmas palavras de forma precisa.

Como fruto de seus estudos, o neurologista foi capaz de desenvolver um modelo de processamento neural da linguagem e antecipar a existência de outros tipos de afasias, até então desconhecidas. Ele argumentou que se a produção da fala depende da área de Broca e a compreensão é controlada pela área de Wernicke, então, ambas devem estar interconectadas para que os indivíduos sejam capazes de compreender o que dizem e responder ao que lhes é dito por outros (Lent, 2004).

---

<sup>2</sup> O termo “afasia” foi cunhado, segundo alguns autores, por Armand Trousseau (1801-1867) e, segundo outros, por Sigmund Freud (1856-1939) (Pinheiro, 2005).

Contudo, só foi possível compreender melhor as estruturas neurais a partir dos trabalhos realizados por Camillo Golgi (1843-1926). Ele criou um método de coloração por prata que torna viável observar, de forma mais evidente, as estruturas internas das células nervosas, possibilitando visualizar as partes de um neurônio, incluindo detalhes sobre os dendritos, o corpo celular e os axônios. Segundo Herculano-Houzel (2004c),

A coloração criada por Golgi em 1872 tinha a propriedade fantástica de corar, dentre os milhões de células em um bloco de tecido, somente umas poucas, que acumulavam um precipitado de prata que delineava completamente sua forma. Usando sua nova coloração, Golgi alegava poder demonstrar verdadeiras redes de células nervosas interligadas continuamente, como se fossem um sincício, isto é, uma grande célula ramificada com muitos núcleos (Herculano-Houzel, 2004c, p. 80).

Em vista disso, o “método de Golgi”, como assim ficou conhecido, foi um avanço extraordinário para a neurociência e para a compreensão da estrutura do sistema nervoso. Antes os cientistas tinham dificuldade em visualizar e entender a organização celular devido à sua complexidade e à falta de métodos de coloração adequados. Essa descoberta lançou as bases para estudos posteriores sobre as conexões celulares, a transmissão de sinais no cérebro e a função neural em geral. E ainda hoje é usada, com algumas modificações, para estudar a morfologia e a conectividade neuronal.

### **2.1.2 Caso Gage**

Phineas Gage é um caso icônico na história da neurociência. Um operário da construção de uma ferrovia sofreu um acidente de trabalho em que seu crânio foi perfurado por uma barra de ferro medindo 108 cm de comprimento, 3 cm de diâmetro, com uma ponta de 1,5 cm e pesando 6 kg (Muci-Mendonça, 2007). A viga metálica transpassou sua cabeça de baixo para cima, ferindo gravemente seu lobo frontal esquerdo e o deixando cego do olho correspondente. O caso Gage, como ficou conhecido, ocorreu em 1848, em Vermont, EUA, quando Phineas Gage tinha 25 anos de idade. Veja a narrativa de Damásio (1996) sobre o incidente:

Gage trabalha para a Estrada de Ferro Rutland & Burlington e tem a seu cargo um grande número de homens, uma "brigada" cuja tarefa consiste em assentar os trilhos da ferrovia através de Vermont. [...]. São 4h30 de uma

tarde escaldante. Gage acabou de colocar a pólvora e o rastilho num buraco e disse ao homem que o estava ajudando para colocar a areia. Alguém atrás dele o chama e, por um breve instante, Gage olha para trás, por cima do ombro direito. Distraído, e antes de o seu ajudante introduzir a areia, Gage começa a calcar a pólvora diretamente com a barra de ferro. Num átimo, provoca uma faísca na rocha e a carga explosiva rebenta-lhe diretamente no rosto. A explosão é tão forte que toda a brigada está petrificada. São precisos alguns segundos para se aperceberem do que se passa. O estrondo não é normal e a rocha está intata. O som sibilante que se ouviu é também invulgar, como se se tratasse de um foguete lançado para o céu. Não é porém de fogo de artifício que se trata. É antes um ataque, e feroz. O ferro entra pela face esquerda de Gage, trespassa a base do crânio, atravessa a parte anterior do cérebro e sai a alta velocidade pelo topo da cabeça. Cai a mais de trinta metros de distância, envolto em sangue e cérebro. Phineas Gage foi jogado no chão. Está agora atordoado, silencioso, mas consciente. Tal como todos nós, espectadores impotentes (Damásio, 1996, p. 23-24).

O homem conseguiu sobreviver ao fatídico acidente, porém, ficou com sequelas inimagináveis para a época. Sua recuperação, que a princípio parecia um milagre, transformou-se em pesadelo, pois seu comportamento e suas emoções foram radicalmente alterados. O homem sereno e responsável, com espírito de liderança, transformou-se em uma pessoa inconveniente e irreverente. Sua conduta mudou de tal maneira que não conseguiu continuar em sua função de capataz e os outros empregos que conseguiu duraram muito pouco, na maioria das vezes por indisciplina.

Nos dizeres de Migliori (2013, p. 54), ele “parecia uma criança em capacidade e manifestações intelectuais, dotado das paixões de um homem forte”. Seu comportamento mudou de maneira tão intensa que seus amigos e conhecidos diziam que ele havia deixado de ser quem era. Como não conseguia se manter em nenhum emprego, virou atração de circo, exibindo-se como curiosidade com sua barra de ferro. Até que complicações epiléticas o levou de volta ao seio familiar, onde permaneceu até o seu falecimento, aos 38 anos de idade. Cinco anos após sua morte, o médico que o acompanhou, John Martin Harlow (1819-1907), pediu permissão à família para exumar o corpo.

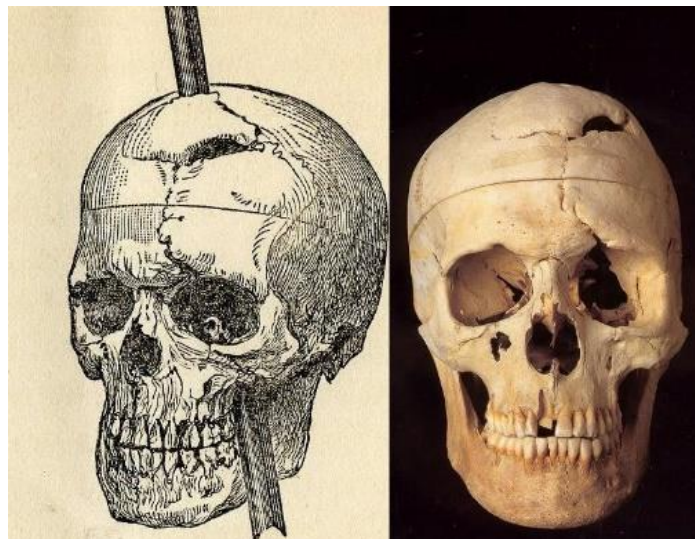
O caso Gage veio para iluminar cientistas do mundo todo acerca da relação entre partes cerebrais e as emoções, como reitera Muci-Mendonza (2007).

Este caso particular nos permitiu estabelecer o papel principal que as regiões frontais do cérebro têm no pensamento e em nossa capacidade de socialização, especialmente sua parte medial e basal, bem como os circuitos e sistemas relacionados às emoções, cuja ativação conjunta com as regiões frontais participa de forma fundamental no planejamento e na tomada de decisões, e ajuda a determinar o tom afetivo de nossas relações sociais (Muci-Mendoza, 2007, p. 17).

Esperidião-Antonio *et al.* (2008) citam Sigmund Exner<sup>3</sup>, Sigmund Freud<sup>4</sup>, Israel Waynbaum<sup>5</sup>, William James<sup>6</sup>, Carl Georg Lange<sup>7</sup> e Joseph Papez<sup>8</sup> como alguns nomes que se dedicaram à compreensão dos processos mentais e cerebrais elucidando, por meio de seus trabalhos, conceitos importantes para a neurociência como a conhecemos hoje. Não deixando de mencionar as contribuições de Paul Broca e Carl Wernicke.

A história de Gage se tornou de suma importância para os neurocientistas, pois, até então, eles não tinham elucidado o fato de os lobos frontais terem grande influência nas emoções, assim como o entendimento de que a tomada de decisões morais e sociais estão associadas a uma base biológica. O crânio de Phineas Gage, juntamente com a barra de ferro que o perfurou, hoje guardados no Warren Medical Museum, da Harvard Medical School, em Boston (Figura 4), permitiram que autores como Hanna Damásio estabelecessem fortes ligações entre o caso Gage e as funções do lobo frontal décadas após o ocorrido (Damásio, 1996).

Figura 4 - O crânio de Gage, exposto no museu de Harvard



Fonte: Disponível em: <https://pintofscience.com.br/blog/o-curioso-caso-de-phineas-gage/>. Acesso em: 23 ago. 2023.

---

<sup>3</sup> Sigmund Exner (05/04/1846 – 05/02/1926): fisiologista austríaco.

<sup>4</sup> Sigmund Freud (06/05/1856 – 23/09/1939): neurologista e psiquiatra austríaco.

<sup>5</sup> Israel Waynbaum (1907): médico francês.

<sup>6</sup> William James (11/01/1842 – 26/08/1910): filósofo e psicólogo americano.

<sup>7</sup> Carl Lange (04/12/1834 – 29/05/1900): médico e psicólogo dinamarquês.

<sup>8</sup> Joseph Papez (15/03/1880 – 09/07/1942): anatomista estadunidense.

O caso Gage não foi o único a alicerçar estudos no intuito de compreender as bases neurais de raciocínio e a capacidade de decisão. Vale elencar quatro outros casos de pacientes que sofreram lesões cerebrais e cujas identidades emocionais sofreram grandes alterações. O primeiro, ocorrido em 1932, trata-se de um paciente que sofreu um tumor cerebral aos 39 anos de idade. O segundo, em 1940, refere-se a um jovem de 17 anos, vítima de um acidente que teve como consequência uma fratura dos ossos frontais, destruindo ambos os lados dos córtices. O terceiro caso, ocorrido em 1948, relata a história de um bebê que sofreu uma lesão no lobo frontal logo após o nascimento. E por último, o caso que se refere à leucotomia pré-frontal<sup>9</sup>, desenvolvida pelo neurologista Egas Moniz, em 1936 (Damásio, 1996).

## 2.2 NEUROCIÊNCIAS: PRINCÍPIOS E CAMPOS DE ESTUDO

O termo neurociências é relativamente novo, Guimarães, Monteiro-Junior e Deslandes (2014) relatam que essa nomenclatura surgiu em 1963 no título de uma publicação oficial do Neurosciences Research Program, fundado em 1962 no Massachusetts Institute of Technology (MIT). Bear, Connors e Paradiso (2017) e Cembranel (2018) mencionam que o termo surgiu nos anos de 1970, com a criação da Society for Neuroscience, e alberga as mais variadas áreas que se dedicam ao estudo das mudanças comportamentais pós lesões cerebrais.

Inicialmente considerada como um ramo da biologia, as neurociências têm se consolidado como um campo de estudo complexo e interdisciplinar, pois explica não somente as reações do corpo, mas os fenômenos da mente. Seu principal foco é a análise das estruturas e do funcionamento cerebral, mas vai além disso ao investir na compreensão das curiosidades relacionadas ao cérebro e à consciência humana; temáticas que por vários séculos têm intrigado filósofos e pesquisadores que, até então, estavam sem respostas. As neurociências surgem como uma ferramenta poderosa para investigar os mistérios do cérebro humano, buscando elucidar como as emoções, os pensamentos e os comportamentos humanos são influenciados por ele.

---

<sup>9</sup> Uma intervenção cirúrgica sobre a região pré-frontal com o fim de exercer influência terapêutica sobre certas psicoses ou sobre certos estados mentais mórbidos.

É importante ressaltar que as neurociências não pretendem responder a todas as perguntas sobre a mente humana, mas tem condições de fornecer campos possíveis de pesquisa. A história e a evolução das neurociências demonstram o quanto é desafiador compreender as funcionalidades do sistema nervoso, já que seu estudo contribui para diversas áreas do conhecimento, como biomedicina, fisiologia, psicologia, entre outras. Dessa forma, devido às suas múltiplas aplicações, foi necessário fragmentar os estudos neurocientíficos a fim de manter uma cobertura ampla. Essa fragmentação permitiu avanços significativos em subcampos específicos, facilitando descobertas detalhadas e aprimorando nosso entendimento geral do sistema nervoso.

Lent (2004) postula que as pesquisas em neurociências podem ser organizadas em conjuntos de conhecimentos distribuídas em cinco grupos de estudo: molecular, celular, sistêmica, comportamental e cognitiva (Quadro 1).

Quadro 1 - Grupos que compõem as neurociências

| <b>Tipos de neurociências</b> | <b>Características</b>                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Moleculares                   | O objeto de estudo são as moléculas. Pode ser chamada de neuroquímica ou neurobiologia molecular.                                                                                                                       |
| Celulares                     | Aborda as células do sistema nervoso, assim como, sua estrutura e função.                                                                                                                                               |
| Sistêmica                     | Pode ser chamada de neuro-histologia ou neuroanatomia, ou até mesmo neurofisiologia, quando lida com aspectos funcionais. Seu estudo está vinculado às células nervosas.                                                |
| Comportamental                | Estuda as estruturas neurais que dão origem a comportamentos e outros fenômenos psicológicos como o sono, os comportamentos sexuais, emocionais, e muitos outros. Pode ser chamada de psicofisiologia ou psicobiologia. |
| Cognitiva                     | Está vinculada às capacidades mentais mais complexas como a linguagem, a autoconsciência e a memória. Pode ser também chamada de neuropsicologia.                                                                       |

Fonte: Adaptado de Lent (2004, p. 6).

Em Migliori (2013) encontramos ramos distintos das neurociências – como a neurologia, que estuda as doenças e disfunções cerebrais; a neurobiologia, que investiga os aspectos biológicos do sistema nervoso; a neurogenética, que explora os genes relacionados ao desenvolvimento neurológico; a neuropsiquiatria, que investe em conexões entre os distúrbios mentais e o funcionamento cerebral; dentre outros. Entretanto, é importante ressaltar que esses campos de conhecimentos não são

disjuntos, podendo um único estudo transitar entre dois ou mais deles. Nos itens que seguem vamos nos ater ao foco do estudo: as neurociências cognitivas.

### **2.2.1 Neurociências cognitivas**

As neurociências cognitivas se dedicam a compreender como o cérebro produz as atividades mentais. Não há um consenso quanto ao surgimento deste campo de estudos, contudo, sabe-se que remete ao final do século XX. Gazzaniga, Ivry e Mangun (2006) relatam que o termo surgiu no final da década de 1970, a partir de uma conversa entre Michael Gazzaniga e George A. Miller<sup>10</sup> dentro de um táxi em Nova York, a caminho de um jantar de confraternização oferecido por cientistas das Universidades Rockefeller e Cornell, os quais, naquele momento, dedicavam seus estudos a desvendar como o cérebro dá origem à mente.

Vasconcellos e Machado (2006) indicam que seu surgimento se deu no final dos anos de 1950. Já para Mourão-Júnior, Oliveira e Faria (2017), ocorreu a partir de 1990, a partir da chamada “Década do cérebro” (1990-1999), quando houve um considerável avanço no estudo sobre o cérebro motivado principalmente pelo desenvolvimento tecnológico, uma vez que o uso de equipamentos de imagem permite visualizar, diretamente no cérebro, quais regiões ficam mais ativas, analisando o comportamento cerebral em resposta aos estímulos.

O que é fato é que as neurociências cognitivas compõem um campo interdisciplinar que combina conhecimentos de diversas áreas de modo a investigar como o cérebro realiza funções cognitivas, tais como percepção, memória, linguagem, atenção e tomada de decisão. Assim, seu intento é elucidar como diferentes áreas do cérebro impactam em comportamentos e habilidades cognitivas.

Compreender os processos neuronais subjacentes à aprendizagem é essencial para entender como, biologicamente, os conhecimentos são adquiridos, oferecendo novas perspectivas educacionais para que os professores possam planejar suas práticas de forma intencional, levando em conta a influência desses processos na

---

<sup>10</sup> George A. Miller foi um renomado psicólogo e linguista americano, nascido em 3 de fevereiro de 1920, em Charleston, Virgínia Ocidental. Ele é amplamente conhecido por suas contribuições significativas para a psicologia cognitiva e sua teoria da capacidade de processamento da memória humana. Foi um dos pioneiros no campo da psicologia experimental e suas pesquisas tiveram um impacto duradouro no entendimento da mente humana. Disponível em: <https://psicologosemmanaus.com.br/glossario/quem-e-george-a-miller/>. Acesso em: 30 jul. 2024.

construção de conhecimentos sólidos e duradouros. Nesse contexto, as áreas de neurociências e educação se inter-relacionam, uma vez que desvendar os mecanismos pelos quais o cérebro recebe, processa, organiza, armazena ou descarta informações se constitui em um campo de investigação científica. A integração desses conhecimentos com os aspectos pedagógicos ocorre, primordialmente, no ambiente escolar. Assim, embora a evolução dos estudos neurocientíficos sobre a mente humana, por si só, não represente uma revolução significativa nas práticas pedagógicas dos educadores, os estudos neurocientíficos são imprescindíveis para promover a conscientização de que tais conhecimentos são essenciais para aqueles que formam as gerações do século XXI.

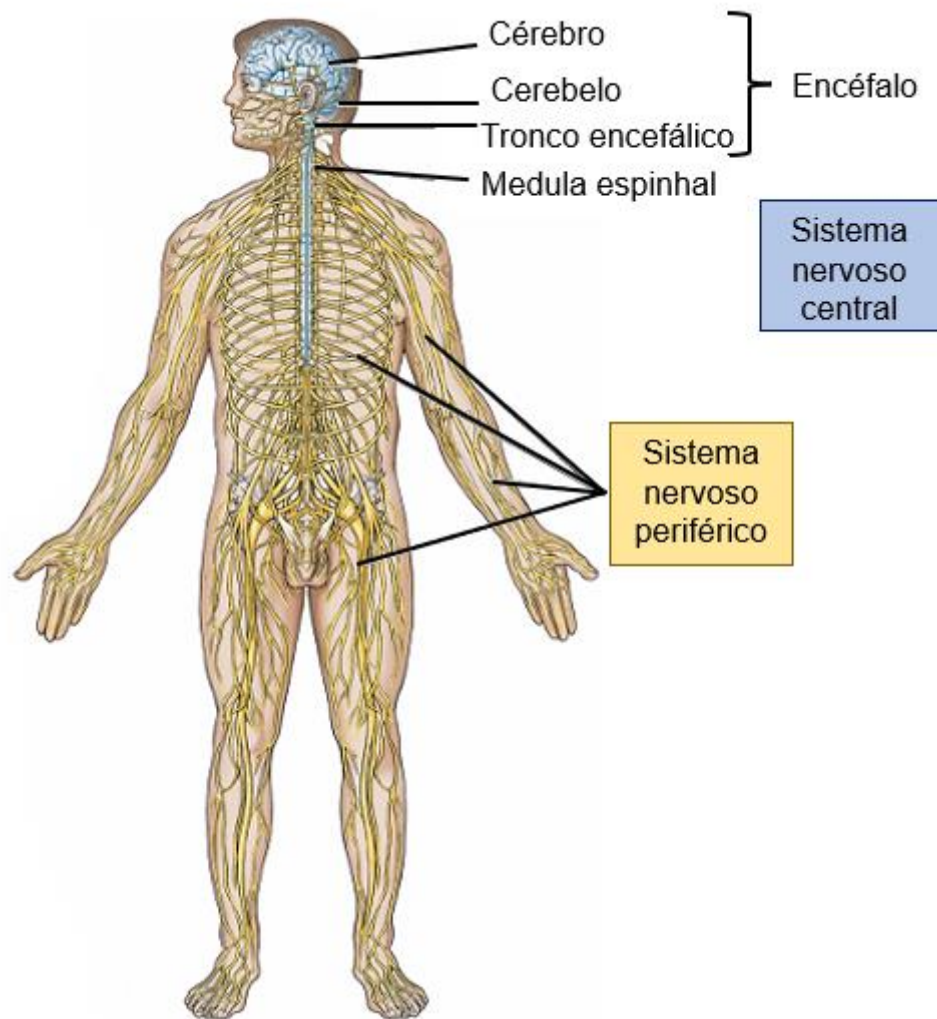
Assim sendo, esta seção trata, inicialmente, de explicar de forma breve, sobre a estrutura e o delineamento do sistema nervoso e as funções executivas do cérebro humano com o intuito de evidenciar como a atenção e a memória podem ser utilizados em favor da produção e escolha de tarefas matemáticas.

### **2.2.2 O sistema nervoso**

Dentre os sistemas do corpo humano, pode-se considerar que o sistema nervoso é o mais complexo e organizado, pois coordena todas as atividades corporais, sendo o responsável por estabelecer comunicação com o mundo ao redor e entre os diferentes sistemas e órgãos. Na visão anatômica, o sistema nervoso (SN) é dividido em central (SNC) e periférico (SNP) (Figura 5).

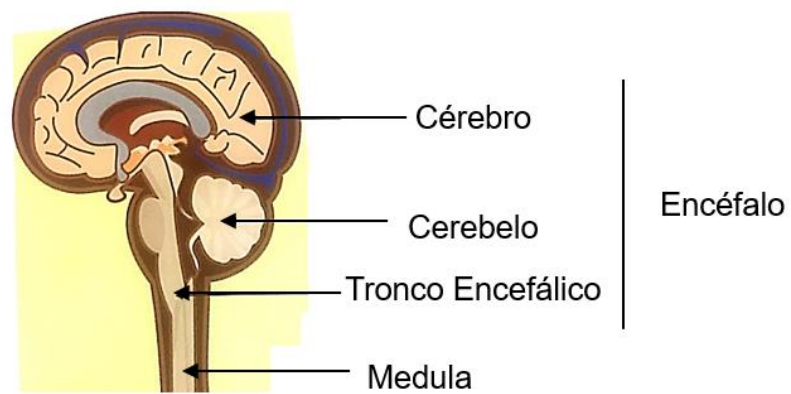
É no SNC (Figura 6) que estão o cérebro e a medula espinhal, assim como a maioria das células nervosas. Ele é responsável pelo controle e coordenação de todas as funções do organismo. No SNP estão os nervos – feixes de fibras nervosas que transmitem sinais elétricos entre o cérebro, a medula espinhal e outras partes do corpo; e os gânglios nervosos – aglomerados de células nervosas localizados ao longo do sistema nervoso que ajudam a processar os sinais elétricos), estes têm a função de levar as informações, por meio de neurônios, do cérebro aos outros órgãos do corpo (Migliori, 2013).

Figura 5 - Divisão anatômica do sistema nervoso



Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2017, p. 8).

Figura 6 - Sistema nervoso central



Fonte: Migliori (2013, p. 21).

O encéfalo (Figura 7) é a parte do sistema nervoso central localizada no interior da caixa craniana, composta pelo cérebro, cerebelo e tronco encefálico. É responsável por controlar funções cognitivas, sensoriais, motoras e coordenar as atividades do corpo. Já a medula espinhal é uma estrutura cilíndrica de tecido nervoso que contém um canal cheio de líquido. Ela se estende do cérebro até a região lombar da coluna vertebral, onde se conecta e transmite impulsos nervosos aos músculos, órgãos e receptores, fazendo a ligação entre o cérebro e o restante do corpo por meio do SNP. Sendo assim, desempenha funções motoras e sensitivas relacionadas ao controle imediato do funcionamento corporal (Amthor, 2017; Lent, 2004).

Figura 7 - Encéfalo



Fonte: Disponível em:

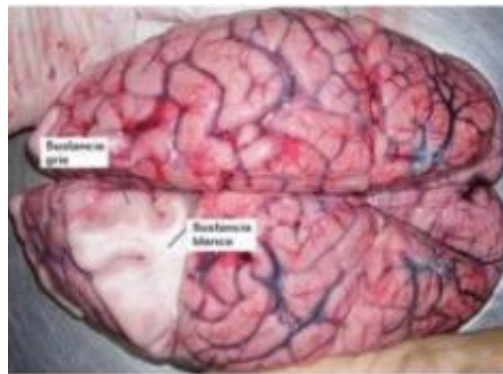
[https://www.facebook.com/labmorfoufsb/photos/a.1140822862730378/1366795290133133/?type=3&locale=pt\\_BR](https://www.facebook.com/labmorfoufsb/photos/a.1140822862730378/1366795290133133/?type=3&locale=pt_BR). Acesso em: 13 ago. 2023.

O tronco encefálico é a parte que fica mais próxima da medula espinhal. É responsável por funções vitais como respiração e batimentos cardíacos. O cerebelo fica atrás do cérebro e é responsável pelos movimentos voluntários do corpo e pelo equilíbrio. Já o cérebro é a parte mais importante do sistema nervoso, pois é responsável pela consciência das informações sensoriais e pelo processamento dessas informações em relação às experiências e expectativas (Cosenza; Guerra, 2011; Migliori, 2013).

O cérebro sempre foi motivo de curiosidade entre os cientistas por ser um órgão responsável por tantas funções motoras; curiosidade aliada ao anseio de compreender a mente humana. “Ele consiste de cerca de 100 bilhões de neurônios, que é mais ou menos a mesma quantidade de estrelas na nossa Via Láctea e o número de galáxias no universo conhecido” (Amthor, 2017, p. 54). Sua parte externa

é revestida por uma membrana fina de seis camadas com medidas aproximadas entre 1mm e 4mm, composta de um tecido enrugado com a cor acinzentada e várias dobras para que seja possível cobrir todos os sulcos e circunvoluções, com uma área de aproximadamente  $0,22 \text{ m}^2$  e encaixe perfeito no crânio. Essa membrana é denominada córtex cerebral, cujo termo córtex significa “casca”, tendo sua origem no latim. É no córtex cerebral (Figura 8) que se apresentam as mais complexas funções psíquicas neurais e onde se localizam as células gliais<sup>11</sup> e os neurônios. Na parte interna do córtex estão as fibras mielínicas, responsáveis pela transmissão de informações (Alvarenga, 2020).

Figura 8 - Córtex cerebral, parte interna e fibras de mielina



Fonte: Alvarenga, Domingos e Cabrera Zuñiga (2022, p. 5).

A parte interna do cérebro é constituída por duas regiões simétricas denominadas hemisférios direito e esquerdo. Cabe destacar que

O hemisfério esquerdo recebe a maioria das entradas e controla principalmente o lado direito do corpo. Esse hemisfério em humanos também é especializado para a linguagem, o raciocínio baseado em regras e as habilidades analíticas. O hemisfério direito lida com o lado esquerdo do corpo e é melhor em reconhecimento de padrões visuais e tipos de percepção mais holística (Amthor, 2017, p. 59).

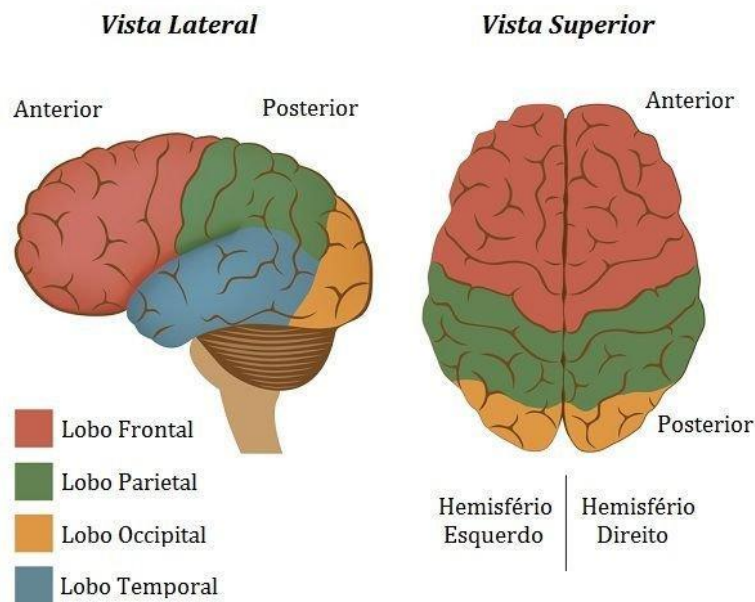
Embora os hemisférios estejam aparentemente separados, eles trabalham em conjunto para realizar praticamente todas as tarefas e se comunicam por meio do corpo caloso, uma estrutura de fibras nervosas, para integrar funções cognitivas e motoras. Eles são ainda subdivididos em quatro partes, chamadas lobos frontal,

---

<sup>11</sup> Células do sistema nervoso que não são neurônios, mas atuam como participantes dos mecanismos de processamento de informação neural, mantendo a estrutura e função dos neurônios.

parietal, temporal e occipital. As partes recebem esses nomes em referência aos ossos do crânio que os cobrem, assim, o lobo frontal está localizado sobre o osso frontal do crânio, o lobo parietal está sob o osso parietal, e assim por diante (Figura 9).

Figura 9 - Vista superior e lateral do cérebro



Fonte: Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/cerebro/>. Acesso em: 13 ago. 2023.

Cada hemisfério cerebral desempenha um conjunto de funções especializadas. O lobo frontal, de maior dimensão, encontra-se anteriormente ao crânio e se estende até um sulco que o separa do lobo parietal aproximadamente na metade do cérebro. Este lobo está associado à memória de curto prazo, controle motor e processos de tomada de decisões, os quais exercem influência sobre a personalidade.

O lobo parietal, situado adjacente ao frontal, abriga neurônios responsáveis pela recepção de informações sensoriais provenientes da pele e da língua, bem como pelo processamento de estímulos sensoriais das orelhas e dos olhos que são transmitidos por outros lobos. Assim sendo, o lobo parietal desempenha um papel crucial na formação da representação mental do corpo, conhecida como imagem corporal.

O lobo occipital, localizado na região posterior do crânio, desempenha uma função primordial no processamento visual, envolvendo a análise e interpretação das informações visuais que são transmitidas ao cérebro. Por sua vez, o lobo temporal

abrange as áreas responsáveis tanto pela visão quanto pela audição, estando intimamente relacionado aos processos de aprendizagem, memória e regulação emocional (Amthor, 2017; Kandel *et al.*, 2014).

Assim, o estudo do cérebro se torna tão significativo pois,

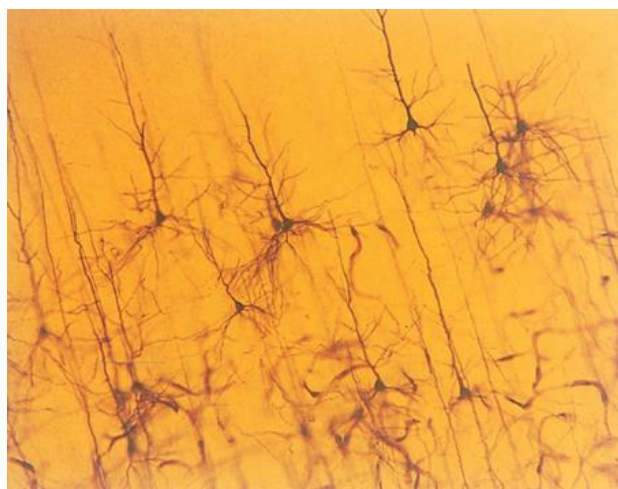
O cérebro, como sabemos, é a parte mais importante do nosso sistema nervoso, pois é através dele que tomamos consciência das informações que chegam pelos órgãos dos sentidos e processamos essas informações, comparando-as com nossas vivências e expectativas (Cosenza; Guerra, 2011, p. 11).

Dessa forma, o cérebro é um objeto de estudo indispensável para compreender os processos de ensino e de aprendizagem. Por meio dele, somos capazes de formar conexões neurais que permitem não apenas adquirir novos conhecimentos, mas também reestruturar informações previamente armazenadas.

#### 2.2.1.1 Os neurônios e a transmissão de informações

“Como qualquer máquina complexa, o cérebro contém várias partes, cada qual com subpartes, que por sua vez também têm subpartes, até chegar aos seus ‘elementos mais básicos’ – os neurônios” (Amthor, 2017, p. 54). Nesse sentido, o neurônio é uma célula importante e fundamental no sistema nervoso, sendo o responsável por processar e transmitir informações eletroquímicas (Figura 10).

Figura 10 - Neurônios impregnados pela coloração de Golgi



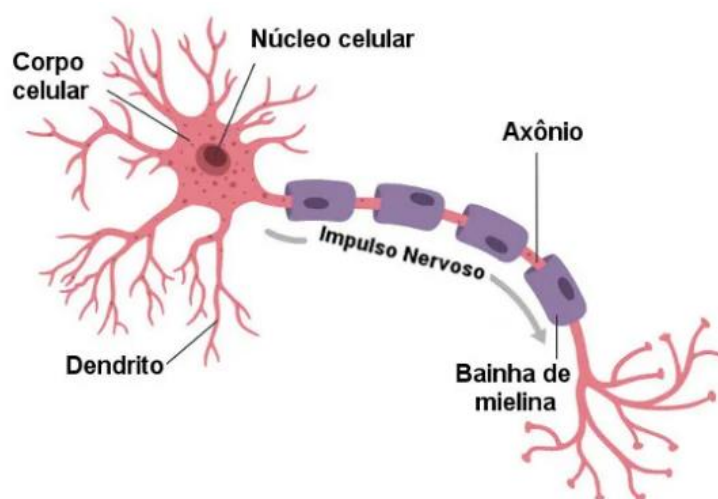
Fonte: Bear, Connors e Paradiso (2017, p. 26).

O neurônio é, então, a unidade funcional básica do sistema nervoso, por desempenhar um papel fundamental na transmissão de informações e na coordenação das atividades do organismo humano (Lent, 2004). “É a célula nervosa que produz e veicula sinais elétricos, verdadeiros bits de informação. É capaz de codificar tudo o que percebemos do ambiente externo e interno, e tudo o que sentimos e pensamos em nossa consciência” (Migliori, 2013, p. 27). Por esse motivo os neurônios atuam em grandes conjuntos, formando, assim, os circuitos ou redes neurais que são essenciais para o bom funcionamento do organismo humano.

Nesse sentido, as divisões do sistema nervoso são universalmente definidas de acordo com as funções dos neurônios, conforme Anthor (2017), pois são eles “que sentem as mudanças no ambiente, que comunicam essas mudanças a outros neurônios e que comandam as respostas corporais a essas sensações” (Bear; Connors; Paradiso, 2017, p. 24). Os neurônios são o único tipo de célula nervosa capaz de produzir e veicular sinais elétricos no sistema nervoso, denominados impulsos nervosos, os quais são gerados por meio de uma combinação complexa de processos químicos e elétricos. De maneira geral, o que o diferencia de outras células é justamente a sua morfologia adaptada para a transmissão de informações.

A estrutura do neurônio é composta pelo corpo celular, que contém o núcleo e outras organelas celulares essenciais, e pelos prolongamentos, chamados dendritos e axônios. Cada uma dessas partes desempenha um papel essencial na comunicação com outras células nervosas (Figura 11).

Figura 11 - Estrutura do neurônio



Os dendritos – termo que em grego significa “pequenos ramos de árvore”, recebem esse nome porque se ramificam e se assemelham a pequenos arbustos. São responsáveis por receber os sinais provenientes de outros neurônios ou de células sensoriais, transmitindo esses sinais para o corpo celular. Um desses dendritos é mais longo e se ramifica menos no trajeto e mais na extremidade, o qual recebe o nome de axônio, sendo único a cada neurônio. Este é responsável por conduzir os impulsos elétricos gerados no corpo celular até as terminações nervosas, onde ocorre a transmissão desses sinais para outros neurônios do circuito neural.

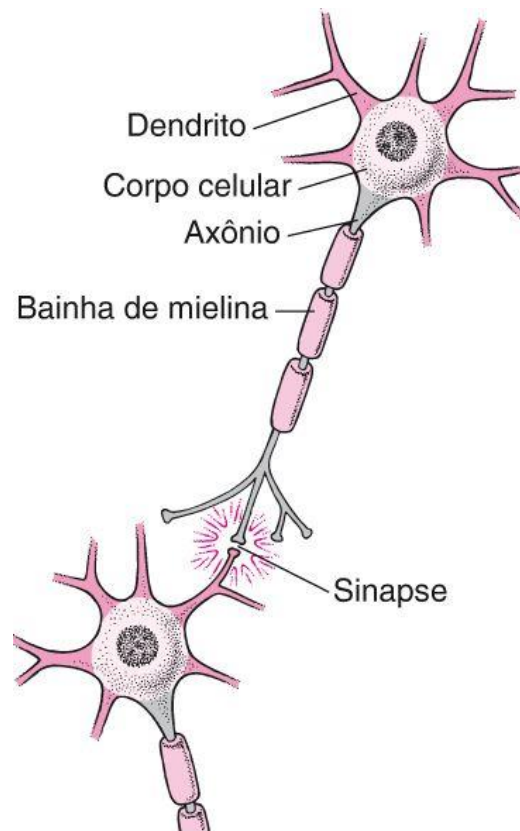
Sua estrutura é revestida por uma camada chamada bainha de mielina, formada por células auxiliares, cuja função é garantir a maior velocidade possível na transmissão desses impulsos nervosos. “Os axônios que possuem esse envoltório conduzem a informação em uma velocidade até 100 vezes maior do que uma fibra que não seja mielínica” (Cosenza; Guerra, 2011, p. 15). Onde ocorre a falha dessa bainha surgem os chamados “nódulos de Ranvier”, nome em homenagem ao fisiologista francês Louis-Antoine Ranvier, que os descreveu pela primeira vez em 1878.

Em resumo, os dendritos levam os impulsos nervosos para o corpo celular e o axônio os levam para fora. Sendo assim, um único axônio do neurônio transmissor comunica-se com diversos dendritos do neurônio receptor, o que exige que o axônio tenha várias ramificações na sua porção terminal para que seja possível seu contato com os dendritos (Kandel *et al.*, 2014; Lent, 2004).

#### 2.2.1.2 As sinapses

É importante lembrar que, na transmissão de impulsos nervosos entre um neurônio e outro, ou entre um neurônio e outra célula, ambos, transmissor e receptor, aproximam-se, porém, não se encostam (Figura 12). Ao se aproximarem bastante, é criado um “canal” entre os neurônios, permitindo que as informações sejam compartilhadas. A esse mecanismo o fisiologista inglês Charles Sherrington, em 1897, deu o nome de sinapse, palavra de origem grega que significa “amarrar junto”.

Figura 12 - Sinapse



Fonte: Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/935482153823993397/>. Acesso em: 21 ago. 2024.

Alvarenga, Domingos e Cabrera Zuñiga (2022) esclarecem que a sinapse é o processo que possibilita a comunicação entre os neurônios no nosso sistema nervoso. Migliori (2013, p. 28) a define como “o contato entre um neurônio e outro, através do qual ocorre a transmissão de mensagens”. Para Kandel (2014, p. 187) a sinapse é o “processo pelo qual as células nervosas se comunicam”. Esse processo é mediado por sinais químicos e elétricos e ocorre nos botões sinápticos, situados nas extremidades dos ramos do axônio. Cada botão sináptico contém pequenos depósitos cheios de substâncias químicas, conhecidas como neurotransmissores, que auxiliam na transferência de informações de uma célula para outra.

Já que a transmissão sináptica é unilateral, é conveniente chamar o primeiro neurônio de pré-sináptico e o segundo de pós-sináptico. Desse modo, a sinapse possui duas partes: o lado pré-sináptico – terminal axonal; e o lado pós-sináptico – dendrito de outro neurônio. Entre essas partes existem as chamadas fendas sinápticas, que é onde a transmissão da informação ocorre. O neurônio emite impulsos elétricos que saem do axônio pré-sináptico e encontram um dos dendritos do neurônio pós-sináptico, entretanto, esses impulsos não conseguem ultrapassar a

barreira sináptica. Para que a comunicação seja feita são utilizados mediadores químicos, conhecidos como neurotransmissores, que são liberados no espaço sináptico e se ligam aos receptores presentes nos dendritos do neurônio receptor, gerando um novo impulso elétrico.

[...] o impulso nervoso se apresenta como um potencial de ação ou pulso de eletricidade, porém, os neurônios não estão diretamente interligados, uma vez que existe um espaço entre eles, a sinapse; logo, o sinal não pode ultrapassar eletricamente esse espaço. Para esta função existem substâncias químicas especiais, chamadas neurotransmissores, que permitem então, que as células emissoras se comuniquem com as células receptoras. O processo de transferência de informação na sinapse é denominado transmissão sináptica (Silva, 2017, p. 35).

No entanto, os sinais emitidos nem sempre chegam da mesma maneira, podendo haver variações na quantidade ou na natureza dos neurotransmissores liberados, bem como na sensibilidade dos receptores aos neurotransmissores. Essas variações podem resultar em alterações na informação transmitida de um neurônio para outro. Esse fato é o que justifica a capacidade do sistema nervoso de tomar decisões com base em alterações na informação recebida, o que é fundamental para o funcionamento do cérebro.

À capacidade do sistema nervoso de estabelecer e romper conexões entre neurônios como resultado das interações contínuas com o ambiente externo e interno do corpo, dá-se o nome de **plasticidade cerebral** (Cosenza; Guerra, 2011), a qual representa a chave para a aprendizagem. Contudo, Cembranel (2018) assevera que, sob a perspectiva das neurociências, a aprendizagem só é eficaz se o cérebro tiver a plasticidade necessária para se modificar e reorganizar em resposta aos estímulos, adaptando-se a essas novas informações.

#### 2.2.1.3 A aprendizagem

Ao longo da história o conceito de aprendizagem sofreu alterações, ganhando na década de 1950, nova perspectiva a partir da abordagem comportamental de Burrhus F. Skinner, Ivan Pavlov e John Watson, a qual tem enfoque no estudo do comportamento humano, considerando-o como resultado de provocações do ambiente e das respostas aprendidas. Nessa perspectiva, o processo de “ensinar e aprender” se resume em responder a diferentes estímulos, não se preocupando em

compreender os processos internos do funcionamento do cérebro nem com os processos mentais. Nesse contexto é que surgiram as afirmações de que é possível “moldar” o comportamento humano por meio da manipulação de estímulos, reforçando os comportamentos considerados “adequados” e punindo os “inadequados” (Alvarenga, 2020).

Sob a perspectiva construtivista de autores como Jean Piaget, Lev Vygotsky, David Ausubel, Joseph Novak, Helen Hanesian e Jerome Bruner, o conceito de aprendizagem enfatiza o papel do indivíduo como sujeito ativo na construção do conhecimento por meio de suas experiências e atividades autodirigidas voltadas para interações com o ambiente. Para Jean Piaget a aprendizagem é consequência de interações entre o indivíduo e o ambiente por meio da tríade assimilação-acomodação-adaptação. Já para Lev Vygotsky a aprendizagem ocorre por meio de interações sociais e apropriação da cultura pelo estudante, contudo, é uma experiência social mediada pelo que ele chama de signos, ou seja, algo que faça sentido ao indivíduo. Essa interação ocorre na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), isto é, na região onde se evidencia o que o estudante já sabe e o que tem potencialidade para aprender (Alvarenga, 2020).

As neurociências, por sua vez, presumem que a aprendizagem está relacionada a mudanças nas atividades cerebrais, as quais refletem no comportamento. Essas mudanças, como descrito no item anterior, podem ser compreendidas como plasticidade cerebral e podem ocorrer naturalmente e/ou de maneira aprendida. “A palavra aprendizagem, assim, envolve um indivíduo com seu cérebro, captando informações do ambiente, guardando-as por algum tempo e, eventualmente, utilizando-as para orientar seu comportamento subsequente” (Lent, 2019, p. 13).

Para Dehaene (2022, p. 33) “aprender é formar um modelo interiorizado do mundo exterior”, isto é, o ato de aprender implica a criação de uma representação mental ou um entendimento interno do que existe e acontece ao nosso redor. De modo que “o cérebro *interioriza* um novo aspecto da realidade: ajusta seus circuitos para se apropriar de algo que fugia ao seu controle até então” (Dehaene, 2022, p. 35). Este autor lista sete definições distintas do significado de “aprender”. São elas:

Aprender é ajustar os parâmetros de um modelo mental [...] é explorar uma explosão combinatória [...] é reduzir erros [...] é explorar o espaço de

possibilidades [...] é otimizar a função de recompensa [...] é restringir o espaço de busca [...] é projetar hipóteses *a priori* (Dehaene, 2022, p. 35-56).

Nesse contexto, o cérebro é visto como um órgão com potencial para aprendizado contínuo, sendo possível sua modificação por intermédio de estímulos externos – como atividades físicas e treino mental; bem como mediante experiências vividas. Essas alterações podem ocorrer ao longo de toda a vida e são elas que definem o processo de aprendizagem.

#### 2.2.1.4 As funções executivas

Definimos funções executivas ancoradas em Cosenza e Guerra (2011, p. 87), que asseveram ser “o conjunto de habilidades e competências que nos permitem executar ações necessárias para atingir um objetivo”. Para que isso ocorra é necessária a participação de vários processos cognitivos como a atenção, a memória, a fluência e a flexibilidade do pensamento. Migliori (2013) elenca suas principais tarefas:

[...] estabelecer uma meta específica; determinar o início ou não desta tarefa; planejar as etapas de todo o processo; monitorar cada etapa comparando com o modelo proposto; alterar o modelo quando necessário; seguir ou interromper a proposta inicial; avaliar o resultado final em relação ao objetivo inicialmente determinado (Migliori, 2013, p. 55).

As funções executivas são moldadas por diversas influências, englobam uma série de habilidades e conhecimentos e podem ser ensinadas. Portanto, elas têm um papel fundamental no processo de aprendizagem, visto pelas neurociências como a alteração do cérebro proporcionada pela experiência. Desse modo, o sucesso escolar dos estudantes está fortemente ligado à sua capacidade de gerenciar tais funções, seja na escola, em casa ou em sua vida cotidiana. O estudante é um ser executivo e, se não conseguir aplicar essas habilidades, aprender se tornará difícil e pouco agradável para ele.

É primordial que o ambiente escolar propicie estratégias de modo a promover o desenvolvimento das funções executivas. Isto é, os estudantes devem ser incentivados a planejar suas atividades, dividindo-as em subtarefas manejáveis e estabelecer metas dentro de uma perspectiva temporal. É crucial que eles aprendam a buscar informações utilizando recursos disponíveis e a identificar questões

relevantes. Além disso, devem ser capazes de organizar criticamente a informação, fazer avaliações e generalizações, e integrar novos conceitos ao conhecimento pré-existente. São igualmente importantes: a flexibilidade para lidar com ambiguidades de forma construtiva e a habilidade de debater e discutir ideias, explorando abordagens alternativas e tirando conclusões. Os alunos devem também ser capacitados a identificar erros, discrepâncias e falhas lógicas e a corrigir seus próprios lapsos nas diversas disciplinas acadêmicas (Cosenza; Guerra, 2011).

As funções executivas podem ser divididas em aspectos mais fundamentais para uma compreensão mais detalhada. Dentre elas, Fonseca (2014) destaca as seguintes:

[...] **atenção** (sustentação, foco, fixação, seleção de dados relevantes dos irrelevantes, evitamento de distratores, etc); **percepção** (intraneurossensorial, interneurossensorial, metaintegrativa, analítica e sintética, etc); **memória de trabalho** (localização, recuperação, rechamada, manipulação, julgamento e utilização da informação relevante, etc); **controle** (iniciação, persistência, esforço, inibição, regulação e autoavaliação de tarefas, etc); **ideação** (improvisação, raciocínio indutivo e dedutivo, precisão e conclusão de tarefas, etc); **planificação e a antecipação** (priorização, ordenação, hierarquização e predição de tarefas visando a atingir fins, objetivos e resultados, etc); **flexibilização** (autocrítica, alteração de condutas, mudança de estratégias, de tecção de erros e obstáculos, busca intencional de soluções, etc); **metacognição** (autoorganização, sistematização, automonitorização, revisão e supervisão, etc); **decisão** (aplicação de diferentes resoluções de problemas, gestão do tempo evitando atrasos e custos desnecessários, etc); **execução** (finalização e concomitante verificação, retroação e reaferênciação, etc) (Fonseca, 2014, p. 247-248, grifo nosso).

Nos itens que seguiremos discutindo dois desses aspectos: a atenção e a memória, dado que são funções essenciais para o processamento cerebral de informações por estarem interligadas. Desse modo, desempenham um importante papel no processo de aprendizagem em matemática. Elas constituem a base da construção do conhecimento, já que a atenção é responsável pela aquisição de novos conhecimentos enquanto a memória é responsável pelo armazenamento dos conhecimentos adquiridos.

#### 2.2.1.4.1 Atenção

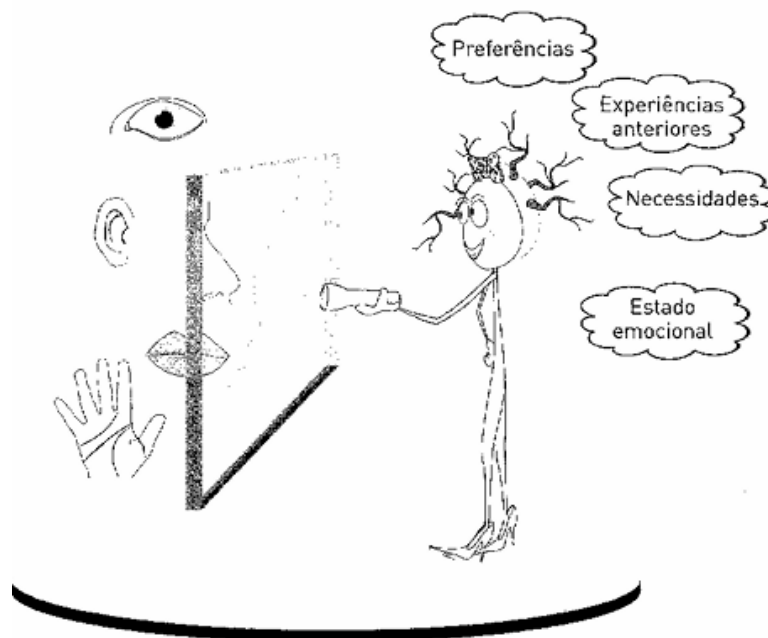
A atenção pode ser conceitualizada como um mecanismo de filtragem de estímulos, permitindo a avaliação da relevância e a definição de prioridades para

facilitar um processamento cognitivo mais elaborado. Assim, tem a incumbência de selecionar os estímulos percebidos e priorizar o processamento da informação mais relevante, ou seja, ela representa uma função que apropriadamente “aloca nossos recursos de processamento, ao mesmo tempo em que atenua os distratores” (Migliori, 2013, p. 65). Dehaene (2022, p. 205-206) a define como “todos os mecanismos por meio dos quais o cérebro seleciona informações, a amplifica, as canaliza e aprofunda seu processamento”. Assim, exerce significativa influência no controle e na regulação dos processos cognitivos, favorecendo a aprendizagem. Sob essa perspectiva,

Poderíamos usar como metáfora para o fenômeno da atenção uma janela aberta para o mundo, na qual dispomos de uma lanterna que utilizamos para iluminar os aspectos que mais nos interessam. É preciso lembrar que essa lanterna ilumina também nossos processos interiores quando focalizamos nossos pensamentos, resolvemos problemas ou tomamos decisões conscientes (Cosenza; Guerra, 2011, p. 42).

Na Figura 13 vê-se uma ilustração da metáfora de Cosenza e Guerra (2011).

Figura 13 - Comparação entre atenção e uma lanterna



Fonte: Cosenza e Guerra (2011, p. 42).

Conforme Oliveira (2018), a atenção pode ser classificada em endógena, ou seja, aquela que é direcionada de forma voluntária ou consciente, baseada em escolhas ou necessidades internas, assim se refere às ações ou objetos aos quais

direcionamos nossa atenção; e atenção reflexa (exógena), quando um fenômeno específico atrai nossa atenção de forma involuntária.

Lima (2005) propõe uma subdivisão adicional da atenção, fundamentada em sua operacionalização. Nesse sentido a atenção pode ser categorizada como seletiva, sustentada, alternada e dividida. A seletiva refere-se ao processo pelo qual o indivíduo prioriza determinados estímulos em detrimento de outros. A sustentada caracteriza-se pela manutenção do foco em um estímulo específico ao longo de um período, enquanto uma tarefa é executada. A alternada envolve o desengajamento do foco de um estímulo e seu redirecionamento para outro. Finalmente, a atenção dividida manifesta-se quando o indivíduo executa duas tarefas simultaneamente.

Ela é fundamental para a retenção de informações, permitindo o armazenamento de dados na memória de longa duração. Devido à sua importância, é extensivamente estudada em campos como psicologia, neurociência cognitiva, biologia e fisiologia, sendo essencial para compreender os processos perceptivos e as funções cognitivas. No contexto escolar, especialmente em sala de aula, um dos grandes desafios é estimular os diversos tipos de atenção, convertendo informações automáticas em processos progressivos de intelectualização. Diversos fatores podem influenciar a atenção, incluindo o ambiente em que o indivíduo se encontra, as características dos estímulos, as expectativas, a motivação, a relevância da tarefa, o estado emocional e as experiências anteriores.

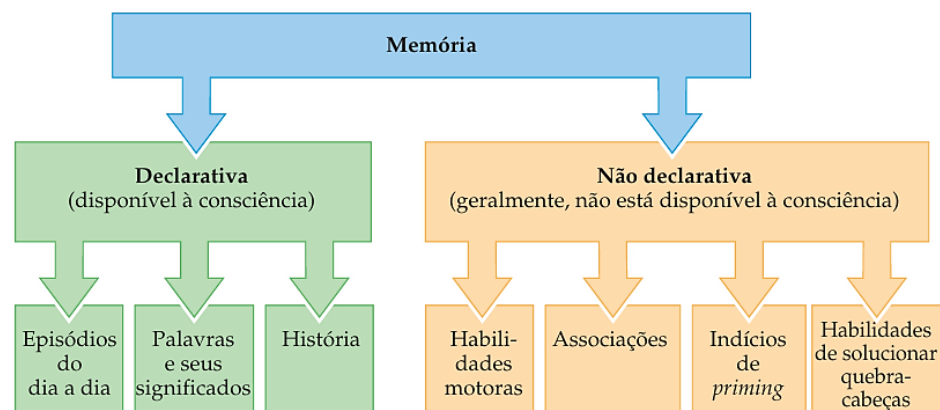
#### *2.2.1.4.2 Memória*

Outra função cognitiva é a memória, sua definição abrange a “aquisição, formação, conservação e evocação de informações” (Izquierdo, 2014, p. 13). A aquisição, também conhecida como aprendizado, é essencial para a fixação das informações. No entanto, para que uma informação se torne consciente é necessário que ela passe pelo filtro da atenção. Se considerada relevante, é mantida na consciência por meio de um sistema de repetição, caso contrário, é descartada (Cosenza; Guerra, 2011).

Há diferentes tipos de memória. A memória declarativa se refere à possibilidade de expressar, por meio da linguagem, aquilo que está armazenado na consciência, uma vez que se caracteriza por registrar fatos. Assim, esse tipo de memória está relacionado a situações do dia a dia. Um exemplo é o fato de ser possível se lembrar

de uma canção ou de alguma situação vivida no passado. Enquanto a memória não declarativa é aquela que muitas vezes não está disponível na consciência e requer um esforço maior para se lembrar. Para serem ativadas precisam ser associadas a habilidades motoras e/ou a *priming*<sup>12</sup>, por exemplo (Izquierdo, 2014; Purves *et al.*, 2010) (Figura 14).

Figura 14 - Principais categorias qualitativas para a memória humana



Fonte: Purves *et al.* (2010, p. 792).

A memória declarativa desempenha um papel fundamental em nossa vida diária. No contexto da matemática podemos considerar, como um exemplo de memória declarativa, lembrar o resultado da tabuada de multiplicação ou converter corretamente 3 km em metros. Já a memória não declarativa não é voluntária, mas rapidamente é possível recorrer a ela, por exemplo, quando precisamos resolver problemas simples de adição ou multiplicação conseguimos chegar à solução rapidamente, sem pensar conscientemente nos passos, ou, após estudar sobre simetria, uma pessoa pode identificar rapidamente padrões simétricos em problemas de geometria.

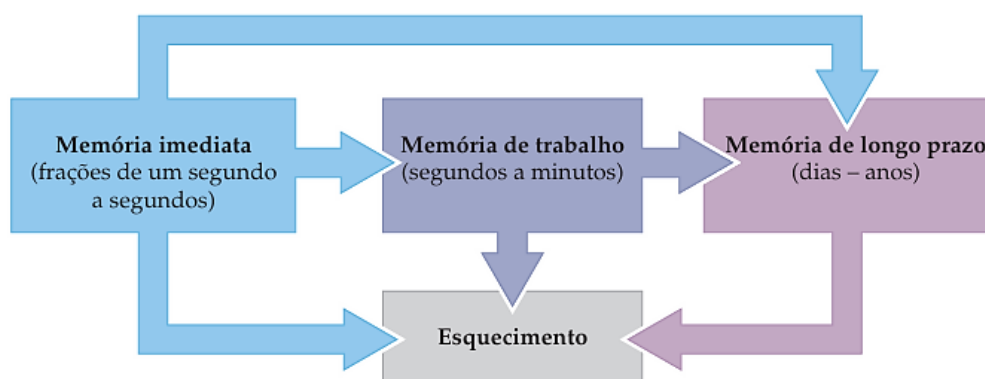
As memórias declarativa e não declarativa se referem à natureza daquilo que é lembrado. Elas são subdivididas em episódicas, quando se referem “a eventos aos quais assistimos ou dos quais participamos” (Izquierdo, 2014, p. 33); ou semânticas, quando se referem a conhecimentos gerais, como conhecimentos de Português e de Matemática. Migliori (2013) dá a seguinte definição a essas memórias:

<sup>12</sup> *Priming*: “memória evocada através de ‘dicas’ (fragmentos de uma imagem, a primeira palavra de uma poesia, certos gestos, odores ou sons) [...] priming, palavra para a qual não existe uma boa tradução em português. Alguns utilizam a expressão ‘dica’, mas não quer dizer exatamente a mesma coisa” (Izquierdo, 2014, p. 38-39).

Semântica: corresponde ao conjunto de informações que vamos retendo ao longo da vida e que não nos lembramos onde e como aprendemos. É uma memória compartilhada social e culturalmente. Por exemplo, sabemos responder à pergunta “quem descobriu o Brasil?”, mas não nos lembramos como aprendemos. Episódica: diz respeito à trajetória pessoal de cada um e às experiências que vão sendo registradas. Lembramos da festa de aniversário, do presente ou da cor do papel em que estava embrulhado e de outros tantos registros da nossa vida (Migliori, 2013, p. 46).

Além desse escopo, as memórias também são classificadas em relação ao tempo em que ficam armazenadas. Para Purves *et al.* (2010) elas podem ser imediatas, de trabalho e de longo prazo (Figura 15). A memória imediata se refere a informações que ficam na consciência por frações de segundos e depois são esquecidas. Na memória de trabalho a informação dura de segundos a minutos, tempo suficiente para realizar uma tarefa. Já a memória de longo prazo é aquela que pode durar dias, semanas ou por toda a vida.

Figura 15 - Categorias temporais para a memória humana



Fonte: Purves *et al.* (2010, p. 792).

Izquierdo (2014) reitera essa concepção, mas ressalta que memória imediata e memória de trabalho são termos sinônimos. Para ele, a memória de trabalho “serve para ‘gerenciar a realidade’ e determinar o contexto em que os diversos fatos, acontecimentos ou outro tipo de informação ocorrem, se vale a pena ou não fazer uma nova memória disso” (Izquierdo, 2014, p. 28). Já as memórias de longo prazo demoram a se consolidar. No instante em que são adquiridas “são lábeis e suscetíveis à interferência por numerosos fatores, desde traumatismos cranianos ou eletrochoques convulsivos até uma variedade enorme de drogas ou, mesmo, à ocorrência de outras memórias” (Izquierdo, 2014, p. 40).

---

### 3 METODOLOGIA DE PESQUISA

---

Este capítulo exhibe a metodologia de pesquisa utilizada para a elaboração deste trabalho. Guiados por Minayo (2009), compreendemos por metodologia, neste caso, o percurso do pensamento e a prática aplicada na abordagem da realidade. Demo (1995, p. 11) a define como o “estudo dos caminhos, dos instrumentos usados para se fazer ciência”. A palavra metodologia tem origem grega, *métodos + logos*.

Método significa organização. Logia quer dizer estudo sistemático, pesquisa, investigação. Metodologia significa, etimologicamente, o estudo dos caminhos a serem seguidos, dos instrumentos usados para se fazer ciência. A Metodologia faz um questionamento crítico da construção do objeto científico, problematizando a relação sujeito-objeto construído. Diante de uma objetividade impossível, a Metodologia busca uma subjetividade controlada por si mesma (autocrítica) e pelos outros (crítica) (Goldenberg, 2004, p. 105).

Nesse sentido, a metodologia abrange o método, as técnicas e a criatividade do pesquisador. A partir de Lakatos e Marconi (2003, p. 83) assumimos o método como “o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo – conhecimentos válidos e verdadeiros –, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista”. Severino (2013, p. 89) caracteriza o método científico como “elemento fundamental do processo do conhecimento realizado pela ciência para diferenciá-la não só do senso comum, mas também das demais modalidades de expressão da subjetividade humana, como a filosofia, a arte, a religião”.

Com base em definições de autores acerca do que é pesquisa, Fiorentini e Lorenzato (2006) concluem que

[...] a pesquisa é um processo de estudo que consiste na busca disciplinada/metódica de saberes ou compreensões acerca de um fenômeno, problema ou questão da realidade ou presente na literatura o qual inquieta/instiga o pesquisador perante o que se sabe ou diz a respeito (Fiorentini; Lorenzato, 2006, p. 60).

Gil (2002) corrobora ao conceituar pesquisa como um procedimento racional e sistemático com o propósito de fornecer respostas aos problemas apresentados. Na prática a pesquisa é desenvolvida ao longo de um ciclo que abrange uma sequência

de etapas, desde a formulação precisa do problema até a apresentação dos resultados.

Ancorados no intento de elencar e analisar as possíveis contribuições das neurociências cognitivas encontradas nos estudos mapeados para o ensino e a aprendizagem de matemática, apresentamos os procedimentos lógicos utilizados no decorrer dessa investigação. Assim, foi realizada uma revisão bibliográfica sistemática com abordagem qualitativa, tendo caráter exploratório e descritivo previamente estabelecidos. Nos subitens que seguem descrevemos cada uma dessas técnicas.

### 3.1 A ABORDAGEM QUALITATIVA

A pesquisa de cunho qualitativo não se refere a uma modalidade de metodologia, mas sim a um conjunto “de metodologias, envolvendo, eventualmente, diversas referências epistemológicas” (Severino, 2013, p. 103). Sendo assim, é mais adequado se referir a ela como abordagem qualitativa. Neste contexto, uma pesquisa com abordagem qualitativa remete mais aos seus fundamentos epistemológicos do que às particularidades metodológicas, isto é,

[...] são pesquisas que permitem compreender as características do fenômeno investigado e que ao assim procederem dão oportunidade para abrirem-se possibilidades de compreensões possíveis quando a interrogação do fenômeno é dirigida a contextos diferentes daquele em que a investigação foi efetuada. Sustentam raciocínios articuladores importantes para tomadas de decisão políticas, educacionais, de pesquisa e aos poucos semeiam regiões de inquérito com análises e interpretações rigorosas (Bicudo, 2011, p. 21).

Pesquisas com essa roupagem se concentram em responder a questões específicas e complexas, com foco nos aspectos não quantificáveis da realidade. Nas Ciências Sociais essa abordagem lida com o mundo dos significados, motivações, aspirações, crenças, valores e atitudes. Em vez de números e estatísticas, ela busca compreender e interpretar o caso como um todo orgânico, uma unidade em ação com sua própria dinâmica, mas que está profundamente interligada com seu contexto sociocultural (Fiorentini; Lorenzato, 2006; Minayo, 2009).

Isso se faz presente neste trabalho, uma vez que, para alcançar nosso objetivo de extrair, das obras mapeadas, as possíveis sugestões que as neurociências

cognitivas podem oferecer à educação matemática, atentamo-nos às sutilezas apresentadas por tais autores, as quais, por sua vez, não podem ser quantificadas.

Prodanov e Freitas (2013) reiteram que o enfoque é a compreensão da relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, reconhecendo um vínculo inseparável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser quantificado. Assim, a interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são centrais nesse tipo de pesquisa, já que não requer métodos estatísticos. Todavia, alguns dados numéricos simples podem ajudar muito nas interpretações. O ambiente natural serve como fonte direta de dados, pois o pesquisador tende a analisá-los de forma indutiva, focando no processo e em seu significado.

Em Bogdan e Biklen (1994) encontramos cinco características essenciais de uma pesquisa qualitativa:

1. Na investigação qualitativa a fonte directa de dados é o ambiente natural, constituindo o investigador o instrumento principal. [...].
2. A investigação qualitativa é descritiva. [...].
3. Os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos. [...].
4. Os investigadores qualitativos tendem a analisar os seus dados de forma indutiva. [...].
5. O significado é de importância vital na abordagem qualitativa (Bogdan; Biklen, 1994, p. 47-50).

Em nossa pesquisa seguimos os cinco passos e, por se tratar de uma pesquisa bibliográfica, onde realizamos uma análise de 20 trabalhos, transcendemos a análise puramente observacional, pois contextualizamos e interpretamos criticamente as contribuições das obras desejadas. Além de ser descritiva, nossa pesquisa valorizou o processo investigativo mais do que os produtos finais, seguindo uma abordagem indutiva na análise dos dados. O significado foi central e cuidadosamente articulado para evidenciar as intersecções entre as Neurociências e o ensino de Matemática. Ressalta-se que nem todos os estudos qualitativos necessariamente satisfazem a todas essas características, podem livremente se ausentar de uma ou mais delas sem perda de foco.

A primeira característica se refere à fonte de dados e ao papel do investigador, que atua como o principal instrumento de coleta dos dados ao se inserir no ambiente de estudo, pois o contato direto, sobretudo, a observação de como os participantes se comportam em seu ambiente natural, é decisivo para a compreensão mais profunda e contextualizada dos fenômenos. Quando os dados remetem a documentos e estudos científicos, como é o nosso caso, os pesquisadores, assim como fizemos,

debruçam-se sobre eles almejando compreender como e em que circunstâncias foram elaborados. Sampieri, Collado e Lucio (2013, p. 35) reiteram esta ideia ao afirmar que, na pesquisa com abordagem qualitativa, “o pesquisador é introduzido nas experiências dos participantes e constrói o conhecimento, sempre consciente de que é parte do fenômeno estudado. Assim, no centro da pesquisa está a diversidade de ideologias e as qualidades únicas dos indivíduos”.

A segunda se refere à natureza descritiva que permeia a investigação qualitativa, pois esta, ao descrever dados, pessoas, situações, extratos de documentos, entre outros, tem como foco disponibilizar uma representação rica e detalhada dos dados coletados. Creswell (2007, p. 202) complementa afirmando que “os dados são relatados em palavras (primariamente nas palavras dos participantes) ou desenhos, em lugar de números”. O que “pode transportar os leitores para o ambiente e dar à discussão um elemento de experiências compartilhadas” (Creswell, 2007, p. 200). Em nossa pesquisa isso foi evidenciado pois, ao fazer uma análise descritiva, a fim de compreender a forma como cada obra mapeada foi elaborada e em que contexto se passou, pudemos ampliar nossa visão de como os autores desses trabalhos absorveram os conhecimentos colhidos e quais legados eles nos deixaram.

Já a terceira faz referência ao maior interesse que o pesquisador desempenha no processo investigativo: o processo, em vez dos resultados. Isso se deve ao fato de a pesquisa qualitativa almejar compreender como as coisas ocorrem. Assim, “o interesse do pesquisador ao estudar um determinado problema é verificar como ele se manifesta nas atividades, nos procedimentos e nas interações cotidianas” (Lüdke; André, 1986, p. 12). O quarto item diz respeito à análise indutiva dos dados. Isto é, o pesquisador constrói teorias e faz as interpretações a partir dos dados observados em vez de testar hipóteses preconcebidas. Assim, “o pesquisador começa examinando o mundo social e nesse processo desenvolve uma teoria coerente com os dados, de acordo com aquilo que observa” (Sampieri; Collado; Lucio, 2013, p. 33). Essa característica promove uma exploração aberta e flexível dos dados, permitindo descobertas emergentes e não previstas.

A parte final versa sobre a ênfase no significado como elemento vital da abordagem qualitativa, o que sublinha a busca por compreender as percepções, interpretações e significados que os participantes atribuem às suas experiências e ações. Essa característica realça a natureza subjetiva e interpretativa da pesquisa qualitativa, focando nas perspectivas dos indivíduos estudados. Prodanov e Freitas

(2013, p. 114) reiteram que “o pesquisador faz uma abstração, além dos dados obtidos, buscando possíveis explicações (implícitas nos discursos ou documentos), para estabelecer configurações e fluxos de causa e efeito”.

Essas características combinadas formam a base de uma abordagem que privilegia a compreensão profunda, contextual e rica em detalhes dos fenômenos, valorizando a subjetividade e a complexidade inerentes ao comportamento humano e às interações sociais. Dessa forma, “a pesquisa qualitativa admite um leque diversificado de procedimentos, sustentados por diferentes concepções de realidade e de conhecimento” (Bicudo, 2011, p. 24).

Diante disso, ficamos confiantes em classificar nossa investigação como de abordagem qualitativa, visto que as análises das publicações foram realizadas objetivando compreender os conceitos, teorias e achados evidenciados nos estudos, visando encontrar as contribuições que as neurociências cognitivas fornecem ao ensino de matemática. Ressaltamos que a interação entre esses dois campos de estudo é, por vezes, complexa e multifacetada, pois envolve aspectos cognitivos e emocionais, os quais só podem ser capturados com métodos qualitativos. Portanto, a escolha da abordagem qualitativa é justificada pela necessidade de uma análise interpretativa e contextualizada das obras selecionadas buscando compreender as complexas contribuições das neurociências cognitivas ao ensino de matemática.

### 3.2 A PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Em consonância com a tipologia das fontes empregadas para a abordagem e o tratamento do objeto de estudo, o percurso metodológico desta investigação está orientado nos pressupostos da pesquisa bibliográfica, que

[...] é aquela que se realiza a partir do registro disponível, decorrente de pesquisas anteriores, em documentos impressos, como livros, artigos, teses etc. Utiliza-se de dados ou de categorias teóricas já trabalhados por outros pesquisadores e devidamente registrados. [...] O pesquisador trabalha a partir das contribuições dos autores dos estudos analíticos constantes dos textos (Severino, 2013, p. 106).

Para Fiorentini e Lorenzato (2006, p. 102) a pesquisa bibliográfica “se faz preferencialmente sobre documentação escrita. O campo pode ser caracterizado pelas bibliotecas, pelos museus, pelos arquivos e pelos centros de memória. Nesse

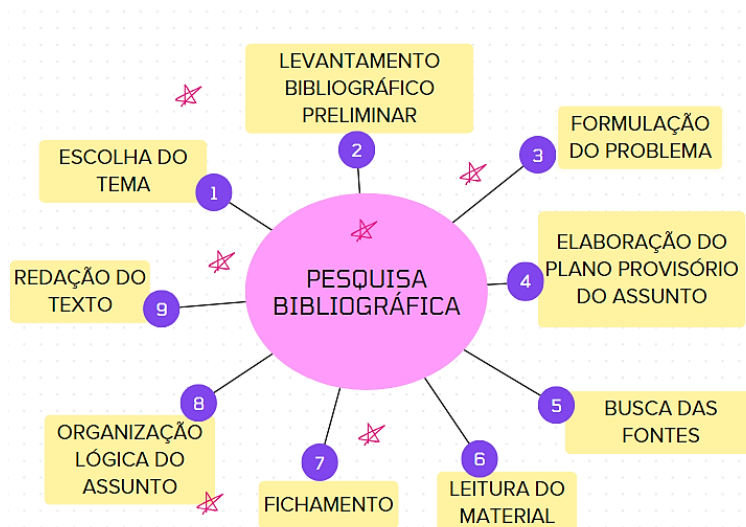
tipo de pesquisa, a coleta de informações é feita a partir de fichamento das leituras”. Prodanov e Freitas (2013) reiteram e alertam sobre a importância de o pesquisador investigar a veracidade dos dados coletados, sobretudo em obras disponíveis na internet, visto que, por vezes, as fontes podem apresentar dados incorretos ou mal interpretados. Desse modo, pautar-se em fontes não fidedignas pode levar a explorar equivocadamente um fenômeno e ampliar os erros cometidos.

Em nossa pesquisa os dados foram coletados em plataformas digitais consolidadas no mundo científico, como a Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD), a Scientific Electronic Library Online (SciELO), o Google Acadêmico e outras, justamente pela preocupação em levantar dados verídicos e aferidos por outros e não correr o risco de compartilhar informações equivocadas ou incorretas.

O maior benefício que a pesquisa bibliográfica proporciona é o fato de possibilitar a abrangência de uma gama de fenômenos muito maior do que seria possível investigar diretamente. Isso fica evidente quando o objeto de pesquisa exige dados que estão amplamente dispersos geograficamente. Outro exemplo são as pesquisas históricas, nas quais só é possível compreender fenômenos já ocorridos por meio de dados bibliográficos (Gil, 2002).

Assim como qualquer outra modalidade, ao desenvolver uma pesquisa bibliográfica o investigador necessita se ater a um conjunto de etapas que orientam sua construção (Figura 16). Ademais, a pesquisa bibliográfica precisa ser disciplinada, crítica e ampla. Disciplinada no sentido de que é essencial definir o escopo da investigação, respondendo perguntas sobre os critérios de seleção dos autores e textos, isto é, a coleta de dados deve ser sistemática e apresentar critérios claros de escolha dos textos e autores. Crítica, pois envolve um diálogo reflexivo entre teorias, estudos e o objeto de investigação. A revisão deve correlacionar métodos propostos e resultados de outros pesquisadores, desenvolvendo uma capacidade analítica e comparativa que ajuda a delimitar melhor a proposta de pesquisa. E deve ser ampla, já que abrange o “estado” atual do conhecimento sobre o problema, permitindo, ao pesquisador, identificar consensos e controvérsias. É crucial que o pesquisador saiba o que é amplamente aceito e o que ainda é desconhecido, apropriando-se seletivamente desses conhecimentos (Minayo, 2009).

Figura 16 - Etapas da pesquisa bibliográfica



Fonte: Adaptado de Prodanov e Freitas (2013, p. 55) e de Gil (2002, p. 59-60).

Em nossa pesquisa evidenciamos as etapas descritas na Figura 16 a partir da escolha das neurociências cognitivas como tema. Seguimos para o levantamento bibliográfico preliminar a fim de nos familiarizar com o tema e ter condições sólidas para formular uma questão problema. Após o levantamento bibliográfico preliminar, passamos para a seleção criteriosa de 20 trabalhos relevantes, priorizando aqueles que abordam as relações entre neurociências cognitivas e o ensino de matemática. Em seguida organizamos e sistematizamos as informações coletadas a fim de consolidar um referencial teórico robusto. Esta etapa foi fundamental para a formulação da metodologia de análise, permitindo a construção de categorias temáticas que orientaram a interpretação dos dados. Por fim, os resultados foram analisados de forma indutiva, conforme sugerem Prodanov e Freitas (2013) e Gil (2002), sintetizando as principais contribuições do campo para o ensino de matemática.

Lakatos e Marconi (2003) nomeiam a pesquisa bibliográfica como revisão da literatura ou pesquisa de fontes secundárias, pois abarca a análise de todas as obras já disponibilizadas publicamente relacionadas ao tópico de estudo em questão. As fontes secundárias incluem publicações avulsas, boletins, periódicos, livros, estudos de pesquisa, monografias, teses, material cartográfico e mídias audiovisuais, bem como gravações em rádio, fitas magnéticas e produções televisivas.

Entretanto, precisamos distinguir a pesquisa bibliográfica de uma revisão de literatura. Compreendemos a revisão de literatura como uma pesquisa prévia

necessária ao início de toda e qualquer investigação, isto é, um mecanismo “para que se possa avaliar o que já se produziu sobre o assunto em pauta, situando-se, a partir daí, a contribuição que a pesquisa projetada pode dar ao conhecimento do objeto a ser pesquisado” (Severino, 2013, p. 113). Desse modo, é a partir da revisão de literatura que o pesquisador consegue situar “seu trabalho dentro da grande área de pesquisa da qual faz parte, contextualizando-o” (Prodanov; Freitas, 2013, p. 78).

Galvão e Ricarte (2020) se referem à revisão de literatura como “revisão de conveniência” e à pesquisa bibliográfica como “revisão sistemática da literatura”. Segundo estes autores, a revisão de conveniência consiste na busca inicial que o pesquisador necessita para compreender a temática a ser explorada, desse modo, “não apresenta critérios explícitos sobre como a revisão foi construída para que possa ser reproduzida por outros pesquisadores” (Galvão; Ricarte, 2020, p. 58). Enquanto a revisão sistemática da literatura “é uma modalidade de pesquisa, que segue protocolos específicos, e que busca entender e dar alguma logicidade a um grande corpus documental, especialmente, verificando o que funciona e o que não funciona num dado contexto” (Galvão; Ricarte, 2020, p. 58).

Nesse sentido, o objetivo primordial da pesquisa do tipo bibliográfica é permitir que o pesquisador tenha acesso direto a todo conteúdo textual, oral e audiovisual produzido sobre o assunto em análise. Ao se basear em dados e teorias oriundas de obras publicadas ele tem a possibilidade de construir seu conhecimento por meio do diálogo com o pensamento acadêmico e científico existente, pois utiliza-se das contribuições de outros autores para fundamentar sua própria análise e interpretação dos temas investigados. Assim, não se limita a uma mera recapitulação do conhecimento, uma vez que, ao proporcionar um contexto para a análise crítica e a exploração de novas perspectivas ou abordagens, torna possível situar sua pesquisa em um contexto mais amplo e embasado (Lakatos; Marconi, 2003; Severino, 2013).

Esse tipo de pesquisa “é um excelente meio de formação científica quando realizada independentemente – análise teórica – ou como parte indispensável de qualquer trabalho científico, visando à construção da plataforma teórica do estudo” (Theóphilo; Martins, 2009, p. 54). Nesse contexto, nossa investigação segue os parâmetros da pesquisa bibliográfica, ou seja, da revisão sistemática da literatura, já que, nosso objeto de estudo consiste em publicações científicas coletadas em sites de repositórios renomados. Para a etapa de análises sistematizamos as obras mapeadas para compreender como os autores versam sobre as neurociências

cognitivas e o ensino de matemática visando elencar as possíveis contribuições que essas pesquisas podem ofertar.

### 3.3 A PESQUISA EXPLORATÓRIA E DESCRITIVA

Em relação aos objetivos, uma pesquisa pode ser exploratória, descritiva ou explicativa. Nesse item abordamos os tipos exploratório e descritivo, uma vez que nosso estudo segue esses parâmetros. A pesquisa exploratória visa levantar informações acerca de uma temática, proporcionando maior familiaridade do pesquisador com o tema de estudo. Para Prodanov e Freitas (2013, p. 51-52) ela tende a “facilitar a delimitação do tema da pesquisa; orientar a fixação dos objetivos e a formulação das hipóteses ou descobrir um novo tipo de enfoque para o assunto”.

Seu objetivo principal, conforme Lakatos e Marconi (2003, p. 188), é “a formulação de questões ou de um problema, com tripla finalidade: desenvolver hipóteses, aumentar a familiaridade do pesquisador com um ambiente, fato ou fenômeno, para a realização de uma pesquisa futura mais precisa ou modificar e clarificar conceitos”. Gil (2002) assevera que esses tipos de pesquisa apresentam menor rigidez no planejamento, uma vez que são projetadas para fornecer uma visão geral sobre um determinado fenômeno. Em sua maioria, essas pesquisas assumem a forma de pesquisa bibliográfica ou de estudo de caso.

Já a pesquisa descritiva objetiva descrever as principais características de um fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis (Gil, 2002). Nesse sentido, “o pesquisador apenas registra e descreve os fatos observados sem interferir neles” (Prodanov; Freitas, 2013, p. 52); ou seja, os fenômenos são estudados, mas não manipulados pelo investigador. As pesquisas exploratórias e descritivas se assemelham; no entanto, a diferença entre elas é que a descritiva “procura classificar, explicar e interpretar fatos que ocorrem, enquanto a pesquisa experimental pretende demonstrar o modo ou as causas pelas quais um fato é produzido” (Prodanov; Freitas, 2013, p. 52).

O caráter exploratório de nosso estudo fica evidente desde as primeiras buscas por estudos científicos, quando selecionamos trabalhos que abordam as neurociências e o ensino de matemática, juntos ou separadamente. Isso foi necessário para que pudéssemos familiarizar com o tema e coletar trabalhos abrangentes sobre neurociências. Em uma fase posterior, já integrados aos conceitos

das neurociências, conseguimos identificar quais obras seriam mais relevantes para nossos objetivos. Com essa seleção feita, passamos para a etapa de descrição dos achados nas publicações mapeadas, o que justifica o caráter descritivo da pesquisa. Nosso objetivo foi registrar e descrever como as contribuições das neurociências cognitivas emergiram dos autores estudados.

### 3.4 ESTADO DA ARTE

Compreendemos nossa investigação como uma pesquisa bibliográfica. Contudo, percebemos semelhanças com os estudos do tipo estado da arte, já que ambos compartilham “o desafio de mapear e de discutir uma certa produção acadêmica em diferentes campos do conhecimento, tentando responder que aspectos e dimensões vêm sendo destacados e privilegiados em diferentes épocas e lugares” (Ferreira, 2002, p. 258). Especificamente, o estado da arte é

[...] uma modalidade de pesquisa de caráter bibliográfico, que visa fazer uma síntese integrativa do conhecimento sobre um determinado tema, comumente a partir de teses e dissertações, mas que pode incluir artigos publicados em periódicos e até mesmo comunicações em anais de congressos e seminários (Santos, 2020, p. 42).

Em suma, o estudo de estado da arte visa realizar levantamentos do conhecimento existente sobre determinado assunto com base em pesquisas realizadas em uma área específica. Assim, como observa Messina (1999, p. 1), “um estado da arte é um mapa que nos permite continuar caminhando”, ou seja, ele proporciona uma visão abrangente e atualizada do tema, podendo direcionar futuras investigações e aprofundar o entendimento sobre a área em questão. Desse modo, são especialmente valiosos para pesquisadores, sobretudo iniciantes (Espíndula, 2017).

Em Romanowski e Ens (2006) encontramos listados sete passos essenciais para a realização de uma pesquisa do tipo estado da arte (Quadro 2).

Quadro 2 - Etapas para realizar um estudo de estado da arte

| <b>Etapa</b> | <b>Ação</b>                                                                                                                                                                                          |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | Estabelecer os descritores que conduzirão as buscas.                                                                                                                                                 |
| 2            | Localizar os repositórios que ofereçam acesso à periódicos que contemplem a temática analisada.                                                                                                      |
| 3            | Definir os critérios para a seleção das obras presentes no corpus de investigação.                                                                                                                   |
| 4            | Inventariar as obras catalogadas.                                                                                                                                                                    |
| 5            | Coletar o material de pesquisa.                                                                                                                                                                      |
| 6            | Ler as publicações e elaborar síntese preliminar com base no tema, nos objetivos, as problemáticas, metodologias de pesquisa e conclusões, fazendo relação entre o pesquisador e a área investigada. |
| 7            | Organizar o relatório de estudo, o qual deve abranger a sistematização das sínteses, de modo a possibilitar conclusões preliminares.                                                                 |

Fonte: Adaptado de Romanowski e Ens (2006, p. 43).

Em nosso estudo percorremos parte dessas etapas. As obras para a composição do corpus foram localizadas em plataformas digitais com o uso de descritores; foram selecionadas aquelas cuja temática se aproxima de nossos objetivos e, em seguida, elaboramos sínteses que nos auxiliaram em nossas conclusões.

Santos (2020) levanta alguns dos possíveis questionamentos sobre os resultados de estudos de estado da arte:

**Como a produção atual efetivamente contribui para o avanço do conhecimento da área? Qual a relevância e a consistência do conhecimento produzido, considerando-se as categorias e subcategorias analisadas?** Quais são as consequências políticas, sociais, metodológicas, resultantes desses estudos? **Quais as contribuições desses estudos para o cotidiano escolar dos professores?** Quais as possibilidades de generalização, a partir de similaridades e integração dos resultados das diversas regiões e que exigem iminência nas políticas públicas? Os estudos sobre a temática podem auxiliar o delineamento de políticas públicas? Quais políticas e estratégias têm sido executadas a partir da produção diretamente relacionada ao tema? (Santos, 2020, p. 43, grifo nosso).

Notamos que a primeira, a segunda e a quarta indagação se adaptam ao nosso trabalho. Assim, reescrevemo-nas de acordo com o nosso contexto: Como a produção atual sobre neurociências cognitivas contribui para o avanço do conhecimento do ensino de matemática? Qual a relevância e a consistência do conhecimento das neurociências cognitivas atreladas ao ensino de matemática? Quais as contribuições desses estudos para o cotidiano escolar dos professores?

Espíndula (2017) destaca a relevância das pesquisas do tipo estado da arte, enfatizando que esses estudos representam marcos históricos importantes dentro de

uma área específica. Por meio deles é possível observar a evolução desta área ao longo do tempo, revelando quais aspectos estão sendo priorizados pelos pesquisadores e quais estão sendo negligenciados. Esses estudos geram conhecimentos precisos acerca dos temas que mais preocupam a comunidade acadêmica, os quais exigem constante atenção e geram um volume significativo de informações; em contraste com os eixos temáticos menos explorados e frequentemente ignorados devido à falta de interesse. A importância desse tipo de pesquisa é indiscutível. Do mesmo modo, a necessidade de comparar esses trabalhos para identificar problemas comuns e tendências políticas semelhantes entre diferentes regiões também. Os estados da arte exigem um investimento considerável de tempo e condições adequadas de trabalho para garantir uma análise aprofundada e eficaz.

É importante destacar que nosso trabalho possui algumas características de um estado da arte, mas é exclusivamente bibliográfico. Enquanto o estado da arte é também uma investigação bibliográfica, ele se distingue por ser de maior amplitude e profundidade. O objetivo do estado da arte é realizar um levantamento extenso sobre uma determinada temática, englobando tanto áreas amplas quanto específicas, mas sempre de maneira abrangente. Em contraste, nosso levantamento foi mais superficial. O estado da arte pretende ilustrar o panorama completo de uma temática por meio das pesquisas existentes, o que não foi o nosso objetivo. Nosso trabalho se assemelha ao estado da arte pelo fato de que envolve o mapeamento e o levantamento de pesquisas e trabalhos em geral, como livros, entre outros.

### 3.5 METODOLOGIA DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados para nossa investigação se deu exclusivamente via internet, sendo que os livros de autores de renome nas áreas de Neurociências e Educação, como Cosenza e Guerra (2011), Lent (2004), entre outros selecionados *a priori*, serviram para que nos familiarizássemos com o assunto. No entanto, nosso objeto de estudo foram as publicações científicas, tais como artigos, dissertações e teses, que evidenciam o enlace entre as neurociências cognitivas e o ensino de matemática.

Em uma pesquisa bibliográfica é preciso se ater à veracidade dos dados coletados, visto que, mais do que em qualquer outro meio, na internet há um excesso de informações. Desse modo, é conveniente utilizar sistemas de busca, assim como delimitar uma amostra ou um corpus para a pesquisa. “O conceito de amostra é ser

uma porção ou parcela, convenientemente selecionada do universo (população); é um subconjunto do universo” (Lakatos; Marconi, 2003, p. 223), já corpus, segundo Bardin (1977), é o conjunto de documentos selecionados pelo pesquisador.

### **3.5.1 Processo de seleção das fontes**

A composição do corpus para a investigação teve início com a busca de literatura pertinente nas plataformas digitais Google Acadêmico, Scielo, BDTD e Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, bem como em periódicos das Universidades Estadual de Goiás (UEG), Federal de Goiás (UFG), Federal de Minas Gerais (UFMG) e Estadual Paulista (UNESP), além de um banco de dados estruturado anteriormente e compartilhado pela orientadora.

Utilizamos esses instrumentos por fornecerem acesso a uma variedade de fontes acadêmicas confiáveis, como artigos de revistas científicas revisados por pares, assim como teses e dissertações geradas em universidades consolidadas. Muitas vezes esses trabalhos são oriundos de pesquisadores de diferentes partes do mundo, proporcionando uma visão mais abrangente sobre um determinado tópico. Outro fator relevante é a gratuidade do acesso, visto que muitas dessas plataformas têm acesso gratuito ou com custos mínimos, o que viabiliza, a pesquisadores e estudantes, maior contato com a literatura acadêmica, facilitando o desenvolvimento de pesquisas e estudos mais robustos e informados.

Para refinar a busca empregamos descritores com base na relação entre os temas abordados e os objetivos da pesquisa. Assim, os descritores utilizados estão diretamente relacionados ao tema central da pesquisa – que é explorar a intersecção entre as neurociências cognitivas e a matemática, e ao objetivo de elencar e analisar as possíveis contribuições das neurociências cognitivas encontradas nos estudos mapeados para o ensino e a aprendizagem de matemática. Para tanto, ao selecionar os descritores, foi preciso observar que cada um deveria abranger uma faceta específica dessa relação – como a aprendizagem de matemática, o funcionamento cerebral durante o processamento do estudo matemático e a aplicação das neurociências cognitivas a esse estudo.

Sob esse cenário, escolhemos os descritores "neurociências cognitivas e matemática", "matemática e cérebro", "neurociência e aprendizagem de matemática", "matemática e neurociências" e "neurociências cognitivas" por acreditar que estes

cobrem uma variedade de aspectos do tema. E, ao mesmo tempo, abordam o tema a partir de uma perspectiva ligeiramente diferente. Por exemplo, o descritor "neurociência e aprendizagem de matemática" remete mais especificamente aos processos neurocognitivos envolvidos na aprendizagem da matemática, enquanto "matemática e cérebro" direciona a trabalhos que verificaram como o cérebro processa informações matemáticas.

Dessa forma, ao utilizar uma variedade de descritores, ampliamos o escopo da busca para garantir que não fossem deixados de fora trabalhos relevantes que podem abordar o tema de maneiras diferentes ou sob diferentes terminologias. De modo que esses descritores foram assim selecionados no intuito de garantir uma busca abrangente e precisa de fontes relevantes para a pesquisa em questão. Como resultado, localizamos dois trabalhos que não estão inseridos no universo da educação matemática, trata-se de duas dissertações, uma voltada para o ensino de Ciências e a outra para o ensino de Química. Contudo, acreditamos que ambos são importantes para a composição de nossa pesquisa pelo fato de serem trabalhos que abordam o processo de ensino e de aprendizagem com foco em ciências, a qual não se distancia muito da matemática.

O recorte temporal considerado foi de 2010 a 2023. A escolha por trabalhos mais recentes é justificada pelo anseio em observar o que está sendo produzido sobre neurociências na atualidade, visto que “inovações tecnológicas na neurociência compreendem benefícios educacionais, sociais, políticos, econômicos, morais e espirituais” (Guimarães; Monteiro-Junior; Deslandes, 2014, p. 360). Além disso, a aplicação dos princípios e descobertas da neurociência ao campo da educação é um campo interdisciplinar em desenvolvimento que almeja entender como o funcionamento do cérebro pode direcionar práticas educacionais.

### **3.5.2 As obras analisadas: caracterização e categorização dos fundamentos teórico-metodológicos**

Nessa seção apresentamos o mapeamento dos aspectos teórico e metodológico das obras analisadas. Compreendemos que a pesquisa bibliográfica, assim como qualquer outra modalidade, é desenvolvida ao longo de uma série de etapas. Uma delas é a coleta de dados, que envolve a busca por informações

pertinentes sobre o tema em questão em diversas fontes, incluindo bibliotecas, bancos de dados *on-line*, periódicos impressos e outros recursos relevantes.

Inicialmente a procura em plataformas digitais resultou na localização de 47 trabalhos (Tabela 1), os quais foram selecionados a partir do título e dos resumos (\*+). Esse limite se deu quando percebemos que, mesmo realizando buscas diferenciadas, os trabalhos começaram a se repetir. Assim, esses dados mostram uma variedade de fontes consultadas, com uma concentração significativa em artigos acadêmicos. Isso sugere uma abordagem diversificada no rastreamento por informações, incorporando tanto fontes acadêmicas mais especializadas – como dissertações e teses, quanto fontes mais abrangentes – como livros.

Tabela 1 - Tipos e quantidades dos trabalhos inicialmente mapeados

| TIPOS                     | QUANTIDADE |
|---------------------------|------------|
| Artigos                   | 17         |
| Monografias <sup>13</sup> | 3          |
| Dissertações              | 10         |
| Teses                     | 3          |
| Capítulo de livro         | 2          |
| Livros                    | 12         |
| <b>TOTAL</b>              | <b>47</b>  |

Fonte: Elaboração própria (2024).

As coletâneas foram organizadas em dois quadros para facilitar as análises. No Quadro 3 estão agrupados de acordo com o tipo (artigo, monografias, dissertações, teses, capítulos de livros e livros) e organizados em ordem cronológica. Cada trabalho recebeu um código identificador (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, ..., D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, ...) com base em sua data de publicação. Foram incluídas colunas para listar os autores, a fonte de publicação, o título, o resumo, as referências e uma coluna de "anotações" para considerações relevantes. A seção referente aos livros foi estruturada com quatro colunas, sendo a primeira para código identificador e as demais para ano de publicação, referência e espaço para anotações, respectivamente.

<sup>13</sup> Para Severino (2013, p. 175), monografia é “aquele trabalho que reduz sua abordagem a um único assunto, a um único problema, com um tratamento especificado”. Reiterando essa definição, Lakatos e Marconi (2003, p. 237) classificam os trabalhos acadêmicos em “três tipos: monografia, dissertação e tese, que obedecem a esta ordem ascendente, em relação à originalidade, à profundidade e à extensão”. Dessa forma, indicamos aqui os trabalhos referentes aos cursos de graduação como monografia, aos cursos de mestrado como dissertação e aos cursos de doutorado como tese.

Quadro 3 - Tipo de organização dos dados segundo as características gerais

| ARTIGOS           |                    |       |                    |             |        |             |           |
|-------------------|--------------------|-------|--------------------|-------------|--------|-------------|-----------|
| Código            | Ano                | Autor | Plataforma digital | Título      | Resumo | Referências | Anotações |
| A1                |                    |       |                    |             |        |             |           |
| A2                |                    |       |                    |             |        |             |           |
| MONOGRAFIAS       |                    |       |                    |             |        |             |           |
| Código            | Ano                | Autor | Plataforma digital | Título      | Resumo | Referências | Anotações |
| M1                |                    |       |                    |             |        |             |           |
| M2                |                    |       |                    |             |        |             |           |
| DISSERTAÇÕES      |                    |       |                    |             |        |             |           |
| Código            | Ano                | Autor | Plataforma digital | Título      | Resumo | Referências | Anotações |
| D1                |                    |       |                    |             |        |             |           |
| D2                |                    |       |                    |             |        |             |           |
| TESES             |                    |       |                    |             |        |             |           |
| Código            | Ano                | Autor | Plataforma digital | Título      | Resumo | Referências | Anotações |
| T1                |                    |       |                    |             |        |             |           |
| T2                |                    |       |                    |             |        |             |           |
| CAPÍTULO DE LIVRO |                    |       |                    |             |        |             |           |
| Código            | Ano                | Autor | Plataforma digital | Título      | Resumo | Referências | Anotações |
| CL1               |                    |       |                    |             |        |             |           |
| CL2               |                    |       |                    |             |        |             |           |
| LIVROS            |                    |       |                    |             |        |             |           |
| Código            | Data de publicação |       |                    | Referências |        | Anotações   |           |
| L1                |                    |       |                    |             |        |             |           |
| L2                |                    |       |                    |             |        |             |           |

Fonte: Elaboração própria (2024).

Organizar os dados de uma pesquisa em quadros oferece várias vantagens, pois eles proporcionam uma visualização clara e organizada dos dados, permitindo uma rápida compreensão das informações apresentadas, além de facilitar a comparação de diferentes categorias, variáveis ou grupos. Assim, propicia a identificação de padrões, tendências ou disparidades nos dados e comodidade na manipulação para análise.

Posteriormente, avançou-se para a elaboração do segundo quadro (Quadro 4), no qual foram detalhadas as metodologias de pesquisa utilizadas por cada autor, bem como os objetivos delineados em seus estudos.

Quadro 4 - Organização dos dados refinados

| ARTIGOS           |     |       |        |           |                                            |               |           |
|-------------------|-----|-------|--------|-----------|--------------------------------------------|---------------|-----------|
| Código            | Ano | Autor | Título | Objetivos | Tipo de Pesquisa / Metodologia de pesquisa | Participantes | Anotações |
| A1                |     |       |        |           |                                            |               |           |
| A2                |     |       |        |           |                                            |               |           |
| MONOGRAFIAS       |     |       |        |           |                                            |               |           |
| Código            | Ano | Autor | Título | Objetivos | Tipo de pesquisa / Metodologia de pesquisa | Participantes | Anotações |
| M1                |     |       |        |           |                                            |               |           |
| M2                |     |       |        |           |                                            |               |           |
| DISSERTAÇÕES      |     |       |        |           |                                            |               |           |
| Código            | Ano | Autor | Título | Objetivos | Tipo de pesquisa / Metodologia de pesquisa | Participantes | Anotações |
| D1                |     |       |        |           |                                            |               |           |
| D2                |     |       |        |           |                                            |               |           |
| TESES             |     |       |        |           |                                            |               |           |
| Código            | Ano | Autor | Título | Objetivos | Tipo de pesquisa / Metodologia de pesquisa | Participantes | Anotações |
| T1                |     |       |        |           |                                            |               |           |
| T2                |     |       |        |           |                                            |               |           |
| CAPÍTULO DE LIVRO |     |       |        |           |                                            |               |           |
| Código            | Ano | Autor | Título | Objetivos | Tipo de pesquisa / Metodologia de pesquisa | Participantes | Anotações |
| CL1               |     |       |        |           |                                            |               |           |
| CL2               |     |       |        |           |                                            |               |           |

Fonte: Elaboração própria (2024).

Esta organização, mais refinada, foi realizada com base nos resumos dos trabalhos e, quando necessária, foi feita a leitura na íntegra do texto, tendo em vista vários resumos serem confusos ou incompletos – sem as informações necessárias sobre o tipo de pesquisa, os procedimentos de coleta de dados, os resultados, e até mesmo a falta de clareza em relação aos objetivos. Livros não foram incluídos, uma vez que foram utilizados, principalmente, para a compreensão dos conceitos de neurociências.

Antes de abordar especificamente os trabalhos, cabe mencionar que a ausência de informações no resumo não implica que o mesmo ocorre no corpo do texto. No entanto, sugere que as questões relacionadas à perspectiva e ao posicionamento epistemológico ou teórico podem não estar claras nem para o pesquisador. Em outras palavras, o autor pode não ter conduzido suas análises a

partir de um pressuposto teórico deliberadamente escolhido, o que pode resultar em falta de consistência teórica (Tonieto, 2018).

Após analisar o material, os resultados das buscas foram mais uma vez refinados, concentramos especificamente em estudos que tratam das neurociências aplicadas ao ensino e à aprendizagem, especialmente no contexto da matemática. Como resultado desse refinamento o conjunto de documentos foi reduzido para 20 trabalhos (Tabela 2), os quais foram submetidos a uma análise mais aprofundada.

Tabela 2 - Tipos e quantidades das publicações selecionados como corpus

| TIPOS              | QUANTIDADE |
|--------------------|------------|
| Artigos            | 8          |
| Monografias        | 3          |
| Dissertações       | 6          |
| Teses              | 1          |
| Capítulos de livro | 2          |
| Total              | 20         |

Fonte: Elaboração própria (2024).

Ao analisarmos a Tabela 2 observa-se que, dos 20 materiais selecionados, a maioria consiste em artigos, totalizando 8 exemplares, enquanto apenas uma tese foi selecionada. Essa desigualdade na distribuição dos tipos de materiais pode ser explicada pelo fato de que as dissertações e teses representam relatos detalhados de trabalhos de pesquisa derivados de programas de formação com estruturas rigorosas. Requerem um tempo significativo de execução e demandam um profundo conhecimento por parte do pesquisador, pois abordam um problema ou questão específica de investigação, focando em um tema único e bem delimitado. Especificamente em relação às teses a exigência é ainda maior, pois são obras originais (Fiorentini; Lorenzato, 2006).

Já os artigos científicos têm como objetivo principal a divulgação rápida e concisa dos resultados de pesquisas. São publicados em revistas ou periódicos especializados, o que causa uma limitação em relação à capacidade de aprofundar o tema apresentado (Prodanov; Freitas, 2013). Fiorentini e Lorenzato (2006) corroboram essa concepção quando afirmam que o artigo

[...] é um relato de pesquisa mais sucinto [...]. O pesquisador, tendo uma limitação no número de páginas, procura dizer o essencial, com estilo claro e

conciso, dando destaque à problemática do estudo, à questão e aos objetivos da investigação, à constituição teórica do estudo (discussão conceitual dos termos básicos), aos procedimentos metodológicos utilizados na coleta e na análise/interpretação de dados, às conclusões obtidas e às contribuições do estudo para a prática profissional e para o avanço do conhecimento (Fiorentini; Lorenzato, 2006, p. 152).

Ao compararmos as Tabelas 1 e 2 (vide p. 65 e 68, respectivamente) percebemos que a primeira apresenta uma distribuição mais equilibrada entre diferentes tipos de trabalhos, com uma maior variedade de fontes. Já a segunda é dominada por artigos, seguidos por dissertações. Essa disparidade se deve ao processo de refinamento da amostra ao longo da pesquisa. Após uma análise mais criteriosa das obras, observou-se que as temáticas de uma grande quantidade delas eram repetitivas, algumas outras não eram relevantes, pois abordavam de forma superficial o assunto ou não contribuem de forma considerável para os objetivos dessa pesquisa, o que levou à exclusão destas. Como resultado desse processo de depuração, com a seleção mais focada e refinada de fontes, restaram 20 publicações.

Dando continuidade, elaboramos um quadro com as obras agrupadas com base no tipo de publicação e em qual plataforma digital se encontra disponível (Quadro 5). Ressalta-se que foram encontradas obras que atendem aos critérios da pesquisa nas seguintes plataformas e quantidades: 2 artigos na Scielo; 5 artigos, 1 monografia e 1 capítulo de livro no Google Acadêmico; 5 dissertações na BDTD; 1 dissertação e 1 tese nos periódicos da Capes; 1 artigo, 1 capítulo de livro e 2 monografias no banco de dados fornecido pela orientadora, aqui referido como *drive*, com trabalhos produzidos pelo Grupo de Estudos em Educação Matemática (GEEM) e outros já selecionados por tal grupo.

Quadro 5 - As 20 obras organizadas segundo o seu tipo de publicação

(continua)

| PLAT.            | TIPO              | CÓD. | ANO  | AUTORIA                                                    | TÍTULO                                                                                                                                                                |
|------------------|-------------------|------|------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SCIELO           | artigo            | A8   | 2014 | GUIMARÃES, T. T.; MONTEIRO-JUNIOR, R. S.; DESLANDES, A. C. | A evolução da neurociência no Brasil: uma comparação com os países da América Latina nos últimos 16 anos.                                                             |
|                  |                   | A10  | 2019 | ARAÚJO, F. G. da S.; MENEZES, D. B.; BEZERRA, K. de S.     | Neurociência e o ensino da matemática: um estudo sobre os estilos de aprendizagem e as inteligências múltiplas.                                                       |
| GOOGLE ACADÊMICO | artigo            | A6   | 2010 | MOGOLLÓN, E.                                               | Contribuições das neurociências para o desenvolvimento de estratégias de ensino e aprendizagem de matemática.                                                         |
|                  |                   | A12  | 2019 | SILVA, S. L. D. da; SCHEFFER, N. F.                        | O jogo digital <i>on-line</i> e as funções cognitivas de atenção e memória em matemática: um estudo em neurociências.                                                 |
|                  |                   | A15  | 2020 | TOLEDO, R. V. F.; LOPES, C. E.                             | Neurociência cognitiva e a aprendizagem de matemática: diálogos possíveis.                                                                                            |
|                  |                   | A16  | 2021 | ALVARENGA, K. B.                                           | Maneiras de avançar o pensamento matemático na educação básica com respaldo das neurociências.                                                                        |
|                  |                   | A19  | 2023 | COSTA, R. L. S.                                            | Neurociência e aprendizagem.                                                                                                                                          |
|                  | monografia        | M2   | 2021 | SILVA JÚNIOR, E. A. da.                                    | Neurociência e o ensino da matemática: uma revisão bibliográfica.                                                                                                     |
|                  | capítulo de livro | CL2  | 2022 | BRAUN, L. C. S. L.                                         | A utilização da neurociência na aprendizagem matemática dos alunos do ensino médio.                                                                                   |
|                  |                   | D2   | 2018 | CAVALCANTE, M. T. M.                                       | O ensino de Matemática, a neurociência e os games: desafios e possibilidades.                                                                                         |
|                  |                   | D3   |      | CEMBRANEL, C. B.                                           | Neurociências: um saber importante para a efetiva construção do conhecimento matemático.                                                                              |
|                  |                   | D4   |      | OLIVEIRA, C. M. de                                         | Contribuições da neurociência cognitiva para refletir sobre o processo de ensino e aprendizagem em ciências: conhecendo e reconhecendo as potencialidades do cérebro. |
|                  |                   | D5   |      | SILVA, K. S.                                               | A neurociência cognitiva como base da aprendizagem de geometria molecular: um estudo sobre atributos do funcionamento cerebral relacionados à memória de longo prazo. |

Quadro 5 - As 20 obras já organizadas segundo o tipo de publicação

(conclusão)

| PLAT. | TIPO              | CÓD. | ANO  | AUTORIA                                               | TÍTULO                                                                                                                                                                |
|-------|-------------------|------|------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BDTD  | dissertação       | D1   | 2017 | SILVA, S. L. D. da                                    | A interatividade dos jogos digitais na aprendizagem matemática: uma discussão em neurociência.                                                                        |
|       |                   | D2   | 2018 | CAVALCANTE, M. T. M.                                  | O ensino de matemática, a neurociência e os games: desafios e possibilidades.                                                                                         |
|       |                   | D3   |      | CEMBRANEL, C. B.                                      | Neurociências: um saber importante para a efetiva construção do conhecimento matemático.                                                                              |
|       |                   | D4   |      | OLIVEIRA, C. M. de                                    | Contribuições da neurociência cognitiva para refletir sobre o processo de ensino e aprendizagem em ciências: conhecendo e reconhecendo as potencialidades do cérebro. |
|       |                   | D5   |      | SILVA, K. S.                                          | A neurociência cognitiva como base da aprendizagem de geometria molecular: um estudo sobre atributos do funcionamento cerebral relacionados à memória de longo prazo. |
| CAPES | tese              | T2   | 2020 | PIZYBLSKI, L. M.                                      | A produção do conhecimento sobre as contribuições da neurociência para a aprendizagem matemática.                                                                     |
|       | dissertação       | D9   | 2022 | RIBEIRO, D. S. N.                                     | Um estudo sobre as contribuições da neurociência cognitiva para a aprendizagem em matemática.                                                                         |
| DRIVE | capítulo de livro | CL1  | 2020 | ALVARENGA, K. B.                                      | Neurociência cognitiva e matemática.                                                                                                                                  |
|       | artigo            | A17  | 2022 | ALVARENGA, K.;<br>DOMINGOS, A.;<br>CABRERA ZUÑIGA, D. | Neurociências cognitivas na formação de professores de matemática.                                                                                                    |
|       | monografia        | M1   | 2021 | MENEZES, J. E.                                        | Uma análise das contribuições da neurociência à educação matemática em publicações científicas no período 2009-2021.                                                  |
|       |                   | M3   | 2022 | MENDES, A. L.                                         | Neuroeducação no ensino da matemática para adolescentes.                                                                                                              |

Fonte: Elaboração própria (2024).

Neste capítulo apresentamos a metodologia de pesquisa utilizada com vistas a responder à nossa pergunta investigativa: Quais as possíveis contribuições dos estudos selecionados para o ensino e a aprendizagem de matemática? Ao nosso

objetivo geral: elencar e analisar as possíveis contribuições das neurociências cognitivas encontradas nos estudos mapeados para o ensino e a aprendizagem de matemática. E aos nossos objetivos específicos: mapear trabalhos de neurociências cognitivas que possam dialogar com a aprendizagem de matemática; conhecer os aspectos fisiológicos do cérebro os quais formam a base para a aprendizagem; destacar os trabalhos que de forma direta ou indireta influenciam no ensino e na aprendizagem de matemática; descrever as abordagens teóricas da neurociência para a aprendizagem de matemática; apresentar um produto educacional como fruto das análises. Desse modo, já com as obras mapeadas e organizadas conforme seu tipo e local de publicação, seguimos para as análises dos dados, cujos resultados estão descritos no capítulo seguinte.

---

## 4 ALGUNS RESULTADOS

---

Neste capítulo apresenta-se a análise das obras mapeadas a partir do desafio de identificar algumas das possíveis contribuições de tais estudos para o ensino e a aprendizagem de matemática. Ela foi conduzida de maneira sistemática, considerando os critérios estabelecidos no capítulo 3, com foco nas possíveis intersecções entre o desenvolvimento das neurociências cognitivas e as práticas pedagógicas em matemática. Dessa forma, procuramos clarificar como as funções executivas, elencadas nos estudos selecionados, podem ser úteis para aprimorar a formação e aquisição de habilidades matemáticas. Aqui os nossos resultados são revelados de maneira a evidenciar as relações difundidas, fornecendo condições para discussões e conclusões subsequentes.

Fiorentini e Lorenzato (2006, p. 134) lembram da importância de construir categorias de análises, ou seja, “classes ou conjuntos que contenham elementos ou características comuns”, a partir dos principais, mais frequentes e diferentes itens que surgem nos dados. Assim, devem ser elaboradas de modo a refletir os propósitos da pesquisa. Conforme Minayo (2009),

A palavra categoria, em geral, se refere a um conceito que abrange elementos ou aspectos com características comuns ou que se relacionam entre si. Essa palavra está ligada à idéia de classe ou série. As categorias são empregadas para se estabelecer classificações. Nesse sentido, trabalhar com elas significa agrupar elementos, idéias ou expressões em torno de um conceito capaz de abranger tudo isso (Minayo, 2009, p. 70).

Categorizar os dados é essencial para que o pesquisador possa tomar decisões e tirar suas conclusões. Esse processo envolve a criação de categorias descritivas, muitas vezes baseadas no referencial teórico da pesquisa. Nem sempre elas podem ser definidas imediatamente, já que a análise qualitativa busca abstrair, além dos dados obtidos, explicações implícitas nos discursos ou documentos para estabelecer configurações e fluxos de causa e efeito. Em vista disso, é necessário um constante retorno aos dados e à literatura para refinamento e validação das análises (Prodanov; Freitas, 2013).

Nesse âmbito, respaldados pelo desafio de elencar e analisar as possíveis contribuições encontradas nos estudos mapeados para o ensino e a aprendizagem de matemática, e pela questão investigativa – Quais as possíveis contribuições dos estudos selecionados para o ensino e a aprendizagem de matemática?, criamos, para este estudo, cinco categorias e algumas subcategorias, as quais estão dispostas no Quadro 6.

Quadro 6 - Categorias e subcategorias da análise de dados

| CATEGORIAS E SUBCATEGORIAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>AS ABORDAGENS METODOLÓGICAS DE PESQUISA DOS TRABALHOS MAPEADOS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Um enfoque sobre a análise dos dados desses trabalhos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Abordagem qualitativa <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Os artigos</li> <li>▪ Os capítulos de livro</li> <li>▪ As dissertações</li> <li>▪ As monografias</li> </ul> </li> <li>✓ Abordagem quantitativa</li> <li>✓ Abordagem mista (quali-quantitativa)</li> </ul> </li> <li>• <b>Um enfoque sobre os tipos de pesquisas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ As bibliográficas</li> <li>✓ As de campo <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Os participantes</li> <li>▪ O lócus</li> </ul> </li> <li>✓ As mistas (bibliográficas e de campo)</li> </ul> </li> <li>• <b>Um enfoque sobre os instrumentos de coleta de dados</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Testes, sequências didáticas e oficinas</li> <li>✓ Jogos digitais</li> </ul> </li> </ul> | <p>Aqui abordamos as diferentes formas e métodos utilizados na realização dos trabalhos mapeados. Isso envolve a compreensão e identificação dos diferentes modos de se praticar a investigação científica adotados pelos pesquisadores, como a pesquisa qualitativa, quantitativa, mista, bibliográfica, de campo, entre outras.</p> <p>Além disso, focamos na descrição dos procedimentos metodológicos de investigação utilizados, como: a seleção da amostra, a definição dos instrumentos de coleta de dados, os métodos de análise e a interpretação dos dados.</p> |
| OS OBJETIVOS DOS ESTUDOS MAPEADOS RELACIONADOS À MATEMÁTICA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Descrevemos os objetivos das pesquisas mapeadas, levantando as características em comum.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| QUANTIDADE DE OBRAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Apresentamos a análise dentro do recorte temporal (2010-2023), do número de obras produzidas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| OS RESULTADOS DA BIBLIOGRAFIA SELECIONADA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Expomos os resultados apresentados pelos autores, evidenciando o que eles apresentam em comum e de diferente.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| RELAÇÕES ENTRE OS TERMOS “MATEMÁTICA”, “NEUROCIÊNCIAS” E “ENSINO” IDENTIFICADAS NOS TRABALHOS QUE FORMAM O CORPUS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Mostramos o levantamento realizado nos títulos e palavras-chave dos resumos, enfatizando quais obras estão relacionadas diretamente com o ensino e a aprendizagem, a matemática e a neurociência em conjunto e quais relacionam com uma ou duas dessas áreas: matemática, neurociências e ensino.                                                                                                                                                                                                                                                                         |

Fonte: Elaboração própria (2024).

Segundo Fiorentini e Lorenzato (2006), as categorias podem ser de três tipos: definidas a priori, emergentes ou mistas. As categorias definidas a priori são

estabelecidas pelo pesquisador antes da coleta de dados; as emergentes surgem durante o processo de análise dos materiais coletados; e as mistas são categorias criadas quando o pesquisador observa divergências em relação ao que a literatura diz. Assim sendo, podemos considerar que as categorias 4.1. e 4.2, a seguir, são do tipo *a priori*, enquanto as demais são do tipo emergentes.

#### 4.1 AS ABORDAGENS METODOLÓGICAS DE PESQUISA DOS TRABALHOS MAPEADOS

Explorar as abordagens metodológicas de pesquisa dos trabalhos mapeados é essencial para compreender a diversidade de métodos adotados para investigar o tema em questão. Esta análise permite identificar como os estudos foram conduzidos, seja por meio de abordagens qualitativas, quantitativas, mistas, bibliográficas ou de campo. Aqui expomos uma síntese das diferentes metodologias de pesquisa empregadas, destacando suas características e contribuições para a compreensão do problema de pesquisa.

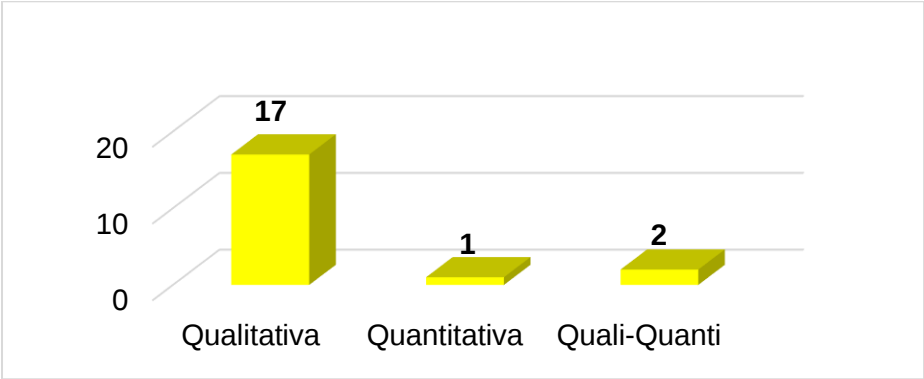
Para explorar as escolhas metodológicas das pesquisas nos baseamos nas seguintes indagações: Como as pesquisas mapeadas são caracterizadas em relação aos aspectos teóricos e metodológicos? Qual abordagem metodológica (qualitativa, quantitativa, mista) predominou nas obras? Que tipo de investigação (documental, bibliográfica, de campo ou outras) está apresentada nos trabalhos selecionados? Quais ferramentas/técnicas foram empregadas na coleta e organização dos dados? Quem são os participantes das pesquisas? Em que locais a coleta de dados foi realizada?

Em vista disso, as categorias *a priori* estabelecidas para esta pesquisa compreendem: a) a análise dos dados em relação às abordagens qualitativa, quantitativa e mista (quali-quantitativa); b) os tipos de pesquisa: bibliográfica ou de campo, considerando os sujeitos participantes e o lócus de cada pesquisa; c) os instrumentos de coleta de dados. É importante frisar que alguns trabalhos se enquadram em mais de uma categoria, pois as categorias criadas não se configuram como disjuntas, por exemplo, em relação às escolhas metodológicas de pesquisa, temos categorias em relação às fontes utilizadas e em relação ao tipo de coleta de dados, onde um mesmo trabalho pertence à duas ou mais categorias.

4.1.1 Um enfoque sobre a análise dos dados desses trabalhos

Esse item se dedica à análise dos dados do ponto de vista da abordagem metodológica de pesquisa. Dessa forma, os dados foram analisados observando as abordagens qualitativa, quantitativa ou em formato misto, que abrange os dois modelos. Para categorizar os dados respeitamos as classificações fornecidas por cada autor, apenas naqueles casos em que o autor não mencionou de forma explícita qual a abordagem metodológica de sua pesquisa foi que fizemos a classificação de acordo com a nossa interpretação (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Distribuição de trabalhos quanto à metodologia de pesquisa



Fonte: Elaboração própria (2024).

Dentre os trabalhos analisados não há testes com abordagem qualitativa. Assim, este grupo é composto por 7 artigos, 2 monografias, todas as 6 dissertações e os 2 capítulos de livro. Apenas 1 artigo se autocaracterizou como quantitativo e 1 monografia e 1 tese como quali-quanti (Tabela 3).

Tabela 3 - Distribuição de trabalhos quanto o tipo de estudo/pesquisa/investigação

| TIPOS DE ABORDAGEM | TIPO DE TRABALHO  | QUANTOS | QUAIS                            | TOTAL |
|--------------------|-------------------|---------|----------------------------------|-------|
| Qualitativa        | Artigo            | 7       | A6, A10, A12, A15, A16, A17, A19 | 17    |
|                    | Monografia        | 2       | M2, M3                           |       |
|                    | Dissertação       | 6       | D1, D2, D3, D4, D5, D9           |       |
|                    | Capítulo de livro | 2       | CL1, CL2                         |       |
| Quantitativa       | Artigo            | 1       | A8                               | 1     |
| Quali-quanti       | Monografia        | 1       | M1                               | 2     |
|                    | Tese              | 1       | T2                               |       |
| Total              | ---               | ---     | ---                              | 20    |

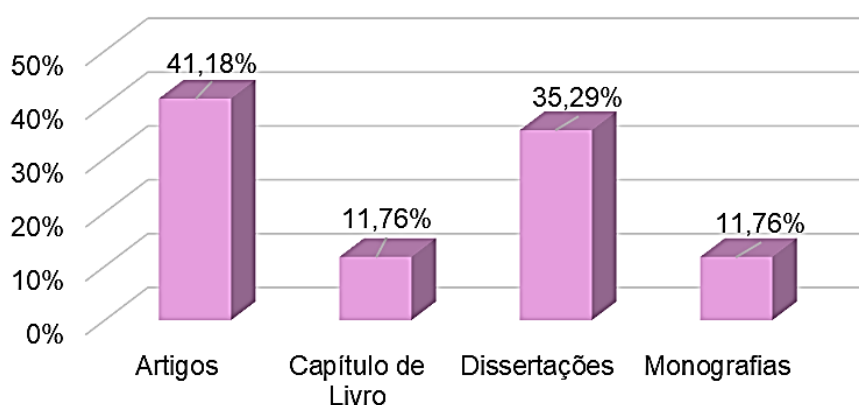
Fonte: Elaboração própria (2024).

Nos itens que segue descrevemos com mais clareza as características e particularidades dos trabalhos analisados, organizados conforme suas abordagens e tipos.

#### 4.1.1.1 Abordagem qualitativa

Conforme Sampieri, Collado e Lucio (2013), a abordagem qualitativa pode ser pensada como um conjunto de práticas interpretativas que tornam o mundo "visível", transformam-no em uma série de representações na forma de observações, anotações, gravações e documentos. Nesse contexto, a abordagem qualitativa foi predominante entre as pesquisas mapeadas, com 17 trabalhos, o que representa 85% das obras selecionadas. Esse grupo é bem diversificado, incluindo artigos, capítulos de livros, dissertações de mestrado e monografias. A maior incidência foi de artigos, totalizando 7 trabalhos, seguidos por 6 dissertações. Os capítulos de livro e as monografias empataram, com 2 obras cada (Gráfico 2). Esse padrão reflete a distribuição geral dos trabalhos, pois, dos 20 selecionados, a maioria, 8, também é composta por artigos, seguidos pelas dissertações, com 6 pesquisas.

Gráfico 2 - Distribuição das pesquisas qualitativas



Fonte: Elaboração própria (2024)

Dos 17 trabalhos, 11 não citam em quais autores se embasaram para justificar suas escolhas metodológicas. Entre aqueles que mencionam, os autores mais utilizados foram: Minayo (2003, 2009), em duas obras (M3 e D2); e Bogdan e Biklen (1994), também em dois estudos (D2 e D4). Destaque para D3, que utilizou as

contribuições de oito autores; e para D2 e D4, que usou de três. D1 citou dois autores e M3 e D5, um autor cada (Tabela 4).

Tabela 4 - Distribuição de autores de metodologia de pesquisa utilizados em cada estudo

| OBRAS | AUTORES DE METODOLOGIA DE PESQUISA                                                                                                                                   | QUANTOS AUTORES FORAM UTILIZADOS |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| M3    | Minayo (2009)                                                                                                                                                        | 1                                |
| D1    | Alves-Mazzotti (2001)<br>Borba e Araújo (2013)                                                                                                                       | 2                                |
| D2    | Bogdan e Biklen (1994)<br>Borba (2004)<br>Minayo (2003)                                                                                                              | 3                                |
| D3    | Alves (1991)<br>Erickson (1986)<br>Gerhardt e Silveira (2009)<br>Godoy (1995)<br>Haguetta (1992)<br>Lincoln e Guba (1985)<br>Marshall e Rossman (1989)<br>Yin (1985) | 8                                |
| D4    | Bogdan e Biklen (1994)<br>Chizzotti (2005)                                                                                                                           | 2                                |
| D5    | Neves (1996)                                                                                                                                                         | 1                                |

Fonte: Elaboração própria (2024).

As 17 obras que empregaram a abordagem qualitativa são: os artigos A6, A10, A12, A15, A16, A17 e A19; os capítulos de livro CL1 e CL2; as dissertações D1, D2, D3, D4, D5 e D9; e as monografias M2 e M3. Elas serão discutidas nos itens a seguir.

#### 4.1.1.1.1 Os artigos

Dentre os artigos descritos como qualitativos, destacam-se A15 e A16. Ambos são de investigações recentes, do tipo bibliográficas: A15 é de 2020 e A16 de 2021. Estes artigos relacionam conceitos das neurociências cognitivas com o ensino e a aprendizagem de matemática. A15 explica como os avanços na compreensão do funcionamento do cérebro podem contribuir para o aprimoramento dos métodos de ensino e de aprendizagem da matemática, enquanto A16 explora como as descobertas e as teorias das neurociências cognitivas podem ser aplicadas para promover o avanço do pensamento matemático na educação básica.

A15 destaca a importância da colaboração entre neurocientistas, psicólogos e educadores matemáticos para desenvolver estratégias mais eficazes no processo

educacional. Já A16 destaca a importância da emoção, motivação e conexões sinápticas no processo de aprendizagem, especialmente no contexto da Matemática.

Para realizar sua pesquisa as autoras de A15 fizeram a análise de duas edições da revista ZDM Mathematics Education<sup>14</sup>, uma de 2010 e outra de 2016. Em 2010, sob o título: “Cognitive neuroscience and mathematics learning”, a edição possui 14 artigos, os quais trazem discussões sobre “quais as relações que podem ser feitas entre a neurociência e as pesquisas educacionais”. A edição de 2016, cujo título é: “Cognitive neuroscience and mathematics learning – revisited after five years”, traz 13 artigos. Dessa forma, foi feita a análise de 27 artigos representando 14 países, em destaque: Alemanha, França e Áustria.

Por conseguinte, as autoras apresentam pesquisas divulgadas no 13º Congresso Internacional em Educação Matemática (ICME), que ocorreu em Hamburgo, Alemanha, em 2016. Esse congresso contou com palestras, estudos em grupo, *workshops* e discussões de temas específicos. Portanto, sobre neurociências cognitivas e matemática, o 13º ICME ofertou três momentos: o Topic Study Group (TSG) 27 – Learning and cognition in mathematics; o grupo de estudo “Mathematics Education and Neuroscience”; e a palestra de Rosa Leinkin sob o título: “Como pode a neurociência cognitiva contribuir para o ensino de matemática? Ponte das duas áreas de pesquisa”<sup>15</sup>. Sendo o ICME um evento de grande porte, “nota-se que esse é um evento importante para a Educação Matemática e que há pesquisadores de diversas partes do mundo buscando a intersecção entre as áreas da Neurociência Cognitiva e da Educação Matemática” (Toledo; Lopes, 2020, p. 227).

A16 desenvolveu sua pesquisa a partir da análise crítica das diversas teorias existentes sobre o processo de ensino e de aprendizagem em Matemática – como a transposição didática, o contrato didático, a teoria das situações didáticas e a dialética ferramenta-objeto. Além disso, incorporou as teorias de Tall (1991), Dubinsky (1991) e Dreyfus (1991), que se concentram no pensamento matemático elementar e

---

<sup>14</sup> O ZDM é um dos periódicos de pesquisa em Educação Matemática mais antigos. Os artigos que aparecem nas sete edições temáticas por ano são estritamente apenas por convite, seguidos de revisão interna por pares, feita pelos editores convidados, e revisão externa por especialistas convidados. O periódico existe para pesquisar, discutir e estender as perspectivas teóricas e baseadas em pesquisas atuais, bem como para criar um fórum para análises críticas de questões dentro da Educação Matemática. O público é predominantemente formado por pesquisadores de Educação Matemática ao redor do mundo interessados nos desenvolvimentos atuais no campo. Disponível em: <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=21100217601&tip=sid&clean=0>. Acesso em: 10 jul. 2024.

<sup>15</sup> Tradução feita pelas autoras de A15.

avançado. No entanto, ao observar que essas teorias não explicitam as construções mentais necessárias para avançar o pensamento matemático, nem como o cérebro reage durante o estudo da Matemática, a autora retornou aos resultados de estudos neurocientíficos cognitivos. Dessa forma, ela triangulou as informações para aprimorar a proposta de um modelo para avançar o pensamento matemático.

O objetivo de A16 foi esclarecer algumas construções mentais, respaldadas pelo significado cerebral da aprendizagem, que poderiam ser estimuladas nos estudantes da educação básica, especialmente aqueles que estão no ensino médio e que se preparam para cursos da área de exatas no ensino superior. No desenvolvimento da pesquisa, A16 narra sobre o que é pensar matematicamente e como surgiu o pensamento matemático avançado (PMA). Na sequência apresenta as concepções de teóricos como: Tall (1995) – que validou o pensamento matemático avançado (PMA); Dubinsky (1991) – que caracterizou o PMA sob os princípios da abstração reflexiva; e Dreyfus (1991) – que traduziu o PMA em uma série de processos interativos.

A pesquisa também destaca a relação entre a educação básica e o pensamento matemático, afirmando, com base em revisão de literatura, que na transição da educação básica para o ensino superior observa-se o despreparo dos estudantes ao lidar com conceitos matemáticos. De acordo com pesquisas analisadas por A16, esse despreparo dos estudantes do Ensino Básico com a matemática ocorre em esfera mundial, com a apresentação de possíveis justificativas para esse fato, sendo que uma delas diz que há “uma tendência recente de passagem da educação de elite para a universidade de massa, a redução dos padrões de Matemática na escola e na universidade, financiamento inadequado etc.” (Alvarenga, 2021, p. 15).

Neste contexto, A16 apresenta algumas construções mentais matemáticas subsidiadas pelas contribuições das neurociências cognitivas que podem ser estimuladas e oportunizadas a estudantes da educação básica (Quadro 7). Essas ações mentais, assessoradas pelas neurociências cognitivas, auxiliam os professores a fornecer, a seus estudantes, condições para avançar o pensamento matemático, uma vez que “a aprendizagem é a capacidade de criar novos caminhos, de realizar novas sinapses e, para isso, é importante que o aprendiz tenha estímulos, esteja motivado e seja criativo” (Alvarenga, 2021, p. 17-18).

Quadro 7 - Algumas construções mentais matemáticas a serem estimuladas e oportunizadas a estudantes da educação básica

|                                                                     |                                                      |                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Visualizar                                                          | Representar                                          | Manipular expressões de baixo para cima                                    |
| Generalizar                                                         | Classificar                                          | Manipular expressões da esquerda para a direita, quando possível. Reverter |
| Sintetizar                                                          | Induzir                                              | Conectar experiências anteriores ( <i>met-before</i> )                     |
| Interpretar                                                         | Formalizar                                           | Usar linguagem matemática adequada                                         |
| Refazer, refazer e refazer, isto é tentar, tentar e tentar...       | Fazer analogias entre outros conteúdos               | Comparar por meio de problemas semelhantes                                 |
| Convencer o outro, explicar verbalmente                             | “Numerizar”                                          | Flexibilizar interpretações                                                |
| Organizar, desorganizar e reorganizar                               | Geometrizar                                          | Flexibilizar contextos                                                     |
| Compensar                                                           | “Graficar”                                           | Demonstrar/Provar                                                          |
| Estimar, fazer aproximações                                         | Algebrizar                                           | Dar contraexemplos                                                         |
| Encapsular processos em objetos, desencapsular objetos em processos | Modelar                                              | Fazer “mostrações”                                                         |
| Criar a sua própria linguagem matemática                            | Traduzir da língua materna para linguagem matemática | Traduzir da linguagem matemática para a língua materna                     |

Fonte: Adaptado de Alvarenga (2020, p. 17).

Assim, ao combinar teorias educacionais com descobertas neurocientíficas, a pesquisa visou oferecer um modelo mais completo e fundamentado para o aprimoramento do ensino de Matemática, proporcionando, aos estudantes, uma base sólida para avançar no pensamento matemático e se preparar melhor para os desafios acadêmicos e profissionais na área de exatas. Comparando as pesquisas A15 e A16, percebemos a preocupação das autoras em apresentar discussões que possam agregar valor ao desenvolvimento de estratégias pedagógicas mais eficazes e inovadoras, integrando conhecimentos das neurociências cognitivas e da educação matemática para melhorar o processo de ensino e de aprendizagem.

#### 4.1.1.1.2 Os capítulos de livro

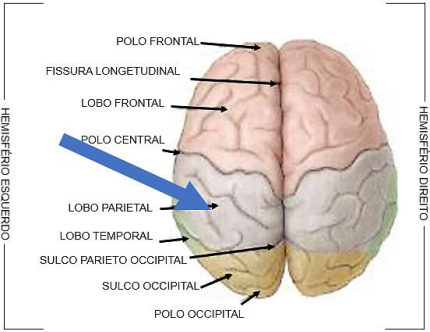
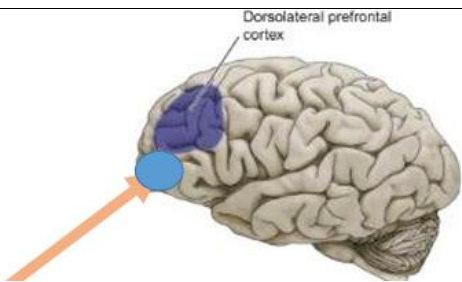
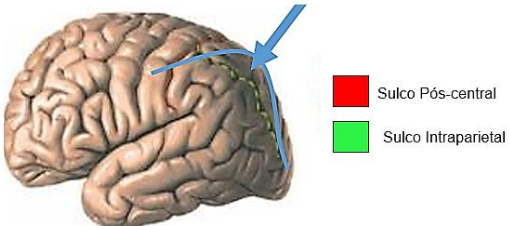
Os dois capítulos de livro que compõem o conjunto de dados da pesquisa empregaram a abordagem qualitativa, sendo eles CL1 e CL2. No CL1 a autora explora diferentes conceitos de aprendizagem, começando pela perspectiva comportamental, onde a aprendizagem é vista como a modificação do comportamento por meio de estímulos e reforços seletivos; passando pela perspectiva construtivista de Piaget (1972) e de Ausubel, Novak e Hanesian (1983), que associam a aprendizagem ao equilíbrio dinâmico entre assimilação, acomodação e adaptação; e pela concepção vygotskiana, que concebe a aprendizagem como um processo social de apropriação da cultura, mediado por interação social e ocorrendo dentro da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP); até alcançar as neurociências cognitivas, que veem a aprendizagem como mudanças nas conexões sinápticas influenciadas por fatores genéticos e experiências de vida, destacando a plasticidade cerebral.

O objetivo de CL1 era apresentar resultados de pesquisas que conseguiram mapear comportamentos e processamentos de informações matemáticas e indicar algumas zonas de ativações cerebrais quando se estuda matemática. Para o mapeamento desses comportamentos foram utilizados *softwares* como Brain Vision Analyzer, BioSemi Active Two system, Eletroencefalografia, Ressonância Magnética Funcional, Tractografia e Tomografia por Emissão de Pósitrons, agregados a métodos estatísticos, como análise de variância, análise multivariada da variância, correção de Bonferroni e testes matemáticos específicos.

Para a coleta de dados CL1 utilizou um recorte temporal de 15 anos (2003 a 2018) e, ao longo do texto, apresenta, em forma de quadros, o resumo de alguns conteúdos matemáticos que, quando estudados, ativam as áreas do córtex parietal, do córtex frontal e de variadas áreas gerais. Traz, ainda, um resumo de situações que podem ativar o córtex occipital.

O Quadro 8, a seguir, foi elaborado com alguns exemplos retirados dos quatro quadros descritos em CL1 no intuito de exemplificar quais áreas corticais são ativadas por quais conteúdos matemáticos. Como se pode observar, o aprendizado de matemática envolve a ativação de diversas zonas cerebrais, resultando em uma alta demanda cognitiva, mesmo para estudos simples. A aprendizagem de conteúdos mais complexos exige maior ativação e envolvimento de várias áreas cerebrais.

Quadro 8 - Resumo de algumas áreas corticais ativadas em relação à aprendizagem matemática retratadas em CL1

| CONTEÚDOS MATEMÁTICOS                                                                                             | ÁREA ATIVADA                                                                                                                                                                                                                              | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Adição                                                                                                            | Lateralidade esquerda no córtex parietal                                                                                                                                                                                                  |    |
| O processamento de termos algébricos e geométricos (por exemplo, termos como quadrados e valor absoluto)          | Os termos geométricos provocam mais ativação IPS à esquerda do que os algébricos                                                                                                                                                          |   |
| Problema matemático relativamente avançado                                                                        | Córtex Pré-frontal Lateral Inferior (LIPFC)                                                                                                                                                                                               |  |
| Resolução de equação algébrica mais complexa                                                                      | Aumenta ativação cerebral nas regiões selecionadas do IPS (sulco intraparietal) e no córtex pré-frontal                                                                                                                                   |  |
| As redes cerebrais para raciocínios matemáticos avançados podem se desenvolver na ausência de experiência visual. | Ativações adicionais foram encontradas no córtex occipital, mesmo em indivíduos que ficaram cegos durante a infância, sugerindo que tanto a imagem mental ou um mais radical reajuste do córtex visual pode ocorrer em matemáticos cegos. |  |

Fonte: Adaptado de Alvarenga (2020, p. 9-12).

CL2 desenvolveu sua pesquisa em duas frentes metodológicas: de campo e bibliográfica. O objetivo de seu trabalho foi o de destacar o uso da neurociência na aprendizagem de matemática visando aprimorar o processo de ensino e de aprendizagem. Assim, CL2 visualiza a neurociência como um recurso valioso, pois esta oferece novas estratégias para ensinar matemática, o que poderá facilitar a aprendizagem. A pesquisa bibliográfica foi baseada na literatura existente sobre a temática, principalmente nas obras de autores que corroboram sua investigação, enriquecendo o estudo.

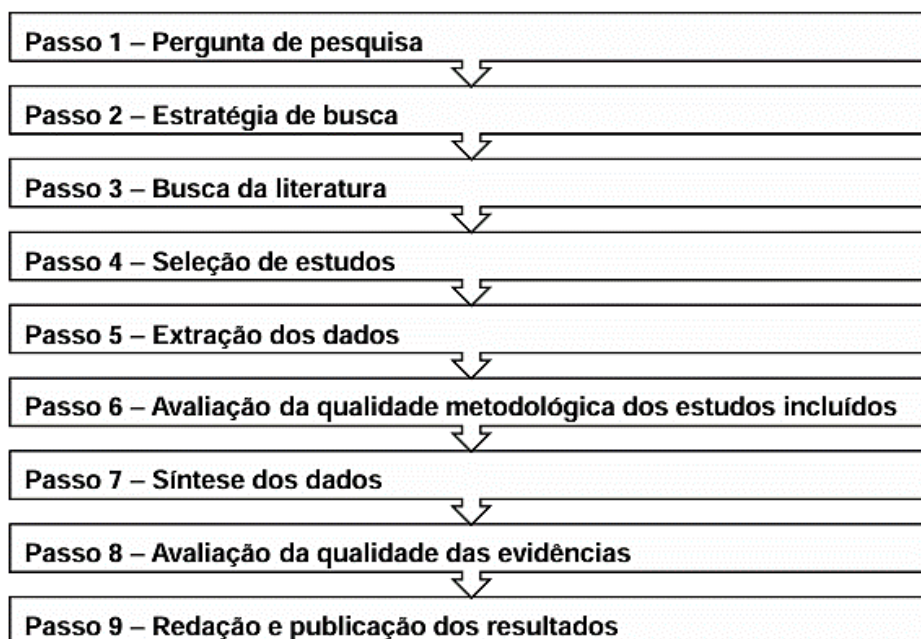
A pesquisa de campo de CL2 foi realizada com estudantes do 3º ano do ensino médio, sendo que o instrumento de coleta de dados foi a aplicação de três testes de raciocínio lógico com o intuito de identificar as habilidades cognitivas relacionadas à matemática. Ao analisar os dados coletados, CL2 concluiu que os estudantes não conseguiram alcançar resultados positivos. Isso se deve a diversos fatores, como a falta de atenção e concentração no momento da resolução, aspectos comprovadamente importantes para a aquisição de conhecimento, segundo as neurociências.

#### *4.1.1.1.3 As dissertações*

Todas as 6 dissertações apresentam abordagem qualitativa. Dando proeminência a D9, intitulada: “Um estudo sobre as contribuições da neurociência cognitiva para a aprendizagem em matemática”, que é uma pesquisa do tipo bibliográfica que objetiva “selecionar e discutir evidências que demonstrem a possibilidade de contribuição da Neurociência Cognitiva para a Aprendizagem em Matemática, no que diz respeito ao entendimento sobre as bases neurais da aprendizagem em Matemática” (Ribeiro, 2022, p. 41).

A autora conduz sua pesquisa em duas etapas: revisão bibliográfica e revisão sistemática da literatura (RSL). Ela entende a revisão bibliográfica como um mecanismo de busca por respostas para o problema apresentado pela pesquisa, de modo a contribuir com a discussão da fundamentação teórica sobre a mesma temática. Já a RSL “visa identificar, selecionar, classificar e sintetizar as evidências relevantes disponíveis em pesquisa” (Ribeiro, 2022, p. 42). Com base nisso, foram estabelecidos nove passos a serem seguidos para a realização da RSL (Figura 17).

Figura 17 - Passos estabelecidos para uma RSL



Fonte: Ribeiro (2022, p. 43).

Dessa forma, a partir da questão problema: “Como a neurociência cognitiva poderia contribuir para a aprendizagem em matemática?”, foram realizadas buscas em plataformas digitais como Google Scholar, Scielo, Scopus, PubMed e Portal de Periódicos da Capes, resultando em 77 trabalhos. Ao analisar as pesquisas voltadas para a aprendizagem em matemática, foi perceptível, em grande parte delas, o uso de experimentos e aplicações. Com base nisso, a autora fez uma análise crítica de quatro livros que embasaram as pesquisas selecionadas. São eles:

- a) SIQUEIRA, J. L. S. **Ensinando matemática através da perspectiva da neuroeducação**. São Paulo: Clube de Autores, 2019;
- b) FONSECA, L. **Didática da matemática e neurociência cognitiva: elementos para uma articulação em favor da aprendizagem matemática**. São Paulo: LF Editorial, 2019;
- c) BOALER, J. **Mentalidades matemáticas: estimulando o potencial dos estudantes por meio da matemática criativa, das mensagens inspiradoras e do ensino inovador**. Porto Alegre: Penso, 2018;
- d) BOALER, J.; MUNSON, J.; WILLIAMS, C. **Mentalidades matemáticas na sala de aula: ensino fundamental**. Porto Alegre: Penso, 2020. v. 1.

Esses livros apresentam sugestões de metodologias de ensino que integram a matemática e as neurociências cognitivas. Boaler (2018), por exemplo, apresenta, ao longo dos oito capítulos, propostas pedagógicas já estruturadas e prontas para serem executadas em sala de aula, as quais abordam conteúdos matemáticos associados a conceitos neurocientíficos.

#### *4.1.1.1.4 As monografias*

Entre as 3 monografias que constituem o corpus desta pesquisa, M2 e M3 adotam uma abordagem qualitativa. Ambas compartilham algumas características: são de natureza bibliográfica e foram realizadas para a obtenção do título de graduação em Matemática. M2, cujo título é: "Neurociência e o ensino da matemática: uma revisão bibliográfica", é resultado de uma pesquisa de conclusão de curso de Licenciatura Plena em Matemática, defendida na Universidade Federal do Pará (UFPA), em 2021. Já M3, intitulada: "Neuroeducação no ensino da matemática para adolescentes", foi desenvolvida para a conclusão do curso de Matemática na UEG, em 2022.

Ambos os estudos tiveram o objetivo de analisar estratégias de ensino relacionadas às neurociências visando contribuir para um aprendizado mais aprofundado na linguagem matemática pelos alunos. Enquanto M2 analisa as principais estratégias de ensino assentadas nas neurociências sob a ótica das teorias comportamentalista e cognitivista, M3 destaca as neurociências e sua importância no processo de aquisição de aprendizagem dos estudantes em matemática. Assim, exploram a ligação entre as neurociências e o ensino da matemática, evidenciando a relevância desse tema.

#### *4.1.1.2 Abordagem quantitativa*

Somente um trabalho se identificou com a abordagem quantitativa. Com o título: "A evolução da neurociência no Brasil: uma comparação com os países da América Latina nos últimos 16 anos" (código A8), os autores desta publicação fizeram

um levantamento de dados no SCImago Journal and Country Rank<sup>16</sup> sobre a produção científica em neurociência dos 20 países sul-americanos, no período de 1996 a 2011, com o objetivo de “comparar a produção acadêmica de neurociência no Brasil com outros países da América Latina nos últimos 16 anos” (Guimarães; Monteiro-Junior; Deslandes, 2014, p. 361).

Para tanto, os autores utilizaram técnicas avançadas de estatística como análise *cross-tabs* (tabela cruzada) e análise de variância *one-way* com *post-hoc* de Bonferroni. Em suas análises concluíram que o Brasil foi o país que apresentou a maior produção anual em trabalhos de neurociências, seguido por México e Argentina. Ressaltam ainda que as três nações que lideraram as produções acadêmicas em neurociências são também as mais desenvolvidas economicamente, o que sugere um vínculo entre o desenvolvimento científico, industrial e econômico. De fato, segundo projeções do Fundo Monetário Internacional (FMI), para o ano de 2023, Brasil, México e Argentina figuravam como as três maiores potências da América Latina quando se fala em economia (Tabela 5).

Tabela 5 - As 10 maiores economias da América Latina em 2023, segundo projeção do FMI

| POSIÇÃO | PAÍS                 | US\$           |
|---------|----------------------|----------------|
| 1       | Brasil               | 2,13 trilhões  |
| 2       | México               | 1,81 trilhão   |
| 3       | Argentina            | 621,83 bilhões |
| 4       | Colômbia             | 363,84 bilhões |
| 5       | Chile                | 344,4 bilhões  |
| 6       | Peru                 | 264,64 bilhões |
| 7       | República Dominicana | 120,63 bilhões |
| 8       | Equador              | 118,69 bilhões |
| 9       | Porto Rico           | 117,52 bilhões |
| 10      | Guatemala            | 102,77 bilhões |

Fonte: Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/estadao-conteudo/2024/02/18/quais-sao-as-20-maiores-economias-da-america-latina-veja-a-posicao-do-brasil.htm>. Acesso em: 23 jun. 2024.

A liderança era do Brasil, com PIB estimado em US\$ 2,13 trilhões; seguido pelo México, cuja estimativa de PIB era de US\$ 1,81 trilhão; e, em terceiro lugar, a Argentina, com PIB previsto de US\$ 621,83 bilhões.

<sup>16</sup> O SCImago Journal and Country Rank é um portal que, desde 1996, apresenta indicadores sobre a visibilidade científica de periódicos e países obtidos a partir de informações contidas na base de dados Scopus (Guimarães; Monteiro-Junior; Deslandes, 2014, p. 360).

#### 4.1.1.3 Abordagem mista (quali-quantitativa)

Duas publicações se autocaracterizaram como formato misto: a monografia M1 e a tese T2. Em M1, no desejo de “analisar as contribuições da Neurociência à Educação Matemática em publicações científicas no período 2009-2021” (Menezes, 2021, p. 60), a autora colheu, por meio de pesquisa bibliográfica, em repositórios de universidades renomadas e em plataformas digitais, 50 artigos que tratam de produções científicas de neurociências, evidenciando as interfaces entre neurociências cognitivas e educação matemática.

T2, único trabalho que compõe o corpus desta pesquisa fruto de uma pesquisa em nível de doutoramento, tem como título: “A produção do conhecimento sobre as contribuições da neurociência para a aprendizagem matemática”. A autora objetivou “analisar a relação entre a neurociência e a aprendizagem matemática no ensino fundamental, em artigos de revistas brasileiras dissertações e teses” (Pizyblski, 2020, p. 9). Para alcançar seus propósitos, também realizou uma pesquisa bibliográfica fazendo uso de plataformas digitais. Para efeito de compilação dos dados, realizou suas análises a partir de quatro categorias previamente estabelecidas.

Vale ressaltar que nossa caracterização respeitou as definições estabelecidas por cada autor. No entanto, ao analisarmos a pesquisa M1, percebemos que, apesar de a autora afirmar que seu estudo inclui abordagens qualitativas e quantitativas, não identificamos características que satisfazem os critérios de uma pesquisa quantitativa.

Sampieri, Collado e Lucio (2013, p. 35) salientam que “o enfoque qualitativo busca principalmente a ‘dispersão ou expansão’ dos dados e da informação, enquanto o enfoque quantitativo pretende intencionalmente ‘delimitar’ a informação (medir com precisão as variáveis do estudo, ter ‘foco’). Em consonância com Bardin (1977), as abordagens qualitativas e quantitativas têm campos de ação distintos.

A primeira, obtém dados descritivos através de um método estatístico. Graças a um desconto sistemático, esta análise é mais objectiva, mais fiel e mais exacta, visto que a observação é mais bem controlada. Sendo rígida, esta análise é, no entanto, útil, nas fases de verificação das hipóteses. A segunda corresponde a um procedimento, mais intuitivo, mas também mais maleável e mais adaptável, a índices não previstos ou a evolução das hipóteses (Bardin, 1977, p. 115).

Como visto, o enfoque quantitativo geralmente recorre a instrumentos estatísticos para analisar dados numéricos e chegar a conclusões objetivas, fato não

identificado em M1. O que a autora faz é a contagem e categorização dos 50 trabalhos mapeados em categorias previamente estabelecidas por ela, conduta necessária para a organização e análise dos dados bibliográficos.

Haguette (1992), ao elencar técnicas para análise de dados qualitativos, explica que todo o material coletado precisa ser preparado para análise. Assim, “caso deseje, conforme natureza do material e demanda do paradigma teórico metodológico escolhido, o pesquisador pode usar um registro quantitativo para organizar as respostas qualitativas” (Haguette, 1992, p. 37). Ressalta ainda que, para a interpretação dos dados pode-se “fazer uso de quantificações e/ou se restringir as análises qualitativas” (Haguette, 1992, p. 40), sem perder a característica de pesquisa qualitativa.

Prodanov e Freitas (2013) reiteram que a abordagem a ser utilizada na investigação depende da maneira pela qual o pesquisador analisa o problema e do tipo de estudo que ele desenvolverá. Em uma comparação entre as abordagens qualitativas e quantitativas os autores ressaltam: a amostra – que em uma abordagem qualitativa é pequena, enquanto na abordagem quantitativa é ampla; e o modo de análise dos dados – na abordagem qualitativa utiliza-se o método indutivo e na quantitativa, o dedutivo (estatístico).

Em T2 observamos evidências de uma pesquisa mista. Cumprindo o objetivo de “analisar a relação entre a neurociência e a aprendizagem em matemática” (Pizyblski, 2020, p. 161), a autora estabeleceu algumas etapas para realizar sua pesquisa. Primeiramente ela realizou buscas em plataformas digitais por obras que tratam da temática pretendida. Essa consulta resultou em 11.127 trabalhos, os quais foram reduzidos a 109 por meio de refinamento realizado pela própria autora a partir da leitura dos títulos, dos resumos e das palavras-chave.

Contudo, executar manualmente o refinamento de dados dessa envergadura é árduo e suscetível a erros, assim, a autora recorreu à ferramenta de suporte StArt, desenvolvida pelo laboratório de pesquisa em engenharia de *software* da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Ao final do refinamento, o corpus da pesquisa contou com 70 trabalhos. Em segundo momento a autora realizou a leitura dos 70 trabalhos, excluindo aqueles em que os objetivos de sua pesquisa não foram satisfeitos. Desse modo, 32 obras foram selecionadas para prosseguir a análise.

Esses trabalhos foram classificados em quatro categorias: abordagem teórica; criação de recursos pedagógicos; jogos e/ou tecnologias digitais; pesquisa de

desempenho. Vale ressaltar que um dos trabalhos analisados por T2 também compõe o corpus de nossa pesquisa, trata-se da dissertação D1, a qual investiga a interação entre jogos digitais *on-line* e a aprendizagem matemática alicerçados por conceitos de neurociências. T2 assevera que sua pesquisa tem abordagem mista, pois, “consiste em coletar e analisar tanto dados quantitativos e aprofundamento de análise qualitativa em um único estudo” (Pizyblski, 2020, p. 37).

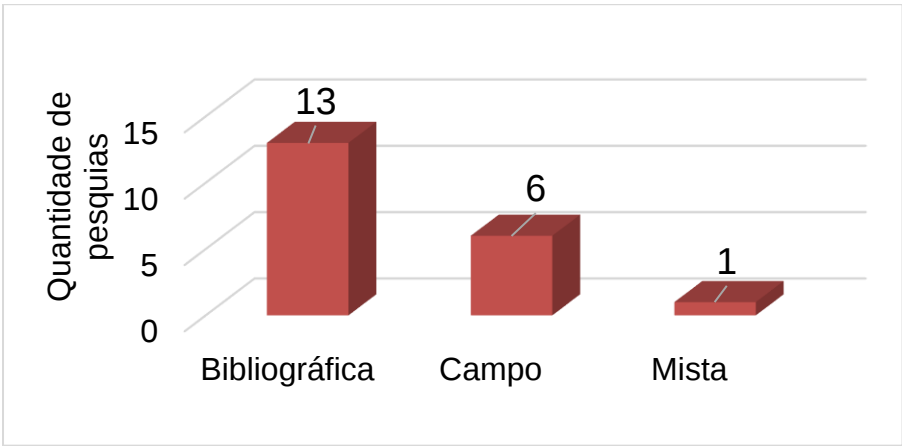
#### **4.1.2 Um enfoque sobre os tipos de pesquisas**

Nesse item nos dedicamos à análise dos dados do ponto de vista do tipo de pesquisa em relação às fontes utilizadas. Severino (2013) discute distintas modalidades de pesquisa. Em relação à natureza das fontes utilizadas, três principais abordagens são mencionadas: pesquisa bibliográfica, pesquisa de laboratório e pesquisa de campo. Enquanto a primeira está fundamentada em fontes já existentes, a segunda envolve a manipulação experimental do objeto em condições controladas. Já a terceira explora o objeto em seu ambiente natural, sem interferência direta do pesquisador.

Tais abordagens variam de acordo com as áreas de conhecimento, sendo a pesquisa experimental mais comum nas Ciências Naturais e a de campo mais prevalente nas Ciências Humanas. Theófilo (2009) endossa essa concepção ao ressaltar que a pesquisa bibliográfica se configura como uma estratégia de investigação imprescindível para o desenvolvimento de qualquer estudo científico.

Amparados nesse contexto, criamos a categoria relacionada à natureza das fontes. Dentre as obras selecionadas não constam pesquisa de laboratório, assim, os trabalhos foram categorizados em três grupos: pesquisa bibliográfica, de campo e mista (bibliográfica e campo) (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Distribuição das pesquisas quanto ao tipo



Fonte: Elaboração própria (2024).

A análise comparativa da distribuição dos tipos de pesquisa realizados e suas frequências revelou que a abordagem bibliográfica foi a prevalente, registrando 13 ocorrências, o que corresponde a 65% do total de obras; seguida pelos estudos de campo, com 6 obras. Em relação aos estudos de campo, 4 se caracterizam apenas como pesquisa de campo, enquanto 2 (D2 e D5) se caracterizam como caso etnográfico e pesquisa experimental, respectivamente. Apenas uma pesquisa se autodefiniu como bibliográfica e de campo, a qual referimos como pesquisa mista (CL2). Esses resultados evidenciam uma diversidade de abordagens metodológicas empregadas no estudo (Tabela 6).

Tabela 6 - Distribuição de trabalhos quanto à natureza das fontes

| NATUREZA      | QUAIS |     |     | QUANTOS |
|---------------|-------|-----|-----|---------|
| Bibliográfica | A6    | A17 | D9  | 13      |
|               | A8    | A19 | T2  |         |
|               | A10   | M1  | CL1 |         |
|               | A15   | M2  |     |         |
|               | A16   | M3  |     |         |
| Campo         | A12   | D3  |     | 6       |
|               | D1    | D4  |     |         |
|               | D2    | D5  |     |         |
| Mista         | CL2   |     |     | 1       |

Fonte: Elaboração própria (2024)

Compreendemos que os trabalhos classificados como caso etnográfico e pesquisa experimental também satisfazem a categoria natureza das fontes, encorpando o grupo das pesquisas de campo, uma vez que a pesquisa experimental “pode ser desenvolvida tanto em campo (situação real) quanto em laboratório, onde o

ambiente é rigorosamente controlado” (Theóphilo; Martins, 2009, p. 57). Esta tem uma abordagem científica altamente valorizada, na qual o pesquisador atua ativamente ao determinar um objeto de estudo, selecionando variáveis relevantes e definindo métodos de controle e observação dos efeitos dessas variáveis. Assim, a pesquisa experimental não está limitada ao ambiente de laboratório, pois pode ser conduzida em diversos locais, desde que sejam cumpridos critérios como: manipulação das variáveis, controle da situação experimental e distribuição aleatória dos participantes (Gil, 2002). Reiterando essa concepção, Theóphilo e Martins (2009) asseveram que

[...] são raros os experimentos de laboratório nas pesquisas da área de Ciências Sociais Aplicadas. Estudos de problemas sociais, organizacionais, psicológicos, educacionais etc., cuja estratégia seja a abordagem experimental, são orientados por pesquisa experimental em campo, em situação real em que uma ou mais variáveis são manipuladas pelo investigador, sob condições controladas, com o máximo cuidado permitido pela situação (Theóphilo; Martins, 2009, p. 57).

Um exemplo de pesquisa experimental é o trabalho de Bessa e Costa (2023, p. 5), que objetivaram “investigar a compreensão de multiplicação de estudantes do 3º ao 5º ano do ensino fundamental e quais estratégias eles utilizam para resolver uma situação experimental envolvendo a operação aritmética de multiplicação”. Para isso, selecionaram 81 estudantes de escolas públicas e privadas com idade entre 8 e 11 anos, os quais foram submetidos a uma atividade direcionada. Suas condutas no momento da resolução da atividade foram gravadas em forma de vídeos e transcritas na íntegra para melhor análise. Seguindo essa linha de argumentação, Theóphilo e Martins (2009) reiteram a concepção da estratégia experimental como um procedimento caracterizado pela minuciosa observação conduzida em um ambiente predeterminado, visando alcançar com precisão os propósitos definidos.

Fiorentini e Lorenzato (2006) referem-se ao caso etnográfico como um tipo de estudo naturalista no qual o pesquisador frequenta os locais onde os fenômenos naturalmente ocorrem. O termo "etnográfico" deriva dos estudos antropológicos e tem como objetivo descrever a cultura de um grupo étnico específico. A coleta de dados é realizada em meio aos comportamentos cotidianos das pessoas. Assim, vai além da observação direta, pois abrange também diversas outras técnicas metodológicas, como entrevistas e consulta a materiais diversos. Isso pressupõe um forte envolvimento do pesquisador na situação estudada.

#### 4.1.2.1 As bibliográficas

A predominância de pesquisas classificadas como bibliográficas pode ser atribuída, em parte, à conscientização dos desafios financeiros e técnicos associados à condução de estudos em neurociência, uma vez que acarretam custos substanciais, excedendo aqueles associados às pesquisas educacionais convencionais. Portanto, é crucial planejar meticulosamente a obtenção de financiamento e adotar práticas para minimizar o desperdício de recursos em experimentos educacionais visando garantir a eficácia e que os resultados obtidos sejam confiáveis e representativos (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022).

Cosenza e Guerra (2011) nos lembram que o estudo do comportamento humano é permeado por limitações técnicas e éticas, o que se torna um empecilho para o entendimento dos processos cognitivos. No entanto, o aprimoramento de técnicas de neuroimagem foi crucial para alcançar o conhecimento que se tem hoje sobre neurociências cognitivas.

Os estudos do tipo bibliográficos exibem diversas facetas da intersecção entre as neurociências cognitivas e o ensino de matemática. Assim, compõem nosso banco de dados: 13 pesquisas bibliográficas, sendo 7 artigos, 1 capítulo de livro, as 3 monografias selecionadas, 1 dissertação e a única tese presente no corpus de nossa investigação (Quadro 9). O foco varia desde estratégias de ensino e de aprendizagem, como em A6, A10, A15, A16, A19 e M2; até a formação de professores (A17 e D9); passando pela produção de conhecimento (M1 e T2). As pesquisas são unânimes em enfatizar a relevância da aplicação dos princípios das neurociências para auxiliar tanto professores quanto estudantes em relação à educação matemática.

Quadro 9 - Pesquisas bibliográficas

| CÓDIGO | ANO  | AUTOR                                                            | TÍTULO                                                                                                               |
|--------|------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A6     | 2010 | MOGOLLÓN, E.                                                     | Contribuições das neurociências para o desenvolvimento de estratégias de ensino e aprendizagem de matemática.        |
| A8     | 2014 | GUIMARÃES, T. T.;<br>MONTEIRO-JUNIOR, R. S.;<br>DESLANDES, A. C. | A evolução da neurociência no Brasil: uma comparação com os países da América Latina nos últimos 16 anos.            |
| A10    | 2019 | ARAÚJO, F. G. da S.;<br>MENEZES, D. B.;<br>BEZERRA, K. de S.     | Neurociência e o ensino da matemática: um estudo sobre os estilos de aprendizagem e as inteligências múltiplas.      |
| A15    | 2020 | TOLEDO, R. V. F.;<br>LOPES, C. E.                                | Neurociência cognitiva e a aprendizagem de matemática: diálogos possíveis.                                           |
| CL1    | 2020 | ALVARENGA, K. B.                                                 | Neurociências cognitivas e matemática.                                                                               |
| T2     | 2020 | PIZYBLSKI, L. M.                                                 | A produção do conhecimento sobre as contribuições da neurociência para a aprendizagem matemática.                    |
| A16    | 2021 | ALVARENGA, K. B.                                                 | Maneiras de avançar o pensamento matemático na educação básica com respaldo das neurociências.                       |
| M1     | 2021 | MENEZES, J. E.                                                   | Uma análise das contribuições da neurociência à educação matemática em publicações científicas no período 2009-2021. |
| M2     | 2021 | SILVA JÚNIOR, E. A. da                                           | Neurociência e o ensino da matemática: uma revisão bibliográfica.                                                    |
| A17    | 2022 | ALVARENGA, K.;<br>DOMINGOS, A.;<br>CABRERA ZUÑIGA, D.            | Neurociências cognitivas na formação de professores de matemática.                                                   |
| M3     | 2022 | MENDES, A. L.                                                    | Neuroeducação no ensino da matemática para adolescentes.                                                             |
| D9     | 2022 | RIBEIRO, D. S. N.                                                | Um estudo sobre as contribuições da neurociência cognitiva para a aprendizagem em matemática.                        |
| A19    | 2023 | COSTA, R. L. S.                                                  | Neurociência e aprendizagem.                                                                                         |

Fonte: Elaboração própria (2024).

M1 e M2 analisaram trabalhos a fim de vislumbrar contribuições das neurociências ao ensino e à aprendizagem de matemática. A8, por sua vez, desenvolveu uma pesquisa com enfoque quantitativo comparando a evolução das publicações científicas em neurociências no Brasil em relação aos demais países da América Latina. A10 investigou estilos de aprendizagem e inteligências múltiplas no contexto do ensino de matemática. Em relação aos estilos de aprendizagem, o foco foi em três específicos: visual, auditivo e cinestésico. Já em relação à teoria das inteligências múltiplas os autores se embasaram em Armstrong e Veronese (2001) para agrupá-las em oito inteligências amplas: linguística, interpessoal, intrapessoal, lógico-matemática, musical, espacial, corporal-cinestésica e naturalista. Toda análise foi feita à luz do ensino de matemática.

#### 4.1.2.2 As de campo

Em relação às pesquisas de campo, mapeamos 6 obras, sendo um artigo e cinco dissertações, os quais desenvolveram seus trabalhos sustentados na abordagem qualitativa (Quadro 10).

Quadro 10 - Pesquisas de campo

| CÓDIGO | ANO  | AUTOR                                  | TÍTULO                                                                                                                                                                |
|--------|------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| D1     | 2017 | SILVA, S. L. D. da                     | A interatividade dos jogos digitais na aprendizagem matemática: uma discussão em neurociência.                                                                        |
| D2     | 2018 | CAVALCANTE, M. T. M.                   | O ensino de matemática, a neurociência e os games: desafios e possibilidades.                                                                                         |
| D3     | 2018 | CEMBRANEL, C. B.                       | Neurociências: um saber importante para a efetiva construção do conhecimento matemático.                                                                              |
| D4     | 2018 | OLIVEIRA, C. M. de.                    | Contribuições da neurociência cognitiva para refletir sobre o processo de ensino e aprendizagem em ciências: conhecendo e reconhecendo as potencialidades do cérebro. |
| D5     | 2018 | SILVA, K. S.                           | A neurociência cognitiva como base da aprendizagem de geometria molecular: um estudo sobre atributos do funcionamento cerebral relacionados à memória de longo prazo. |
| A12    | 2019 | SILVA, S. L. D. da;<br>SCHEFFER, N. F. | O jogo digital <i>on-line</i> e as funções cognitivas de atenção e memória em matemática: um estudo em neurociências.                                                 |

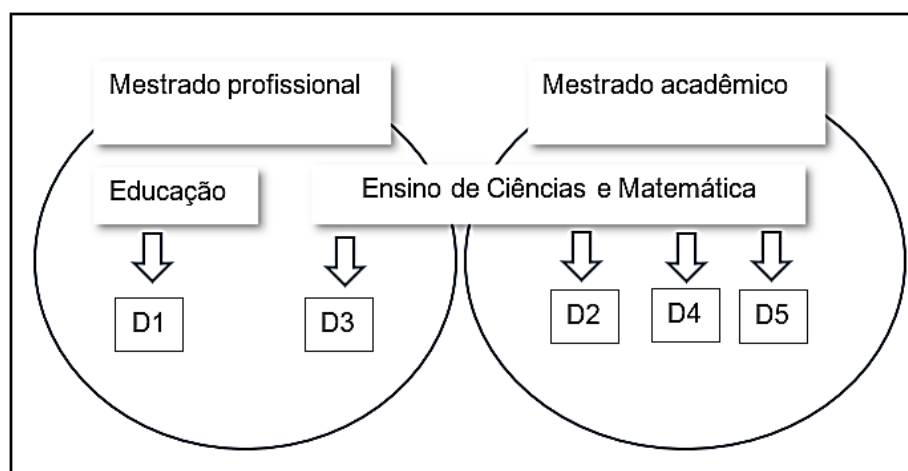
Fonte: Elaboração própria (2024).

Podemos considerar que todos os estudos de campo se circunscrevem como pesquisas em nível de mestrado, pois cinco dos seis trabalhos são dissertações e o único artigo, A12, refere-se à apresentação do produto educacional elaborado em D1.

Os programas de pós-graduação nos quais as pesquisas foram desenvolvidas são: quatro voltados para o Ensino de Ciências e Matemática e um programa de mestrado em Educação (D1). Além disso, dois trabalhos (D1 e D3) são de mestrados profissionais, enquanto os demais são de mestrados acadêmicos (Figura 18).

As universidades que ofertam esses programas são: duas federais – Universidade Federal da Fronteira do Sul (UFFS) (D1) e Universidade Federal de Sergipe (UFS) (D5); duas estaduais – Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) (D2) e Universidade Estadual de Maringá (UEM) (D4); uma comunitária e filantrópica – Universidade de Caxias do Sul (UCS) (D3).

Figura 18 - Os programas de mestrados



Fonte: Elaboração própria (2024).

Nos itens que seguem são apresentados os sujeitos participantes e os lócus dessas pesquisas.

#### 4.1.2.3 Os participantes

Os estudos convergem quanto à abrangência das pesquisas e aos participantes envolvidos. Com exceção de D2, em todos os outros casos os participantes foram estudantes. A pesquisa de D2, além de estudantes, contou com a colaboração da professora regente da turma.

A12, D1, D2 e D4 concentraram suas pesquisas em estudantes do ensino fundamental, enquanto D3 e D5 trabalharam com a etapa de ensino médio. Em A12 e D1 participaram 6 estudantes, sendo 3 do 7º ano e 3 do 8º ano, com a preocupação dos autores em selecionar estudantes de ambos os sexos. Em D2 foram 20 estudantes do 9º ano, juntamente com sua professora, participaram da pesquisa. Em D4 os participantes foram 28 estudantes do 7º ano, turma na qual o pesquisador atua como professor regente.

D3 teve como participantes estudantes do 3º ano do ensino médio, com a participação de três turmas: uma turma alvo, com 27 estudantes, e duas turmas de controle, com 30 estudantes cada. Enquanto D5, em que o pesquisador também é professor da turma, participaram 9 estudantes do 2º ano, sendo 5 do sexo feminino e 4 do masculino.

#### 4.1.2.4 Os lócus

Os pesquisadores que utilizaram estudo de campo coletaram os dados, em sua maioria, em instituições públicas de ensino, isto é, em escolas da rede municipal ou estadual. D5 distingue-se dos demais, pois foi a única pesquisa em que o ambiente de coleta de dados foi uma escola da rede privada. O autor é também professor regente nesta instituição, a qual ele prefere, por questões éticas, não citar o nome, apenas afirma que pertence ao estado de Sergipe. Ele a descreve como uma instituição de “pequeno porte, funciona pela manhã com o maternal, Ensino Fundamental I e II e EM regular, sendo uma turma para cada série, bem como no turno da noite, com turmas da Educação de Jovens e Adultos e pré-vestibular” (Silva, 2018, p. 88).

D2 é a única dissertação que utilizou, como campo de investigação, uma escola da rede municipal de ensino localizada na cidade de Poço de José de Moura, no alto sertão paraibano. Nas demais (A12, D1, D3 e D4) os pesquisadores coletaram os dados em instituições públicas vinculadas à rede estadual de ensino. D1, assim como D5, escolheu a escola em que atua como professor regente. Localizada no município de Sananduva (RS), essa instituição oferta a etapa de ensino fundamental, a qual abrange estudantes tanto da zona urbana quanto da zona rural. D3 escolheu a Escola Estadual de Educação Básica Abramo Pezzi, a qual oferta a etapa de ensino médio, atendendo a população de classe média baixa. A escola fica localizada no Bairro Rio Branco, em Caxias do Sul (RS) e funciona em três turnos: manhã, tarde e noite. Em D4 o campo de investigação se deu no Colégio Estadual Alfredo Moisés Maluf, pertencente ao Núcleo Regional de Educação de Maringá, no estado do Paraná.

Verificamos que os campos de investigação refletem uma diversidade geográfica significativa, pois abrangem desde o sertão paraibano até o sul do Brasil, incluindo municípios como Poço de José de Moura, Sananduva e Caxias do Sul. Cada uma dessas instituições apresenta particularidades em termos de estrutura e público atendido, desde a educação infantil até o ensino médio e a educação de jovens e adultos, o que demonstra a abrangência e a variedade dos contextos educativos explorados pelas pesquisas.

No entanto, o fato de a maioria das instituições serem públicas pode refletir uma tendência ou facilidade de acesso dos pesquisadores a esses ambientes. A única exceção, D5, apresenta uma situação peculiar onde o autor é funcionário da instituição

privada, o que pode levantar questões sobre a imparcialidade e a representatividade dos dados coletados. A concentração em escolas específicas, muitas vezes escolhidas por conveniência ou acessibilidade para os pesquisadores, pode limitar a generalização dos resultados e destacar a necessidade de um esforço mais amplo e diversificado na seleção dos locais de pesquisa para futuros estudos.

4.1.2.5 As mistas (bibliográficas e de campo)

CL2 é a única obra classificada como bibliográfica e de campo (Quadro 11). Para justificar esse tipo, a autora advoga que “a pesquisa bibliográfica se refere à pesquisa de autores que corroboram com a pesquisa enriquecendo a investigação” (Braun, 2022, p. 34).

Quadro 11 - Pesquisa mista

| CÓDIGO | ANO  | AUTOR              | TÍTULO                                                                             |
|--------|------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| CL2    | 2022 | BRAUN, L. C. S. L. | A utilização da neurociência na aprendizagem matemática dos alunos do ensino médio |

Fonte: Elaboração própria (2024)

Em Lakatos e Marconi (2003, p. 44) encontramos oito fases distintas indispensáveis para a execução de um estudo bibliográfico: “a) escolha do tema; b) elaboração do plano de trabalho; c) identificação; d) localização; e) compilação; f) fichamento; g) análise e interpretação; h) redação”. Contudo, ao apresentar a análise de seus dados, CL2 não evidencia nenhuma das oito fases descritas anteriormente, o que nos leva a entender que quando a autora se refere à pesquisa bibliográfica na verdade está se referindo ao levantamento bibliográfico necessário em toda e qualquer investigação para que o pesquisador se familiarize com o tema de sua pesquisa.

Em relação à pesquisa de campo, o campo de investigação, os sujeitos participantes e os instrumentos de coleta de dados estão bem definidos, o que nos assegura a inferir que CL2 é uma pesquisa de campo apenas. Já que

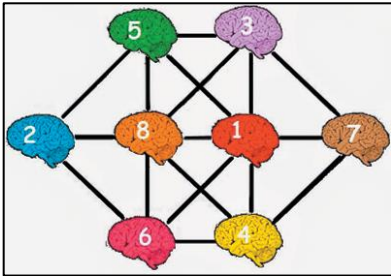
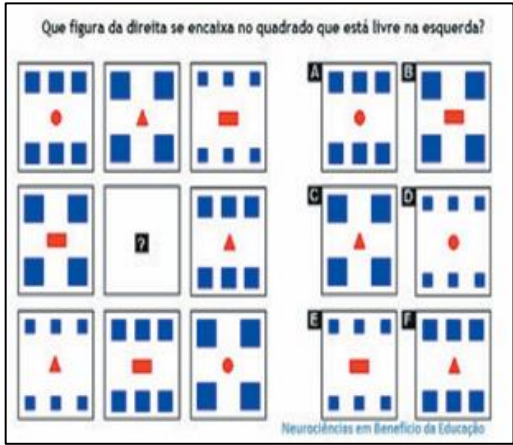
As fases da pesquisa de campo requerem, em primeiro lugar, a realização de uma pesquisa bibliográfica sobre o tema em questão. Ela servirá, como primeiro passo, para se saber em que estado se encontra atualmente o

problema, que trabalhos já foram realizados a respeito e quais são as opiniões reinantes sobre o assunto (Lakatos; Marconi, 2003, p. 186).

Em relação à conduta da pesquisa *in loco*, no estudo de campo desenvolvido em CL2 os participantes foram 19 estudantes do 3º ano do ensino médio de uma escola da rede estadual do município de Bragança (PA). Para a coleta de dados a autora aplicou três testes de raciocínio lógico, cada teste com duração de cinco minutos. O objetivo foi analisar as habilidades matemáticas dos estudantes, incluindo atenção, percepção, motivação, concentração, memória de base, ambiente, raciocínio lógico e emoções.

Os testes (Quadro 12) visaram aferir o desempenho dos estudantes em situações que envolvem a lógica e o raciocínio, aspectos centrais no campo das neurociências cognitivas. No entanto, os resultados evidenciam a ausência das funções executivas como a atenção e a concentração. Nos Testes 1 e 2 todos os estudantes erraram, o que pode indicar possíveis dificuldades em reconhecer padrões matemáticos subjacentes e pouca habilidade de planejamento e memória de trabalho. Em contraste, o Teste 3, que teve um alto índice de acertos (15 de 19 estudantes), pode indicar que tarefas visuais e de reconhecimento de padrões podem ser processadas de maneira mais eficaz.

Quadro 12 - Testes aplicados por CL2

| TESTES                                                                                                                              | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | RESULTADOS                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <p>Modelo do Teste 1</p>                           | <p>A imagem mostra uma malha 4x4 de números com um quadrado vazio. O estudante deve descobrir qual número deve ser adicionado no espaço vazio. Para isso, precisa identificar a qual operação matemática esses números estão associados. A resposta correta é 2, pois, <math>9 - 2 = 7</math>; <math>11 - 3 = 8</math>; <math>7 - 5 = 2</math> e <math>10 - 4 = 6</math>.</p> | <p>Todos os estudantes erraram.</p>    |
| <p>Modelo do Teste 2 respondido corretamente</p>  | <p>A imagem mostra 8 cérebros interligados. O estudante deveria colocar os números de 1 a 8, de modo que cada número inserido nos cérebros vizinhos não seja sucessor nem antecessor um do outro.</p>                                                                                                                                                                         | <p>Todos os estudantes erraram.</p>    |
| <p>Modelo do Teste 3</p>                         | <p>São apresentadas duas colunas de figuras. O estudante deveria escolher uma figura da coluna da direita para completar a coluna da esquerda, de modo que não se repita a imagem. A resposta correta é a letra D.</p>                                                                                                                                                        | <p>15 dos 19 estudantes acertaram.</p> |

Fonte: Adaptado de Braun (2022, p. 38-40).

A autora relata o entusiasmo dos estudantes com os testes, mas, no momento da resolução, “o sentimento de frustração e incapacidade foi nítido” (Braun, 2022, p. 41) ao não conseguirem responder corretamente dentro do prazo estipulado.

### 4.1.3 Um enfoque sobre os instrumentos de coleta de dados

Analisar os instrumentos de coleta de dados é essencial para assegurar a validade e a confiabilidade de uma pesquisa. Isso permite identificar e mitigar possíveis fontes de viés ou erro, aumentando a credibilidade dos resultados. Desse modo, apresentamos nesse item os diversos instrumentos utilizados nas pesquisas supracitadas.

As 13 pesquisas bibliográficas obtiveram seus dados, como já apontamos, em diversas fontes, utilizando sempre bancos de dados digitais amplamente reconhecidos, como Google Acadêmico e SciELO, que fornecem uma pluralidade de artigos, dissertações e teses relevantes ao tema investigado.

Apenas 3 artigos (A6, A10 e A16), 1 capítulo de livro (CL1) e 1 monografia (M3) não apresentam com clareza como os dados foram coletados. Nos demais é possível identificar claramente os métodos de coleta de dados utilizados. Duas obras (A8 e A15) empregaram instrumentos específicos: A8 utilizou o portal SCImago Journal and Country Rank; e A15 recorreu à revista ZDM Mathematics Education (2010 e 2016) e o 13º ICME (Congresso Internacional de Educação Matemática).

As demais pesquisas utilizaram plataformas digitais como Google acadêmico, SciELO, BDTD, entre outras, em busca de produções científicas. Ao total, foram utilizadas 10 plataformas de busca (Tabela 7), sendo a mais recorrente o Google acadêmico, com 5 ocorrências, seguido pelo Portal de Periódicos da Capes e pela SciELO, com 4 ocorrências cada.

Tabela 7 - Distribuição dos bancos digitais de dados

| BANCOS DIGITAIS                          | EM QUAIS TRABALHOS FORAM MENCIONADOS | EM QUANTOS FORAM MENCIONADOS |
|------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| BDTD                                     | A19                                  | 1                            |
| Capes                                    | A17, A19, D9, T2                     | 4                            |
| Google acadêmico                         | A19, M1, M2, D9, T2                  | 5                            |
| Google convencional                      | M1, T2                               | 2                            |
| PubMed                                   | D9                                   | 1                            |
| Repositório de universidades brasileiras | M2                                   | 1                            |
| Scielo                                   | A19, M2, D9, T2                      | 4                            |
| Scopus                                   | D9                                   | 1                            |
| Web of Science                           | T2                                   | 1                            |
| Wiley Online Library                     | T2                                   | 1                            |

Fonte: Elaboração própria (2024).

As pesquisas de campo, por sua vez, tiveram os dados coletados diretamente em escolas da rede pública e privada de ensino, proporcionando uma análise detalhada e contextualizada das práticas e desafios educacionais nesses ambientes. Assim, das 6 pesquisas classificadas como de campo, é relevante destacar as dissertações D2 e D5, uma vez que seus autores as apresentam como pesquisa etnográfica e experimental, respectivamente. Em D2 o autor se baseia nas obras de André (1995) e Bogdan e Biklen (1994) para classificar sua pesquisa como caso etnográfico. Aos olhos de Marli Eliza D. André, a “etnografia é a tentativa de descrição de uma cultura, e sua principal preocupação é o significado que têm as ações e os eventos para as pessoas, alguns diretamente expressos pela linguagem e outros transmitidos indiretamente por meio das ações” (André, 1995, p. 19 *apud* Cavalcante, 2018, p. 53).

Já Bogdan e Biklen (1994 *apud* Cavalcante, 2018, p. 54) visualizam a pesquisa de caso etnográfico como um estudo voltado à observação, uma vez que, “a reflexão sobre o fenômeno estudado na condição de sujeito externo visa atribuir significado ao objeto de estudo, para que o pesquisador, a partir da observação participante, dirija o olhar para comportamento social dos sujeitos envolvidos na pesquisa”.

Em D5 o autor segue, como metodologia de pesquisa experimental, os princípios da engenharia didática clássica caracterizados pela francesa Michèle Artigue, a qual a define como

[...] uma metodologia que estrutura a concepção, realização, observação e análise de sequências de ensino. Esse processo experimental é composto de quatro fases bem definidas: (i) Análises Preliminares; (ii) Concepções e Análise a priori; (iii) Experimentação e, (iv) Análise a posteriori e Validação da Hipótese (Castilho; Figueiredo; Rodrigues, 2020, p. 433).

Para nossa análise categorizamos os instrumentos de coleta de dados em seis itens (Tabela 8). Apenas CL2, caracterizada como mista em relação à natureza das fontes (bibliográfica e campo), utilizou um único instrumento. A autora aplicou, a estudantes do 3º ano do ensino médio, três testes de raciocínio lógico. Os demais autores empregaram instrumentos variados; D3, por exemplo, utilizou cinco instrumentos, sendo eles fotografias, notas de campo, observações, questionários e aplicação de sequência didática.

Tabela 8 - Instrumentos de coleta de dados

| INSTRUMENTOS                       | EM QUAIS TRABALHOS FORAM MENCIONADOS | EM QUANTOS FORAM MENCIONADOS |
|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Entrevista                         | D2                                   | 1                            |
| Filmagem e fotografia              | A12, D1, D3, D4                      | 4                            |
| Notas de campo                     | D2, D3, D5                           | 3                            |
| Observação                         | A12, D1, D2, D3                      | 4                            |
| Questionário                       | D2, D3                               | 2                            |
| Teste/ Sequência didática/ Oficina | A12, CL2, D1, D3, D4, D5             | 6                            |

Fonte: Elaboração própria (2024).

Dos instrumentos utilizados o mais frequente foi a aplicação de atividades em forma de testes, sequência didática e/ou oficinas, com 6 ocorrências, são eles: A12, D1, D3, D4, D5, CL2. Em seguida, vêm filmagens e fotografias, que foram computadas juntas. O uso da observação como instrumento de coleta de dados foi evidenciado em 4 trabalhos.

O instrumento menos utilizado foi a entrevista, com apenas 1 ocorrência, o que vai ao encontro da concepção de Minayo (2009) quando esta afirma que, dentre as diversas formas de realizar um trabalho de campo, a observação e a entrevista são fundamentais para a coleta de dados. “Enquanto a primeira é feita sobre tudo aquilo que não é dito, mas pode ser visto e captado por um observador atento e persistente, a segunda tem como matéria-prima a fala de alguns interlocutores” (Minayo, 2009, p. 63). A observação das aulas como instrumento de coleta de dados foi utilizada por 4 autores. Os autores de D1 e D4 filmaram as aulas para melhor análise, enquanto D3 optou por registros escritos e fotográficos.

#### 4.1.3.1 Testes, sequências didáticas e oficinas

D4 e D5 são estudos que não se concentram especificamente no ensino de matemática: a primeira baseou sua pesquisa na disciplina de ciências, enquanto a segunda focou no ensino de química. Ambas aplicaram sequências didáticas para a constituição dos dados. D4 utilizou, como lócus de pesquisa, uma escola da rede estadual de Maringá (PR). Sua sequência didática foi organizada “com diversas atividades que proporcionassem reflexões tanto no campo dos conceitos neurocognitivos, como nas abordagens cognitivas do conhecimento” (Oliveira, 2018, p. 84), a qual teve duração de 12 hora/aulas e a seguinte temática: “Características

gerais da vida e a classificação dos seres vivos: uma sequência didático-pedagógica sob os olhares das neurociências”.

Conforme relata D4, em alguns encontros, quando houve o envolvimento de diferentes estímulos sensoriais, as atividades foram gravadas e transcritas, ressaltando que a gravação foi feita da turma como um todo, não de atividades ou grupos específicos. Posteriormente foram realizadas leituras minuciosas no intuito de evidenciar os aspectos considerados mais relevantes para análise. Por fim, a categorização foi realizada a partir dos aspectos neurocognitivos aparentes vinculados à cognição – como memória, atenção, emoção e percepção.

D5 é o único estudo que realizou sua pesquisa em escola da rede privada. Sua sequência didática é composta por três atividades acerca de conceitos de geometria molecular. As atividades realizadas foram analisadas no intuito de identificar e discutir sobre os principais erros e acertos, bem como as fragilidades e potencialidades na aprendizagem do conteúdo de geometria molecular. No entanto, “não foi possível garantir o controle de variáveis relativas ao estado psicológico dos estudantes, como questões emocionais, atencionais, motivacionais, entre outros” (Silva, 2018, p. 138).

#### 4.1.3.2 Jogos digitais

O uso de jogos digitais *on-line*, assim como da gamificação, foi evidenciado em três obras: A12, D1 e D2. Entende-se a gamificação com uma metodologia de ensino

[...] que se baseia na utilização da lógica dos games em ambientes reais, promovendo o engajamento e a motivação dos indivíduos envolvidos, e que tem grande potencial para ser empregada em sala de aula, pois não demanda, necessariamente, o uso de recursos digitais de difícil acesso (Cavalcante, 2018, p. 42).

É inegável os benefícios da incorporação de jogos no ambiente educacional em virtude de sua habilidade em manter os jogadores concentrados, motivados e interessados na aquisição de novos conhecimentos. Assim, a inserção de jogos digitais no ensino, sobretudo de matemática, “ajudam a desenvolver conhecimentos e habilidades para um público que está habituado com as tecnologias” (Silva; Scheffer, 2019, p. 159), o que proporciona uma variedade de métodos para criar aulas

cativantes, especialmente atrativas para os nativos digitais<sup>17</sup>. Os jogos podem reforçar as redes neurais ao recuperar informações da memória, o que contribui para a expansão do conhecimento.

Nesse sentido, A12 apresentou dois jogos *on-line* que envolvem operações matemáticas: Space Race e Batalha Matemática. D1, além desses dois jogos, complementou com os jogos Cobrador de Ônibus e Sjoelbak (Quadro 13), que também envolvem operações matemáticas. É válido lembrar que esses jogos foram aplicados a estudantes de 7º e 8º ano do ensino fundamental, por isso a importância de reforçar conceitos básicos de matemática, em especial as quatro operações. D2 utilizou o jogo Angry Birds Rio no ensino de função quadrática, sobretudo para compreender os conceitos de máximo e mínimo de uma função (Figura 19).

Quadro 13 - Jogos utilizados em A12 e em D1

(continua)

|                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Jogo Space Race</p>          | <p>Descrição: o jogo exibe quatro naves espaciais em ponto de partida para uma corrida intergaláctica. O jogador deve escolher uma das naves, com possibilidade de personalizá-la com nome e cor de sua preferência. Dada a largada, as naves se movimentam e o jogador deve resolver a operação que sua nave contém e clicar na seta que indica a resposta certa o mais rápido possível para vencer a corrida. O jogo registra a posição das naves e o número de voltas simultaneamente com a ação do jogador. Ao final, é possível verificar a classificação final da corrida e os cálculos que não foram respondidos corretamente aparecem com as respostas certas (Silva; Scheffer, 2019, p. 160).</p>                                                                                                                   |
| <p>Jogo Batalha Matemática</p>  | <p>Descrição: o jogo simula a tentativa de invasões inimigas a uma fazenda; para vencer a batalha, o jogador deve resolver operações matemáticas mentalmente, a tempo de eliminar o ataque de cada um dos inimigos que se aproximam. São eles: a abelha, que traz cálculo de adição; o fogo, que traz cálculo de subtração; o fantasma, que traz cálculo de multiplicação; a nave alienígena, que traz cálculo de divisão; a água, que traz expressão numérica de adição; e a mosca, que traz expressão numérica de subtração. Este jogo possui doze níveis, os quais o jogador só pode avançar em ordem; aparecem como dia 1, dia 2, e assim sucessivamente, registrando o recorde de cada dia (nível) e também o recorde total, permitindo o desafio de superá-lo a cada nova batalha (Silva; Scheffer, 2019, p. 161).</p> |

<sup>17</sup> “Expressão que denomina os jovens que nasceram nas últimas décadas e representam as primeiras gerações que viverão toda a sua vida cercados de ferramentas digitais” (Prensky, 2001 *apud* Silva, 2017, p. 15).

Quadro 13 - Jogos utilizados em A12 e em D1

| (conclusão)                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Cobrador de Ônibus</b></p>                | <p>Descrição: Este jogo simula o trabalho de um cobrador de ônibus, para isso é necessário prestar atenção no pagamento de cada cliente de acordo com a tabela de preços que aparece numa lista pendurada dentro do ônibus: o macaco terá que pagar apenas \$ 1,00 pela sua passagem, pois o mesmo irá descer bem antes do que o astronauta que terá que pagar \$ 2,00 e o coelho, que irá viajar mais tempo com a condução, deverá pagar \$ 4,00 pela viagem. É necessário fazer as contas matemáticas rapidamente e verificar se o valor pago está certo ou se está faltando para permitir ou não que os passageiros sigam a viagem. Possui níveis que aumentam de acordo com a pontuação e o jogador tem um total de três vidas, ou seja, duas chances de erro e na terceira é fim de jogo (Silva, 2017, p. 54).</p> |
| <p><b>Jogo Sjoelbak (Bilhar holandês)</b></p>  | <p>Descrição: O jogo exibe uma pista com discos para serem lançados com o auxílio do mouse em direção as casas numeradas de 1 a 4, sendo que a força do lançamento interfere na distância que o disco vai percorrer. As peças que não entram nas casas numeradas retornam ao ponto inicial para serem lançadas novamente, num total de três tentativas. É necessário criar estratégias para que haja o maior número comum de peças em todas as casas para que o valor das mesmas duplique, contabilizando o maior número de pontos para vencer seu adversário. Cada jogador é identificado através do nome e da torcida personalizada em cada fase do jogo (Silva, 2017, p. 56).</p>                                                                                                                                    |

Fonte: Elaboração própria (2024).

Figura 19 - Jogo Angry Birds Rio



Fonte: <https://www.minijogos.com.br/jogo/angry-birds-rio>. Acesso em: 2 jul. 2024.

D2 enfatiza a presença de jogos digitais no ambiente escolar visto que “a utilização de maneira adequada e planejada desses recursos possibilita a criação de

novos ambientes de aprendizagem e fomenta a autonomia e a capacidade reflexiva para vencer os desafios de uma sociedade informatizada como a nossa” (Cavalcante, 2018, p. 48). Em D1 a autora Silva (2017, p. 99) nos lembra que o emprego de atividades lúdicas no ensino de matemática pode ser “uma sugestão valiosa para o desenvolvimento das habilidades cognitivas de atenção e memória dos estudantes”, posto que a atenção é essencial para adquirir novos conhecimentos, enquanto a memória é crucial para reter informações. Assim, “juntas, a atenção e a memória alicerçam a aprendizagem, o que dá sentido a tudo o que somos e fazemos” (Silva; Scheffer, 2019, p. 169).

#### 4.2 OS OBJETIVOS DOS ESTUDOS MAPEADOS RELACIONADOS À MATEMÁTICA

Analisar os objetivos gerais das pesquisas é fundamental para compreender a direção e a intenção dos estudos realizados. Isso permite avaliar a relevância e a coerência das investigações em relação aos seus propósitos, contribuindo para a clareza e a profundidade dos resultados alcançados. Assim, apresentamos aqui os objetivos das pesquisas bibliográficas e de campo que estão associadas ao ensino e à aprendizagem de matemática.

Das 13 pesquisas bibliográficas, 10 exibem explicitamente objetivos que percorrem campos do ensino e da aprendizagem de matemática (Quadro 14), correspondendo a aproximadamente 77% dos trabalhos bibliográficos e 50% das obras em geral.

Os dois trabalhos que não mencionam a aprendizagem de matemática em seus objetivos são os artigos A8 e A19. O artigo A8 é o único trabalho do corpo de pesquisa que apresenta abordagem quantitativa, cujo objetivo geral era “comparar a produção acadêmica de neurociência no Brasil com outros países da América Latina nos últimos 16 anos” (Guimarães; Monteiro-Junior; Deslandes, 2014, p. 359). Já A19 visava “articular as contribuições da neurociência às práticas pedagógicas” (Costa, 2023, p. 1). O trabalho de Costa (2023) não está diretamente vinculado à matemática, ele é voltado para o ensino de maneira geral e traz, como questão problema, a seguinte indagação: “como a neurociência contribui com a aprendizagem em contexto escolar?” (Costa, 2023, p. 3).

Quadro 14 - Trabalhos bibliográficos cujos objetivos fazem referência ao ensino e à aprendizagem de matemática

| CÓDIGO | OBJETIVO GERAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A6     | "Desenvolver algumas estratégias geradas a partir de pesquisas em neurociências. Contribuir para o ensino e a aprendizagem da Matemática" (Mogollón, 2010, p.113).                                                                                                                                             |
| A10    | "Investigar a relação entre os Estilos de Aprendizagem e a Teoria das Múltiplas Inteligências no ensino da Matemática" (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 1).                                                                                                                                                 |
| CL1    | "Apresentar alguns resultados de pesquisas que [...] conseguiram mapear alguns comportamentos e processamentos das informações matemáticas" (Alvarenga, 2020, p. 2).                                                                                                                                           |
| A15    | "Apresentar diálogos da literatura com o tema e um panorama sobre como a Educação Matemática tem aberto espaço para as pesquisas que trazem contribuições para a aprendizagem de matemática por meio de artefatos da Neurociência Cognitiva" (Toledo; Lopes, 2020, p. 210).                                    |
| A16    | "Clarificar algumas construções mentais, respaldadas pelo significado cerebral da aprendizagem, que podem ser estimuladas nos estudantes da Educação Básica, em especial os que estão no Ensino Médio e preparam-se para ingressar em um curso da área de exatas no Ensino Superior" (Alvarenga, 2021, p. 21). |
| A17    | "Apresentar algumas diretrizes relacionadas à Neurociência Cognitiva, na formação de professores de Matemática" (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022, p. 1).                                                                                                                                             |
| M1     | "Analisar as contribuições da Neurociência à Educação Matemática em publicações científicas no período 2009-2021" (Menezes, 2021, p. 7).                                                                                                                                                                       |
| M2     | "Analisar as principais teorias de ensino e aprendizagem, baseando-se na neurociência, no intuito de contribuir com um aprendizado cada vez mais aprofundado na linguagem matemática pelos discentes" (Silva Júnior, 2021, p. 4).                                                                              |
| M3     | "Mostrar a importância da neurociência educacional para o processo de ensino e aprendizagem da matemática para adolescentes" (Mendes, 2022, p. 15).                                                                                                                                                            |
| D9     | "Selecionar e discutir evidências que demonstram a possibilidade de contribuição da Neurociência Cognitiva para a Aprendizagem em Matemática, no que diz respeito ao entendimento sobre as bases neurais da aprendizagem em Matemática" (Ribeiro, 2022, p. 7).                                                 |
| T2     | "Analisar a relação entre a neurociência e a aprendizagem matemática no ensino fundamental, em artigos de revistas brasileiras, dissertações e teses" (Pizyblski, 2020, p. 9).                                                                                                                                 |

Fonte: Elaboração própria (2024).

Os dados apresentados no Quadro 14 abrangem uma diversidade de temas relacionados à intersecção entre neurociência e ensino de matemática. Estudos como A6, A10, A17 e M1, em que se busca desenvolver estratégias específicas e/ou diretrizes para a formação de professores, sugerem a aplicação das neurociências cognitivas como suporte para metodologias de ensino para as aulas de matemática. Em A10, quando os autores investigaram a “relação entre estilos de aprendizagem e a Teoria das Múltiplas Inteligências” (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 1), criaram condições que possibilitam a conectividade entre teorias educacionais e conceitos de

neurociências cognitivas. De sorte, integrar conhecimentos de áreas distintas pode aprimorar o ensino de matemática e possibilitar avanços na prática pedagógica com base em descobertas neurocientíficas.

CL1 teve como foco a relação entre o ensino da matemática e o funcionamento do cérebro. Assim, mapeou “comportamentos e processamentos de informações matemáticas” (Alvarenga, 2020, p. 2) a fim de explorar como as neurociências cognitivas podem contribuir para a aprendizagem de matemática. Ademais, destaca a ativação de diferentes áreas cerebrais durante o estudo da matemática e enfatiza a importância de uma abordagem interdisciplinar que combine conhecimentos de matemática, psicologia e neurociência para promover a educação matemática.

Os objetivos de A15, A16 e D9 exploraram a aplicação da neurociência cognitiva na educação matemática. Eles discutem como artefatos e construções mentais podem ser utilizados para melhorar a aprendizagem, mostrando a importância de compreender as bases neurais do aprendizado matemático. Pesquisas sob essa ótica podem oferecer dados valiosos para adaptar métodos de ensino.

Embora não explicitamente mencionado nos objetivos de A16, o foco em construções mentais e significados cerebrais implicam o bem-estar e a motivação dos estudantes, fatores críticos no processo de aprendizagem, já que

[...] os sentimentos, [...] podem estimular a aquisição, a retenção, a evocação e a articulação das informações no cérebro. Diante desse quadro, precisamos incentivar e destacar a importância de contextos que ofereçam aos indivíduos os pré-requisitos necessários a qualquer tipo de aprendizado: interesse, alegria e motivação. Na verdade, até a razão é fortemente relacionada com a emoção. De um modo ou de outro, nossos atos e pensamentos são sempre influenciados pelas emoções (Alvarenga, 2021, p. 12).

As pesquisas M1, M2 e T2 envolveram análises bibliográficas e revisões de literatura, indicando um esforço em consolidar e sintetizar o conhecimento existente sobre as neurociências aplicado à educação matemática.

Dessa forma nota-se que os trabalhos analisados abordaram as neurociências cognitivas em diferentes níveis educacionais, variando desde a educação básica até cursos de formação de professores, o que reflete o potencial multifacetado que a neurociência pode apresentar. Contudo, embora frequentemente se observe um entusiasmo em torno das contribuições das neurociências cognitivas para a educação, é relevante esclarecer que elas não impõem novas práticas pedagógicas nem prometem soluções sensacionais para os desafios que o ensino e a aprendizagem

exibem. Todavia, podem contribuir para fundamentar práticas pedagógicas já bem-sucedidas e sugerir novas ideias para intervenções, demonstrando que as estratégias pedagógicas alinhadas com o funcionamento do cérebro tendem a ser mais eficazes (Cosenza; Guerra, 2011).

Como explicitado no item 4.1.2.5, entendemos a pesquisa CL2 apenas como estudo de campo, portanto, seus objetivos serão analisados juntamente com os demais estudos do mesmo tipo. Assim, dos 7 trabalhos que compõem o corpus de nossa investigação, em 5 deles os objetivos estão vinculados ao ensino e à aprendizagem de matemática (Quadro 15). Isso equivale a 71,4% das pesquisas de campo e a 25% do total de pesquisas.

Quadro 15 - Pesquisas de campo cujos objetivos fazem referência ao ensino e à aprendizagem de matemática

| CÓDIGO | OBJETIVO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A12    | "Apresentar um produto educacional referente a uma pesquisa desenvolvida no Programa de Pós-Graduação Profissional em Educação da Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Erechim" (Silva; Scheffer, 2019, p. 1).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| CL2    | "Ressaltar a utilização da neurociência na aprendizagem matemática em sala de aula para proporcionar o processo de ensino e aprendizagem" (Braun, 2022, p. 3).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| D1     | "Verificar as funções cognitivas de atenção e memória de estudantes em atividade com jogos digitais online de Matemática" (Silva, 2017, p. 8).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| D2     | "Apontar e analisar percursos metodológicos para a prática pedagógica de Matemática, usando alguns pressupostos da <i>gamificação</i> e da Neurociência no ensino de função quadrática" (Cavalcante, 2018, p. 8).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| D3     | "Identificar os conhecimentos necessários em relação à Educação e que, embasados nas Neurociências, possam fundamentar estratégias de ensino que estimulem e auxiliem o desenvolvimento dos processos ensino e aprendizagem da matemática. Compreender como esses saberes podem auxiliar os professores a desenvolverem suas aulas no sentido de levar o estudante a construir um estado de maior conhecimento, de maneira eficiente e proveitosa, evocando suas memórias para consolidar a aprendizagem da matemática" (Cembranel, 2018, p. 7). |

Fonte: Elaboração própria (2024).

Faz-se necessário observar uma conexão significativa entre as obras A12 e D1. Ambas são resultado de pesquisas acadêmicas conduzidas por Sindia Liliane Demartini da Silva, abordando temas ligados à educação e à cognição. Focam, sobretudo, em como o uso de tecnologias digitais, especificamente jogos, pode impactar as funções cognitivas relacionadas ao aprendizado de matemática. A12 trata da apresentação de um produto educacional desenvolvido em um programa de pós-

graduação profissional; D1 traz a investigação sobre os fundamentos cognitivos que justificam a criação deste produto. Tal pesquisa tem foco na verificação das funções cognitivas de atenção e memória de estudantes utilizando os jogos digitais Space Race e Batalha Matemática.

Nesse contexto, D1 fornece a base teórica e experimental para a criação do produto educacional apresentado em A12. Esta continuidade demonstra a evolução do trabalho da autora, desde a investigação inicial das funções cognitivas até a aplicação prática dos resultados em um contexto educacional, ilustrando um ciclo completo de pesquisa e aplicação.

Dentre os objetivos, nos trabalhos analisados, é perceptível o entusiasmo em apresentar as aplicações das neurociências cognitivas no processo de ensino e de aprendizagem da matemática, evidenciando um interesse comum em compreender como os princípios neurocientíficos podem otimizar a educação matemática. Isso foi explicitado, sobretudo, nos trabalhos CL2, D2 e D3. Já os estudos D1 e D2 trazem, como objetivos das pesquisas realizadas, a investigação e a utilização de tecnologias digitais, assim como a gamificação como ferramentas pedagógicas, o que mostra uma tendência em explorar métodos inovadores para criar condições que possam engajar o aprendizado dos estudantes. Em D2, única obra apontada como estudo etnográfico, isso fica bem evidente a partir da pergunta investigativa:

[...] como o professor pode aplicar, nas aulas de Matemática, as contribuições da Neurociência associadas aos elementos dos games, já que o sistema de ensino necessita de uma reformulação mais ampla, levando em consideração que o processo de aprendizagem é complexo, e o cérebro reage aos estímulos do meio onde os sujeitos estão inseridos? (Cavalcante, 2018, p. 15).

Em suma, D2 explorou maneiras de incorporar os *insights* da neurociência, especificamente relacionados à aprendizagem, aos elementos dos games e da gamificação no ensino de matemática. As implicações dessa pergunta incluem explorar como os jogos podem ser usados para potencializar a atenção dos estudantes, promover a resolução de problemas, reforçar conceitos matemáticos e facilitar a retenção de informações sob o olhar das neurociências cognitivas.

Tanto A12 quanto D1 e D2 compartilham o objetivo comum de aprimorar a educação matemática por meio da integração de novas tecnologias, metodologias inovadoras, assim como uma compreensão profunda dos processos cognitivos

envolvidos na aprendizagem. A12 e D1 exploram o uso de jogos digitais *on-line* para verificar as funções cognitivas de atenção e memória dos estudantes. Enquanto D2 menciona o uso da gamificação e da neurociência na prática pedagógica de matemática. Assim, em conjunto, as pesquisas destacam a importância de explorar e analisar diferentes abordagens de ensino para melhorar a prática pedagógica e o aprendizado de matemática.

As duas obras desvinculadas do ensino de matemática são as dissertações D4 e D5, as quais abordam o impacto de conhecimentos oriundos das neurociências cognitivas no processo de transmissão e captação de conhecimentos com foco em áreas específicas do saber. Em D4, sob a perspectiva do ensino de ciências, o objetivo era “investigar quais as contribuições direta e indireta dos conhecimentos neurocognitivos no processo de ensino e aprendizagem de conceitos biológicos” (Oliveira, 2018, p. 8). Em D5, já com olhar voltado para o ensino de química, objetivava “investigar os efeitos de recursos pedagógicos, como modelos moleculares físicos alternativos e virtuais (Realidade Aumentada), na aprendizagem e desenvolvimento de habilidades visuoespaciais associadas às noções de Geometria Molecular” (Silva, 2018, p. 7).

Ambos os estudos intentam, a partir dos seus resultados, melhorar o processo de ensino e de aprendizagem; enquanto D4 destaca a importância de compreender os processos cognitivos subjacentes, D5 enfatiza a importância de ferramentas pedagógicas inovadoras para o desenvolvimento de habilidades específicas. Assim, essas investigações se complementam, mostrando diferentes abordagens para a melhoria da educação por meio de estratégias baseadas em evidências, seja através da aplicação de princípios neurocognitivos ou da utilização de recursos pedagógicos avançados. Portanto, as contribuições apresentadas podem ser estendidas também à educação matemática, fazendo-se necessárias para a realização desta pesquisa.

#### 4.3 QUANTIDADE DE OBRAS

Quantificar as obras em relação ao ano de publicação nos permite entender a evolução e o contexto temporal dessas publicações em relação ao tema em estudo. Dessa forma, essa análise permite identificar padrões, tendências e variações ao longo do tempo. Seguindo esse pressuposto, apresentamos, nesse item, a

distribuição das obras ao longo dos anos e suas implicações para a pesquisa em questão (Tabela 9).

Tabela 9 - Quantidade de obras por ano

| ANO  | QUAIS OS ESTUDOS | QUANTOS ESTUDOS |
|------|------------------|-----------------|
| 2010 | A6               | 1               |
| 2014 | A8               | 1               |
| 2017 | D1               | 1               |
| 2018 | D2, D3, D4, D5   | 4               |
| 2019 | A10, A12         | 2               |
| 2020 | A15, T2, CL1     | 3               |
| 2021 | A16, M1, M2      | 3               |
| 2022 | CL2, D9, A17, M3 | 4               |
| 2023 | A19              | 1               |

Fonte: Elaboração própria (2024).

Os estudos mapeados pertencem ao recorte temporal 2010-2023. Ao analisar a quantidade de obras por ano observamos que sua distribuição ao longo desse período sofreu um aumento a partir de 2018, com picos em 2018 e em 2022, períodos em que foram registradas 4 obras em cada ano. Na sequência, observa-se os anos 2020 e 2021, com 3 registros cada. Os anos de 2010, 2014, 2017 e 2019 têm apenas 1 ou 2 obras registradas, indicando, possivelmente, uma menor atividade de publicação nesses anos.

#### 4.4 OS RESULTADOS DA BIBLIOGRAFIA SELECIONADA

É fundamental compreender as contribuições e possíveis conclusões de cada estudo analisado. Neste contexto, destacamos neste item os principais resultados apresentados pelos autores fornecendo uma visão detalhada das conclusões alcançadas e seu impacto na compreensão do tema investigado.

Diante dos resultados apresentados nas obras mapeadas, observamos que os autores são unânimes em afirmar que o ensino de matemática necessita de práticas pedagógicas que dialoguem com as novas demandas da sociedade. Nessa situação, as neurociências cognitivas podem ser aliadas se inseridas de maneira adequada no contexto escolar. Assim, a integração entre as neurociências cognitivas e a educação, sobretudo no ensino de matemática, perpassa por alguns pontos.

Um deles, ressaltado em grande parte dos estudos, é a formação de professores – seja a formação inicial, como evidenciado em A17, ou continuada, salientada em A6, A10, A15, A17, D3, D9 e T2. De forma harmônica, esses autores pontuam que o professor, sendo um dos principais participantes no processo de ensino e de aprendizagem, precisa dominar os conhecimentos frutíferos que emergem das neurociências cognitivas. Isso tendo em vista que, à medida que esses profissionais se aprofundam nestes conhecimentos, melhor eles conseguem perceber as potencialidades e limitações de seus estudantes frente à matemática.

Este fato é evidenciado com veemência em alguns trabalhos, como, por exemplo: em A6, onde o autor afirma que “os professores do futuro, sem dúvida, apoiarão sua didática em pesquisas relacionadas às neurociências” (Mogollón, 2010, p. 119); para os autores de A17, “os professores precisam ‘se tornar alfabetizados em neurociências’” (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022, p. 16).

No entanto, os autores têm consciência das dificuldades enfrentadas em relação à inserção dos conceitos neurocientíficos associados à aprendizagem. Aos olhos de Toledo e Lopes (2020, p. 212) “não se trata de incluir nos cursos de formação docente novas metodologias de ensino que negam todas as abordagens metodológicas historicamente construídas e legitimadas”, mas sim de integrar esses novos conhecimentos de forma complementar, enriquecendo as práticas pedagógicas existentes e promovendo uma visão mais ampla e fundamentada dos processos de ensino e de aprendizagem. Assim, o desafio reside em equilibrar a incorporação dos conceitos das neurociências com o respeito e a valorização das tradições educacionais estabelecidas, visando sempre a melhoria da qualidade educacional e o desenvolvimento pleno dos estudantes.

Outro ponto levantado pelos autores é a importância que funções executivas como atenção e memória exercem sobre a aprendizagem. A atenção é mencionada em 12 dos 20 trabalhos. Esses autores têm concepções semelhantes acerca da definição de atenção, isso se deve ao fato de que 7 deles buscaram embasamento nas contribuições de Cosenza e Guerra (2011). Por exemplo, Silva (2018, p. 67) compreende a atenção como “o processo de focalização da consciência em uma única tarefa”. Já para Menezes (2021, p. 21) a atenção “é responsável por selecionar um número limitado de estímulos, oriundos do meio externo ou produzidos no interior do indivíduo, permitindo um uso mais eficiente da capacidade limitada de processamento do cérebro”.

Já a memória é citada em 17 dos 20 trabalhos, sendo definida, em sua maioria, como a capacidade de armazenar informações para uso futuro. Essas definições originam-se de autores renomados como Cosenza e Guerra (2011), Izquierdo (2014) e Lent (2019), os quais foram os mais citados entre as pesquisas. Em A19, por exemplo, a autora enfatiza que, para que os estudantes possam reter e transformar informações em conhecimentos duradouros, é essencial que eles reflitam profundamente sobre o conteúdo aprendido. Além disso, o papel do professor é crucial ao proporcionar oportunidades para que os estudantes recuperem e aprofundem as informações assimiladas, reforçando, assim, o processo de aprendizagem (Costa, 2023).

Portanto, mediante as obras analisadas, compreendemos que as funções executivas, especialmente a atenção e a memória, são elementos fundamentais para a aprendizagem, destacando-se como áreas prioritárias para futuras investigações e intervenções pedagógicas. A relação entre a atenção e a memória é essencial para o processamento de informações pelo cérebro, desempenhando um papel importante na aprendizagem. A atenção, ao focar e filtrar informações relevantes, facilita a aquisição de novos conhecimentos, enquanto a memória, ao armazenar essas informações, garante a retenção e recuperação do que foi aprendido. Esse vínculo entre atenção e memória é fundamental na construção do conhecimento, pois permite que os novos conceitos sejam incorporados e aplicados de forma eficaz, fortalecendo a base para um aprendizado contínuo e profundo em matemática.

Em contrapartida, os estudos A6, A15, A16, A17, M3 e T2 são categóricos em afirmar que a ansiedade matemática influencia negativamente a compreensão do conhecimento. Em A16, com base nos seus estudos, a autora ressalta que a ansiedade na aprendizagem de matemática “não apenas dificulta o desenvolvimento aritmético nas crianças, mas também está associado à estrutura cerebral alterada em áreas relacionadas ao processamento do medo” (Alvarenga, 2021, p. 54). Esta fala pode ser exemplificada pelas imagens dispostas na Figura 20, que mostram a diferença entre os neurônios de um animal que provoca o estresse (da esquerda) e do que recebe o estresse (da direita). Percebe-se que o animal que está em papel dominador possui uma quantidade maior de dendritos realizando assim maior quantidade de sinapses comparado ao outro.

Figura 20 - Imagens de neurônios de um animal que provoca o estresse (lado esquerdo) e de um que recebe o estresse (lado direito)



Neurônio típico retirado de um animal com papel dominador.

Neurônio típico retirado de um animal com papel de subordinado.

Fonte: Jensen (2002 *apud* Alvarenga, 2021, p. 54).

Por fim, as pesquisas salientam que os desafios para essa nova área são diversos. Por um lado, há um entusiasmo exagerado acerca do que as neurociências oferecem à educação; por outro, um descaso em relação à aplicação prática e às limitações dessas descobertas. Portanto, é essencial encontrar um equilíbrio entre o otimismo e a crítica, valorizando tanto as promissoras contribuições das neurociências quanto a necessidade de uma abordagem cautelosa e fundamentada para que suas inovações realmente beneficiem os processos de ensino e de aprendizagem.

#### 4.5 RELAÇÕES ENTRE OS TERMOS “MATEMÁTICA”, “NEUROCIÊNCIAS” E “ENSINO” IDENTIFICADAS NOS TRABALHOS QUE FORMAM O CORPUS

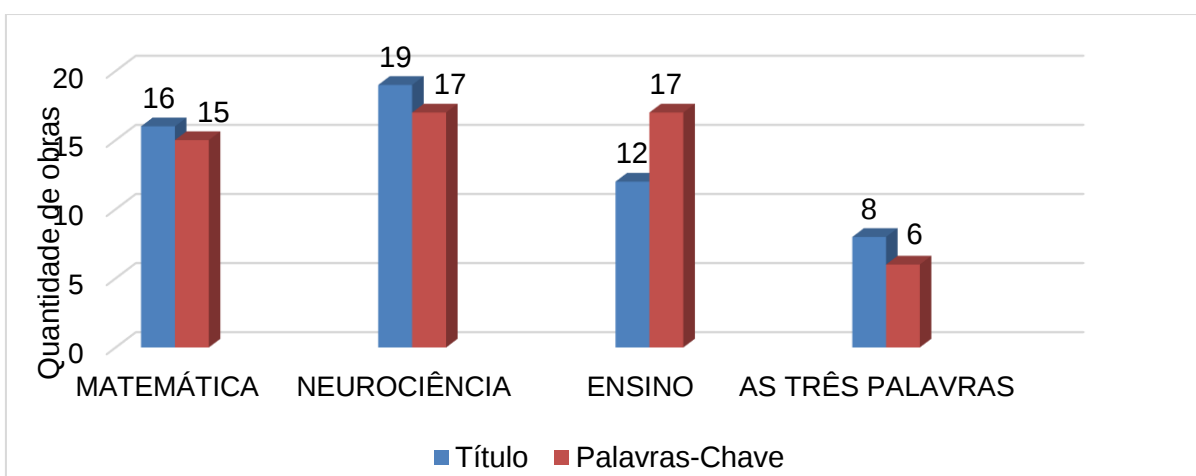
Explorar a relação entre os termos "matemática", "neurociências" e "ensino" é fundamental para compreender como esses campos interagem e se influenciam mutuamente. Esta análise permite investigar como os princípios e descobertas da neurociência podem informar e aprimorar métodos educacionais. Além disso, examinar como o ensino da matemática pode ser beneficiado com as perspectivas neurocientíficas ajuda a construir uma prática pedagógica de excelência para esta disciplina. Neste contexto, apresentamos neste item uma análise da intersecção entre esses termos, destacando suas implicações para a educação matemática.

A escolha por esses termos se deve ao fato de que observamos sua forte incidência nos títulos e palavras-chave das obras mapeadas. Este fato é justificado

pelo próprio processo de refinamento de escolha dos trabalhos retratado no item 4.1, pois, ao escolher os descritores "neurociências cognitivas e matemática", "matemática e cérebro", "neurociência e aprendizagem de matemática", "matemática e neurociências" e "neurociências cognitivas", restringimos os estudos a partir de palavras-chave pertinentes à temática definida, suas variações e suas correlações com os demais temas envolvidos na pesquisa, o que propiciou a seleção de obras com essa vertente.

Convictos de que a palavra “ensino” está intimamente relacionada ao contexto de ensino e de aprendizagem, com foco central no ensino de matemática, notamos, entre as obras mapeadas, a ocorrência das palavras “aprendizagem” e “educação”. De acordo com Lent (2019, p. 13), aprendizagem “envolve um indivíduo com seu cérebro, captando informações do ambiente, guardando-as por algum tempo e, eventualmente, utilizando-as para orientar seu comportamento subsequente”. Enquanto educação “é um modo socialmente estruturado de aprender, e de aprender a aprender” (Lent, 2019, p. 14). Amparados nisso, contabilizamos, em um mesmo grupo, a frequência em que aparecem os três termos: ensino, aprendizagem e educação, nomeando-o como “ensino”. Assim, o termo “ensino” aparece em 6 títulos e em 6 palavras-chave; “aprendizagem” está evidente em 6 títulos e em 8 palavras-chave e “educação” em 3 palavras-chave (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Frequência dos termos “matemática”, neurociência” e “ensino” nos títulos e nas palavras-chave dos resumos



Fonte: Elaboração própria (2024).

A análise do Gráfico 4 sugere as seguintes observações: a palavra “neurociência” é mencionada em 19 títulos e em 17 palavras-chave, o que indica que

apenas um trabalho não a cita explicitamente em seu título. Este trabalho é a monografia M3, de Aline Lisboa Mendes, a qual realizou uma pesquisa bibliográfica com abordagem qualitativa sob o título: “Neuroeducação no ensino da matemática para adolescentes”.

Respaldados pela obra de Alvarenga, Domingos e Cabrera Zuñiga (2022), assumimos a responsabilidade em considerar “neuroeducação” como uma variante de Neurociências Cognitivas, sendo esta uma nova área de conhecimento que contribui para compor o escopo da educação matemática, não somente, mas também. Nesse sentido, “o nome desta nova área muda consoante os investigadores; assim temos: Neuroeducação, Neurodidática, Neurocognição, Neurociência Educacional, Neuroaprendizagem, entre outras” (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022, p. 3). A escolha por usar diversos termos relacionados às neurociências cognitivas serve para enfatizar a amplitude e a diversidade da pesquisa nesta área. Isso pode ajudar a capturar as diferentes nuances e enfoques dos estudos que relacionam neurociências e educação, refletindo um esforço constante em entender a aprendizagem de matemática por meio de uma abordagem interdisciplinar.

A palavra “matemática” é citada em 16 títulos e em 15 palavras-chave. Os 4 trabalhos que não fazem menção à “matemática” em seus títulos são: os artigos A8 e A19 e as dissertações D4 e D5 (Quadro 16).

Quadro 16 - Trabalhos que não citam "matemática" em seus títulos

| CÓDIGO | ANO  | AUTOR                                                            | TÍTULO                                                                                                                                                                |
|--------|------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A8     | 2014 | GUIMARÃES, T. T.;<br>MONTEIRO-JUNIOR, R. S.;<br>DESLANDES, A. C. | A evolução da neurociência no Brasil: uma comparação com os países da América Latina nos últimos 16 anos.                                                             |
| D4     | 2018 | OLIVEIRA, C. M. De                                               | Contribuições da neurociência cognitiva para refletir sobre o processo de ensino e aprendizagem em ciências: conhecendo e reconhecendo as potencialidades do cérebro. |
| D5     | 2018 | SILVA, K. S. da                                                  | A neurociência cognitiva como base da aprendizagem de geometria molecular: um estudo sobre atributos do funcionamento cerebral relacionados à memória de longo prazo. |
| A19    | 2023 | COSTA, R. L. S.                                                  | Neurociência e aprendizagem.                                                                                                                                          |

Fonte: Elaboração própria (2024).

Conforme registrado na seção 4.1.2.1, A8 desenvolveu uma pesquisa do tipo bibliográfica com abordagem quantitativa, analisando as publicações sobre

neurociências nos países da América Latina. Os demais autores realizaram suas pesquisas com abordagens qualitativas, sendo A19 do tipo bibliográfica, propondo uma reflexão sobre como as neurociências podem contribuir para a prática pedagógica fornecendo estratégias que potencializam o aprendizado. D4 e D5 são pesquisas de campo, sendo que D5 tem um caráter experimental. A19 “apresenta noções da neurociência, como neuroplasticidade e funções nervosas superiores (atenção, memória, motivação, emoções e funções executivas), estabelecendo relações entre elas e a aprendizagem” (Costa, 2023, p. 1).

A8 e A19 são obras desvinculadas do ensino de matemática, mas se mostraram essenciais para a composição de nossa pesquisa, pois, como já destacado, elas abordam conceitos relevantes de neurociências cognitivas. A8 fez uma comparação entre as produções acadêmicas de neurociências do Brasil em relação aos países da América Latina. Enquanto, A19, recorrendo à revisão de literatura, elucidou “sobre como a neurociência, [...], coopera com a prática pedagógica, especialmente no que confere a estratégias que potencializam a aprendizagem e que, por assim ser, precisam ser levadas em consideração na docência” (Costa, 2023, p. 3).

A perspectiva comparativa de A8 pode ser útil para identificar padrões e diferenças da abordagem neurocientífica no ensino de matemática, dado que pesquisas sob essa vertente nos mostram “a atenção que os pesquisadores brasileiros têm conferido à neurociência e a relevância de se discutir os impactos desta importante tendência” (Guimarães; Monteiro-Junior; Deslandes, 2014, p. 361). A19 fornece informações relevantes sobre como as neurociências cognitivas podem influenciar a prática pedagógica, destacando a importância de estratégias educacionais que levem em consideração o funcionamento do cérebro, bem como as funções executivas, auxiliando educadores a compreender melhor como os processos cerebrais impactam a aprendizagem dos estudantes, o que pode promover reais aprendizagens.

D4 e D5 desenvolveram suas pesquisas sob a perspectiva do ensino de ciências. D4 utilizou, como campo de investigação, as aulas de ciências de uma turma de 7º ano do ensino fundamental. Enquanto D5 coletou dados de estudantes do 2º ano do ensino médio sob o suporte das aulas de química. Os pesquisadores dos dois trabalhos são também professores regentes das escolas onde as pesquisas foram realizadas.

A princípio, D4 traz, em seu texto, uma abordagem da história e da epistemologia das neurociências cognitivas, bem como suas implicações no ensino de ciências. Em seguida, discute as bases neurobiológicas da aprendizagem, relacionando-as ao processo de ensino em ciências e destacando conceitos de autores de renome como Lent (2010), Bear, Connors e Paradiso (2008), Gazzaniga, Ivry e Mangun (2006). Por fim, analisa e discute os dados obtidos à luz das fundamentações teóricas apresentadas. D5 investigou os efeitos de recursos pedagógicos na aprendizagem de Geometria Molecular. Para a execução de sua pesquisa utilizou a abordagem qualitativa e o método experimental apoiado na metodologia da engenharia didática clássica, de Michèle Artigue. Como produto, realizou uma sequência didática composta por três atividades com estudantes que já tinham conhecimentos prévios de geometria molecular.

Portanto, ao passo que os artigos foram desenvolvidos com foco nas neurociências cognitivas, as duas dissertações foram realizadas no âmbito educacional, com ênfase no ensino de ciências, mantendo uma conexão com a matemática. Embora a matemática seja uma ciência hipotético-dedutiva, é uma disciplina que não se restringe à quantificação de fenômenos determinísticos, como a contagem, a medição de objetos e grandezas. As estruturas matemáticas criam condições para organizar e inter-relacionar episódios referentes ao espaço, a movimento, formas e números, associados ou não a fatos do mundo físico. Assim, a matemática é essencial para a interpretação e explicação de variados aspectos da realidade (Brasil, 2018).

Analisar trabalhos sobre o ensino de ciências e de química é relevante para nossa pesquisa porque essas áreas estão profundamente interligadas no contexto educacional e cognitivo. A matemática é uma linguagem comumente usada para descrever, modelar e interpretar opiniões científicas em diversas disciplinas, incluindo a química e as ciências naturais. Ao explorar como a matemática é aplicada no ensino de ciências é possível compreender melhor as formas como os conceitos matemáticos são usados na prática para resolver problemas, realizar experimentos e explicar fatos naturais.

A palavra "ensino" está presente em 12 títulos, representando a menor frequência. Nas palavras-chave o termo aparece em 17 trabalhos, assim como a palavra "neurociências". Os três termos "matemática", "neurociência" e "ensino" aparecem conjuntamente em 8 títulos e em 6 palavras-chave. A combinação das três

palavras é menos comum devido aos critérios de seleção das obras supracitadas, restringindo a busca por descritores pertinentes à temática definida. Entretanto, foram consideradas suas variações e correlações com os demais temas envolvidos, o que favoreceu a seleção de estudos que abordam as neurociências cognitivas e o ensino de matemática, seja de forma conjunta ou isolada. Isso sugere que a maioria dos trabalhos tende a tratar esses tópicos de maneira mais isolada ou em outras combinações.

Assentados nesses resultados e após leitura exaustiva das obras mapeadas, elencamos alguns excertos que sintetizam as contribuições que esses autores nos deixam embasados nos conhecimentos fornecidos pelas neurociências cognitivas (Quadro 17). Sob a perspectiva dos autores estudados, essas contribuições oferecem condições para que educadores, ansiosos por metodologias de ensino que permitam uma aprendizagem matemática mais proveitosa, com menor resistência por parte dos estudantes e mais fluida, possam integrá-las em suas práticas pedagógicas.

Quadro 67 - Trechos que sintetizam os resultados apresentados pelos estudos mapeados

(continua)

|                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| “O professor também deve ajudar a descartar crenças, mitos e lendas sobre a aprendizagem da Matemática e manter uma atitude serena para com os seus alunos” (Mogollón, 2010, p. 120).                                                            | “O ensino da Matemática passa a tecer uma malha interdisciplinar com outras ciências, tornando-a uma ciência complexa, mas instigante para a pesquisa” (Mogollón, 2010, p. 114).                                                                                           | “O estudo do cérebro para as aulas de matemática trará muitas vantagens para os professores, que facilitará o desempenho dos alunos” (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 1).                                                                        |
| “A Matemática é frequentemente associada ao estresse, à frustração e ao confronto com tarefas que exigem estado de alerta, de tensão” (Alvarenga, 2021, p. 53).                                                                                  | “O ensino da Matemática desde seu primeiro contato deve estabelecer um processo de construção do conhecimento de modo dinâmico e integrado” (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 2).                                                                                        | “A matemática se torna fácil quando se compreende os conhecimentos fundamentais gradativamente e se vive prazerosamente esse processo” (Pizyblski, 2020, p. 230).                                                                                   |
| “Ninguém nasce sabendo matemática e ninguém nasce sem a capacidade de aprender matemática” (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022, p. 10).                                                                                                   | “A Matemática era a matéria cujos professores tinham as ideias mais fixas sobre quem podia ou não aprender tal disciplina” (Alvarenga, 2021, p. 52).                                                                                                                       | “A metodologia de ensino do professor deve beneficiar as características pessoais dos alunos diante ao conteúdo definido” (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 8).                                                                                   |
| “Conhecer como acontece a relação entre a aprendizagem e o nosso cérebro possibilitará desenvolver cada vez mais pesquisas que buscam aprimorar o ensino de matemática” (Toledo; Lopes, 2020, p. 211).                                           | “Pensar matematicamente mobiliza uma sensatez lógica, como em várias outras situações; porém, a Matemática tem uma linguagem própria, ela tem uma existência própria como ciência” (Alvarenga, 2021, p. 46).                                                               | “A aprendizagem de matemática requer a mobilização de vários sentidos, como o visual e ou o tato e ou a audição, além de ativar as áreas cerebrais responsáveis por tais sentidos” (Menezes, 2021, p. 24).                                          |
| “Fazer cálculos mentais utilizando as operações básicas, bem como fazer estimativas, caracterizam a necessidade do armazenamento de fatos numéricos na memória como função necessária para o bom desempenho em Matemática” (Silva, 2017, p. 81). | “Destaca-se a importância de que os professores de matemática promovam situações de ensino que favoreçam o estabelecimento de ligações entre os conteúdos já vistos e os que virão a ser ensinados, ampliando a rede neural de seus alunos” (Toledo; Lopes, 2020, p. 213). | “Se o professor de matemática descobrir como os alunos aprendem, saberá como ensinar e desenvolverá a capacidade do aluno de alcançar seu potencial, complementando também sua capacidade de aprendizagem” (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 24). |
| “A Matemática é considerada como uma ciência abstrata” (Ribeiro, 2022, p. 32).                                                                                                                                                                   | “Qualquer indivíduo pode aprender Matemática em altos níveis” (Alvarenga, 2021, p. 52).                                                                                                                                                                                    | “O ensino de matemática é uma atividade complexa” (Mogollón, 2010, p. 114).                                                                                                                                                                         |
| “A simples presença dos números não promove aprendizagem de matemática” (Cembranel, 2018, p. 34).                                                                                                                                                | “A memória de trabalho é responsável pela ansiedade matemática” (Mogollón, 2010, p. 116).                                                                                                                                                                                  | “É na alfabetização matemática que se desenvolve o senso numérico” (Cembranel, 2018, p. 34).                                                                                                                                                        |
| “Muitos estudantes enfrentam fobias desproporcionais e irracionais em relação à Matemática” (Mogollón, 2010, p. 119).                                                                                                                            | “O ensino da matemática tem como principal e forte elemento o desenvolvimento do raciocínio lógico” (Cembranel, 2018, p. 39).                                                                                                                                              | “O professor tem um árduo trabalho para conseguir transformar a matemática em algo divertido e prazeroso” (Braun, 2022, p. 38).                                                                                                                     |

Quadro 17 - Trechos que sintetizam os resultados apresentados pelos estudos mapeados

(continuação)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| “Pensar matematicamente tem influência da arte, da cultura, da sociedade de cada época, dos movimentos sociais e históricos. Requer criatividade, ousadia, curiosidade, motivação” (Alvarenga, 2021, p. 46-47).                                                                                      | “A Matemática em sua íntegra está passando por uma grande reformulação, não no sentido de exclusão de conteúdo ou afrouxamento no rigor, mas na forma como é vista e abordada pelos docentes e discentes” (Alvarenga, 2021, p. 48).                                                                      | “As pessoas, receptoras de diversas mensagens positivas e ensinamentos apropriados, podem ter sucesso em matemática e ter altos níveis de conhecimento nesta área” (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022, p. 9).                                                                                                |
| “O estudo do cérebro para as aulas de matemática trará muitas vantagens tanto para os professores, que facilitará o desempenho dos alunos, quanto para os alunos que poderão interagir e aprender de formas diferentes” (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 24).                                     | “A memória de trabalho assume um papel relevante para o cálculo e, de acordo com as novas abordagens neurocientíficas, deve ser considerada, sobretudo, no campo da educação matemática” (Mogollón, 2010, p. 116).                                                                                       | “As estratégias de aprendizagem, evocando as memórias em favor da aprendizagem significativa da matemática, podem ser classificadas como estimuladores de aprendizagem” (Cembranel, 2018, p. 82).                                                                                                                    |
| “A ansiedade matemática facilita a aprendizagem matemática de tarefas complexas” (Mogollón, 2010, p. 119).                                                                                                                                                                                           | “A fluência matemática pode ser analisada sob três aspectos: eficiência, acurácia e flexibilidade” (Menezes, 2021, p. 28).                                                                                                                                                                               | “O aprendizado e o ensino da Matemática estão intimamente relacionados aos sistemas sensorial e motor” (Mogollón, 2010, p. 119).                                                                                                                                                                                     |
| “A atenção e a memória são processos inter-relacionados, fundamentais no processamento de informações do cérebro e muito evidentes na aprendizagem matemática” (Silva; Scheffer, 2019, p. 152).                                                                                                      | “O professor de matemática deve analisar práticas significativas de ação em sala de aula que aumentem a capacidade de matematizar conjunturas reais” (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 23).                                                                                                            | “Uma educação matemática centrada na repetição pode impedir a manifestação da criatividade matemática, essencial para novas descobertas” (Alvarenga, 2020, p. 14)                                                                                                                                                    |
| “A neurociência está dando respostas para situações de grande interesse para os professores, por exemplo; há pesquisas que mostram que tanto um cérebro em maturação quanto um que já está maduro são estruturalmente modificados quando ocorre um evento de aprendizagem” (Mogollón, 2010, p. 115). | “Para aprender matemática, várias zonas cerebrais são solicitadas, o que implica uma grande demanda cognitiva, por mais simples que seja o estudo a ser empreendido e a aprendizagem de conteúdos mais complexos requer ainda maior quantidade de ativação e áreas envolvidas” (Alvarenga, 2020, p. 27). | “Ensinar Matemática é estender o conhecimento acerca de muitos fatores que o cérebro pode proporcionar ao ensino, ou seja, instigar o pensamento independente e coletivo, a criatividade e a habilidade de trabalhar com os diversos estilos de inteligência e aprendizagem” (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 3). |
| “Para produzir aprendizagem, em especial da matemática, nosso cérebro processa informações emocionais e cognitivas” (Alvarenga, 2020, p. 14).                                                                                                                                                        | “No ensino tradicional os alunos são apenas meros receptores de todo o processo que ocorre na sala de aula, pois cabe ao professor assumir todas as atividades” (Braun, 2022, p. 41).                                                                                                                    | “Para a aprendizagem da matemática, necessita-se que os estudantes desenvolvam certo grau de abstração para a melhor aprendizagem” (Cembranel, 2018, p. 41).                                                                                                                                                         |
| “A aprendizagem não está separada das emoções. Instruir as pessoas a descobrirem as suas emoções é tão importante para o ensino e a aprendizagem como o ensino de matemática e alfabetização” (Mogollón, 2010, p. 115).                                                                              | “O fenômeno ensino e aprendizagem é complexo e necessita de estudos constantes porque é dinâmico e deve acompanhar o curso do desenvolvimento humano” (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022, p. 3).                                                                                                 | “O ensino tradicional de matemática faz com que os alunos gastem seu tempo apenas resolvendo exercícios com papel e lápis, mas isolados em suas carteiras” (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022, p. 12).                                                                                                       |

Quadro 17 - Trechos que sintetizam os resultados apresentados pelos estudos mapeados

(continuação)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A “neurociência [...] se dedica a estudar as competências mentais do indivíduo, como pensamento, aprendizagem, inteligência, memória, linguagem e percepção” (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 6).                                                                                                              | “A neurociência é uma das áreas que mais cresce no mundo, entretanto, são escassos os estudos que avaliam o seu impacto em diferentes nações” (Guimarães; Monteiro-Junior; Deslandes, 2014, p. 359).                                                                                                                   | “Todo ser humano é capaz de aprender matemática, mas precisa ser adequadamente estimulado, encorajado por meio de técnicas visuais e, também, compreender que é uma disciplina aberta, flexível e criativa” (Ribeiro, 2022, p. 65).                                                                          |
| “Uma estratégia de ensino de Matemática deve ser direcionada às técnicas de relaxamento” (Mogollón, 2010, p. 120).                                                                                                                                                                                                | “O aprendizado deve estar associado com a vida, pois abrange vários aspectos do indivíduo” (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 8).                                                                                                                                                                                     | “A educação deve ter através dos conhecimentos científicos novos modelos de ensino” (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 8).                                                                                                                                                                                  |
| “As neurociências cognitivas ou neuropsicológicas são as que mais têm contribuído com suas pesquisas para o contexto educacional, tomando as emoções como variáveis” (Mogollón, 2010, p. 118).                                                                                                                    | “Os indivíduos aprendem de formas diversas, em tempos distintos, e que é necessário interesse pessoal (uma motivação intrínseca) para que uma aprendizagem profunda ocorra” (Costa, 2023, p. 5).                                                                                                                       | “Na maioria das escolas brasileiras e também nas estrangeiras o ensino de matemática está focado na memorização e na rapidez com que o aluno resolve problemas” (Ribeiro, 2022, p. 65).                                                                                                                      |
| “O ensino da matemática deve estar centrado na prática do sistema de memória.” (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022, p. 14).                                                                                                                                                                                | “Para as neurociências (neurobiologia) o aprendizado é melhor quando a emoção está envolvida” (Mogollón, 2010, p. 118).                                                                                                                                                                                                | “Os professores do futuro, sem dúvida, apoiarão sua didática em pesquisas relacionadas às neurociências” (Mogollón, 2010, p. 119).                                                                                                                                                                           |
| “Todos possuem capacidade de aprender e utilizam as mesmas funções para alcançar o conhecimento, embora de formas e em níveis diferentes” (Cembranel, 2018, p. 91).                                                                                                                                               | “As Neurociências não sugerem soluções definitivas, apenas novas ideias de intervenções, baseando-se na forma como o cérebro funciona” (Cembranel, 2018, p. 91).                                                                                                                                                       | “A educação promove aprendizagem e a neurociência cognitiva procura entender os processos mentais envolvidos na aprendizagem” (Silva, 2018, p. 50).                                                                                                                                                          |
| “A relação entre professor e aluno necessita de estar em sintonia para que ocorra uma eficiência no processo de ensino e aprendizagem” (Mendes, 2022, p. 40).                                                                                                                                                     | “A integração das neurociências e da educação é iminente, sendo necessária apenas a busca de um diálogo fluido e contínuo para alcançar essa fusão” (Mogollón, 2010, p. 121).                                                                                                                                          | “É um fato fundamental e já enfatizado pelas neurociências, o papel fundamental da emocionalidade no ensino e na aprendizagem” (Mogollón, 2010, p. 121).                                                                                                                                                     |
| “A Neurociência compactua com a Educação, pois desvendar os mistérios que envolvem os processos pelos quais o cérebro recebe, processa, organiza, armazena ou descarta as informações é campo de pesquisa dos cientistas, mas a conexão com os enlaces pedagógicos vai acontecer na escola” (Silva, 2017, p. 28). | “É preciso a junção de pesquisadores da área da Educação Matemática e da área da neurociência, como neurocientistas e psicólogos, de forma a juntos, poderem realizar pesquisas e produzir resultados que gerem um conhecimento suficientemente embasado e sustentado pelas duas áreas” (Toledo; Lopes, 2020, p. 227). | “As neurociências nos ajudam a entender melhor como ocorre o processo de aprendizagem e todo bom professor deve saber para que com uma prática pedagógica de excelência estimulem a geração de neurotransmissores que garantem sinapses adequadas no cérebro de nossos estudantes” (Alvarenga, 2020, p. 14). |
| “A neurociência cognitiva no campo educacional ainda não é uma realidade” (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 3).                                                                                                                                                                                                 | “A atenção e a memória são tratadas como coadjuvantes na aprendizagem matemática” (Silva, 2017, p. 40).                                                                                                                                                                                                                | “As Neurociências não fornecem estratégias de ensino” (Alvarenga, 2020, p. 13).                                                                                                                                                                                                                              |

Quadro 17 - Trechos que sintetizam os resultados apresentados pelos estudos mapeados

(continuação)

|                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| “A memória humana está diretamente relacionada à atenção,” (Costa, 2023, p. 11).                                                                                                                                                                                          | “O cérebro é o órgão da aprendizagem” (Silva Júnior, 2021, p. 7).                                                                                                                                                                                    | “A neurociência comprova um profundo vínculo entre cognição e emoção” (Costa, 2023, p. 15).                                                                                                                                                                        |
| “Embora o objetivo da neurociência não seja fornecer sugestões imediatas para a prática em sala de aula, ela pode ajudar a entender melhor os mecanismos cognitivos subjacentes à solução de problemas matemáticos” (Toledo; Lopes, 2020, p. 226).                        | “Evidências genéticas, neurobiológicas e epidemiológicas indicam que a aprendizagem matemática envolve ambos os hemisférios, embora a área parietotemporal apresente um especial significado” (Menezes, 2021, p. 33).                                | “As investigações e descobertas geradas pela neurociência ajudam a compreender os processos de aprendizagem dos alunos, com a intenção de ensiná-los de forma eficaz, prazerosa e adequada” (Mogollón, 2010, p. 115).                                              |
| “O avanço na elucidação de questões provenientes da neurociência é, portanto, impactante. Da otimização do aprendizado, memorização e funções mentais ao prolongamento da vida, os campos de aplicação são vastos” (Guimarães, Monteiro-Junior, Deslandes, 2014, p. 361). | “Elaborar ações educativas com base no conhecimento das Neurociências é dispor de ferramentas capazes de analisar o percurso da aprendizagem para que se alcance o potencial individual de desenvolvimento e aprendizagem” (Cembranel, 2018, p. 18). | “As neurociências concebem a aprendizagem como qualquer variação nas conexões sinápticas que produzem mudanças no pensamento e no comportamento, que podem ser gerados através de informações teóricas, práticas ou experiências de vida” (Alvarenga, 2020, p. 2). |
| “Inovações tecnológicas na neurociência compreendem benefícios educacionais, sociais, políticos, econômicos, morais e espirituais” (Guimarães; Monteiro-Junior; Deslandes, 2014, p. 360).                                                                                 | “A pesquisa em educação matemática e neurociências utiliza tradicional e inerentemente métodos diferentes” (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022, p. 17).                                                                                       | “É crucial que a formação de professores inclua aspectos da neurociência cognitiva como parte fundamental da sua formação” (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022, p. 15).                                                                                     |
| “A neurociência atualmente se torna uma ferramenta pedagógica matemática relevante para o aperfeiçoamento de habilidades e competências de raciocínio lógico matemático para o aluno” (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 3).                                             | “A neurociência cognitiva oferece uma série de ferramentas, metodologias e teorias para investigar processos cognitivos que ocorrem durante o pensamento e o aprendizado matemáticos” (Toledo; Lopes, 2020, p. 219-220).                             | “As Neurociências Cognitivas oferecem um relevante ponto de apoio para pesquisadores da área educacional que poderiam acessá-la para desenvolver suas próprias ferramentas metodológicas de pesquisa” (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022, p. 17).          |
| “As Neurociências não devem ser analisadas como disciplinas, mas sim como um conjunto de ciências cujo objeto de averiguação é o Sistema Nervoso Central” (Cembranel, 2018, p. 14).                                                                                       | “Os estudos de neurociência são caros, com custos de magnitude superiores aos estudos educacionais tradicionais” (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022, p. 18).                                                                                 | “O importante é um diálogo constante entre a Educação Matemática e as Neurociências Cognitivas fomentando juntas novas teorias de aprendizagem, em especial, matemática” (Alvarenga, 2020, p. 13-14).                                                              |
| “É preciso quebrar os “neuromitos” e velhas concepções” (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022, p. 18).                                                                                                                                                               | “É necessário que os docentes tenham acesso aos conhecimentos provenientes da neurociência” (Braun, 2022, p. 35).                                                                                                                                    | “A Neurociência define a aprendizagem como a modificação do cérebro pela experiência” (Silva, 2017, p. 38).                                                                                                                                                        |

Quadro 17 - Trechos que sintetizam os resultados apresentados pelos estudos mapeados

(conclusão)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| “A neurociência constata que aprender faz parte de todas as fases da vida; ocorre desde o nascimento e continua a se manifestar na fase adulta e no envelhecimento, ainda que de forma diversa” (Costa, 2023, p. 4).                                                                                     | “As pesquisas em neurociências têm contribuído para o conhecimento detalhado de como se caracteriza o cérebro e o seu funcionamento, o que pode colaborar no trabalho pedagógico” (Silva; Scheffer, 2019, p. 151).                     | “Quanto mais os professores compreendem princípios básicos das Neurociências, mais conseguem compreender as limitações e potencialidades durante os processos de ensino e de aprendizagem” (Cembranel, 2018, p. 91).                                                |
| “O que a neurociência evidencia é a importância da autogestão emocional para que as melhores decisões sejam tomadas não somente no contexto educacional, como em qualquer esfera da vida” (Costa, 2023, p. 15).                                                                                          | “Os resultados recentes das neurociências sobre a importância das emoções, dos sentimentos e da consciência do indivíduo na sua própria aprendizagem, também não se concretizaram” (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022, p. 18). | “As descobertas em Neurociências contribuem para a teoria e práticas educacionais, pois é no cotidiano escolar que se estabelecem grande parte das relações de aprendizagem” (Silva, 2017, p. 25-26).                                                               |
| “Os professores precisam “se tornar alfabetizados em neurociências”; e da mesma forma, aqueles que fazem estudos neurocerebrais e cognitivos precisam “se tornar alfabetizados em educação” para criar fortes laços de comunicação entre tais áreas” (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022, p. 16). | “Neurociência não se trata de uma Neuropedagogia, ou de uma nova tendência ou teoria da aprendizagem, mas um outro olhar, mais biológico e lógico sobre o ato de aprender” (Oliveira, 2018, p. 113).                                   | “Do ponto de vista das Neurociências, uma aprendizagem somente ocorre satisfatoriamente se o cérebro tiver a plasticidade necessária para se modificar e se reorganizar frente a estímulos e se fizer a adaptação desses novos estímulos” (Cembranel, 2018, p. 26). |
| “A aprendizagem ocorre por meio das redes cerebrais, onde há o tratamento de dados e informações” (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 5).                                                                                                                                                                | “Para ensinar não basta dominar as diversas técnicas de ensino e conhecer todos os conteúdos de sua área” (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 3).                                                                                      | “Os estudos das neurociências têm por base a interdisciplinaridade” (Oliveira, 2018, p. 15).                                                                                                                                                                        |
| “As Neurociências abrangem os estudos das funções cognitivas e do modo como o ser humano responde em relação aos estímulos” (Silva, 2017, p. 26).                                                                                                                                                        | “O processo de aprendizagem é definido pela neurociência como a modificação do cérebro proporcionado pela experiência” (Ribeiro, 2022, p. 36).                                                                                         | “A discussão da neurociência na educação ainda é recente” (Braun, 2022, p. 33).                                                                                                                                                                                     |

Fonte: Elaboração própria (2024)<sup>18</sup>.<sup>18</sup> Os trechos em destaque foram utilizados para embasar a construção do livro paradidático presente no Apêndice A.

Os estudos mapeados apresentam diversas percepções sobre a aprendizagem matemática. Os autores, em consenso, asseveram que os saberes das neurociências cognitivas podem orientar o ensino de matemática. No entanto, em alguns estudos fica evidente a consciência de que apenas o entendimento de como as informações são geradas e assimiladas pelo cérebro não será suficiente para resolver todos os problemas que o ensino de matemática enfrenta. Isso é perceptível, por exemplo, em CL1, quando a autora afirma que “as Neurociências não fornecem estratégias de ensino” (Alvarenga, 2020, p. 13), e em D3, que corrobora a essa ideia afirmando que “as Neurociências não sugerem soluções definitivas, apenas novas ideias de intervenções, baseando-se na forma como o cérebro funciona” (Cembranel, 2018, p. 91). Em nossas leituras também observamos essas afirmações em autores de renome, os quais dizem que

O cérebro não explica tudo sobre a educação. As descobertas da neurociência não resolvem todos os problemas da educação. Devem, no entanto, ser considerados como bases explicativas sobre as quais se organizam outros níveis mais globais, que envolvem as relações interpessoais e as relações sociais (Lent, 2019, p. 9).

Reafirmando as ideias de Lent (2019), Cosenza e Guerra (2011) salientam que, apesar de muitas vezes haver entusiasmo mediante as contribuições das neurociências para o campo educacional, é essencial entender “que elas não propõem uma nova pedagogia nem prometem soluções definitivas para as dificuldades de aprendizado” (Cosenza; Guerra, 2011, p. 142-143). As neurociências cognitivas agem como aliadas do professor para que estructurem suas metodologias de ensino, visto que, a aprendizagem de matemática envolve múltiplos sentidos e a ativação de diversas áreas cerebrais. Assim, ao conhecer o funcionamento do cérebro e como as emoções influenciam no aprendizado, o professor tem condições de preparar aulas diversificadas que podem vir a despertar, em seus estudantes, o fascínio por esta ciência tão bela.

Outro fato relevante evidenciado em diversos trabalhos é a forma como a matemática foi construída ao longo dos tempos, recebendo sempre o título de “disciplina difícil”, como aquela que quem consegue aprender detém algum tipo de “dom”. Jo Boaler é categórica em afirmar que “essa única crença – de que a matemática é um ‘dom’ que algumas pessoas têm e outras não – é responsável por grande parte do generalizado fracasso em matemática no mundo” (Boaler, 2018, p.

15<sup>19</sup>). Em sua obra a autora elenca, ainda, algumas concepções errôneas acerca da matemática influenciam negativamente em seu aprendizado (Quadro 18).

Quadro 18 - Concepções errôneas acerca da matemática

|                                                                                                                      |                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| “A matemática é representada como uma disciplina muito difícil, desinteressante, inacessível e apenas para ‘nerds’”. | “A matemática é diferente porque é uma disciplina de respostas certas e erradas”. |
| A matemática “não é para pessoas legais e encantadoras”.                                                             | “As pessoas que sabem fazer cálculos são as mais espertas ou inteligentes”.       |
| “A matemática é onipresente e ruim”.                                                                                 | A matemática “não é para meninas”.                                                |

Fonte: Adaptado de Boaler (2018, p. 15<sup>20</sup>).

Essas concepções são tão fortes que, mesmo sem a intenção de reforçá-las, elas ainda resistem. Neste contexto, encontramos, nos trabalhos mapeados, afirmações do tipo: “a Matemática é considerada como uma ciência abstrata” (Ribeiro, 2022, p. 32) e “O ensino de matemática é uma atividade complexa” (Mogollón, 2010, p. 114). Em A16 a autora Alvarenga (2021) endossa a fala de Boaler (2018) no que diz respeito ao “dom matemático” e cita pesquisas com professores universitários para investigar suas concepções acerca do “dom” de seus alunos nas disciplinas que ministram. Como resultado ela registra que os professores de matemática são os mais incisivos em apontar qual estudante era capaz de aprender.

Neste contexto, levanta-se observações sobre a ansiedade matemática que circula entre boa parte dos estudantes, interferindo na aprendizagem. Isso fica claro quando A16 assegura que “a Matemática é frequentemente associada ao estresse, à frustração e ao confronto com tarefas que exigem estado de alerta, de tensão” (Alvarenga, 2021, p. 53). Para A6, “a ansiedade matemática facilita a aprendizagem matemática de tarefas complexas” (Mogollón, 2010, p. 119), entretanto, A15, A16, A17, M3 e T2 são categóricos em afirmar que a ansiedade matemática pode gerar uma má influência para a aprendizagem, dado que, “muitos estudantes enfrentam fobias desproporcionais e irracionais em relação à Matemática” (Mogollón, 2010, p. 119). Cosenza e Guerra (2011) alertam que, para que haja aprendizagem

<sup>19</sup> A página referenciada diz respeito à introdução da obra. Essa nota é pertinente tendo em vista que a numeração da página citada se repete no primeiro capítulo da obra.

<sup>20</sup> Idem.

O estresse deve ser identificado e evitado. As situações que mais frequentemente causam estresse são aquelas em que o indivíduo se julga desamparado, quando encontra dificuldades que não consegue superar ou julga que são incontornáveis. Ameaças ou chacotas vindas de colegas ou do próprio professor, excessos na disciplina ou no processo de avaliação, bem como dificuldades acadêmicas mal resolvidas podem ser fonte de estresse (Cosenza; Guerra, 2011, p. 84).

Desse modo, as emoções, enquanto fenômeno primordial de nossa existência, precisam ser observadas no ambiente escolar. O que os estudos sobre as neurociências sugerem é que o professor, tendo o conhecimento de como o sistema nervoso central do estudante se comporta durante as atividades de matemática, assim como da relevância que as emoções têm sobre o aprendizado desse estudante, poderá criar um ambiente escolar estimulante propício à aprendizagem. Isso partindo do pressuposto de que “o aprendizado deve estar associado com a vida, pois abrange vários aspectos do indivíduo” (Araújo; Menezes; Bezerra, 2019, p. 8).

Contudo, de acordo com D9, em grande parte das escolas (não apenas brasileiras), o ensino de matemática tem como foco a memorização e a rapidez com que o estudante resolve problemas matemáticos. Desse modo, o modelo de ensino tradicional que permeia essas escolas “faz com que os alunos gastem seu tempo apenas resolvendo exercícios com papel e lápis, mas isolados em suas carteiras” (Alvarenga; Domingos; Cabrera Zuñiga, 2022, p. 12). Boaler (2018) contesta esse fato, frisando a importância das discussões em grupo ou da classe inteira, em razão de serem “encontros em que os alunos aprendem a raciocinar e a criticar o raciocínio uns dos outros” (Boaler, 2018, p. 28).

Mais uma vez recaímos sobre a concepção de que o ambiente escolar precisa de reformulações para atender com eficiência as demandas dos estudantes. “No ensino tradicional os alunos são apenas meros receptores de todo o processo que ocorre na sala de aula, pois cabe ao professor assumir todas as atividades” (Braun, 2022, p. 41). Essa abordagem passiva pode levar à desmotivação e à falta de engajamento dos estudantes, que não se veem como participantes ativos de seu próprio aprendizado. Para transformar essa realidade é fundamental implementar metodologias de ensino que promovam a autonomia dos estudantes, incentivando a curiosidade, a colaboração e o pensamento crítico, dado que “todo ser humano é capaz de aprender matemática, mas precisa ser adequadamente estimulado, encorajado por meio de técnicas visuais e, também, compreender que é uma disciplina aberta, flexível e criativa” (Ribeiro, 2022, p. 65).

Todavia, durante a análise das obras mapeadas sentimos um crescente descontentamento por constatar que muitos dos estudos não atendem ao que seus títulos prometem, pois pouco ou nada abordam sobre a neurociência de fato. O refinamento inicial se deu a partir da leitura dos títulos e resumos, porém, quando adentramos nos textos ficou evidente que as “neurociências” não passaram desses itens. Em alguns trabalhos observamos a construção de jogos educacionais e a análise do desempenho dos estudantes, seguidas da conclusão frequente de que estes não demonstraram motivação ou atenção adequada.

Em geral, as pesquisas recomendam uma modificação nas metodologias de ensino dos professores, sem, contudo, aprofundar nas bases neurocientíficas que poderiam informar tais mudanças. Essa lacuna na abordagem crítica e científica sobre a aplicação das neurociências à educação matemática deixa evidente a necessidade de estudos mais rigorosos e pertinentes na área. Alguns autores reconhecem essa necessidade: CL2, por exemplo, cita que “a discussão da neurociência na educação ainda é recente” (Braun, 2022, p. 33). Já para A15 “é preciso a junção de pesquisadores da área da Educação Matemática e da área da neurociência, [...], de forma a juntos, poderem realizar pesquisas e produzir resultados que gerem um conhecimento suficientemente embasado e sustentado pelas duas áreas” (Toledo; Lopes, 2020, p. 227).

#### 4.6 PROPOSTA DE LIVRO PARADIDÁTICO

Um aspecto fundamental deste capítulo é que ele forneceu os subsídios necessários para a elaboração de um livro paradidático (Apêndice A). As conclusões aqui apresentadas foram o ponto de partida que nos motivou a estruturar o livro de maneira simples, mas acessível a toda a comunidade educacional.

Essa obra é o resultado das inúmeras leituras e reflexões realizadas ao longo da investigação, consolidando os conhecimentos adquiridos em um material prático e envolvente. Nosso principal objetivo é demonstrar que compreender melhor o funcionamento do próprio organismo pode ser um caminho poderoso para superar dificuldades e perceber que todos têm potencial para aprender matemática. Ao aproximar conceitos das Neurociências Cognitivas do universo escolar, esperamos incentivar os estudantes a valorizar suas capacidades e desenvolver uma relação mais positiva com a matemática.

O livro, sob o título: ENTRE MATEMÁTICA E NEURÔNIOS: UMA JORNADA DE DESCOBERTA, aborda temas que sugerem a superação das dificuldades encontradas por estudantes que não se identificam com a matemática e revela a importância do esforço contínuo tanto desses estudantes quanto de seus professores, de modo a desmistificar a matemática.

Dessa forma, esperamos que este material possa servir de inspiração para que a matemática seja vista como uma disciplina capaz de ir além das salas de aula e conectar-se com o cotidiano e os interesses dos estudantes. Neste contexto, o livro busca promover uma visão mais positiva e inclusiva da matemática, enfatizando sua aplicabilidade prática e seu papel no desenvolvimento do raciocínio lógico e crítico.

O livro também destaca o papel das neurociências cognitivas na aprendizagem, mostrando como o entendimento do funcionamento do cérebro pode ajudar alunos e professores a explorarem novas estratégias para superar desafios. Esperamos que esta obra contribua para transformar a relação dos estudantes com a matemática, incentivando a curiosidade, a confiança em suas capacidades e a motivação para o aprendizado contínuo.

---

## 5 REFLEXÕES

---

Esta pesquisa teve início a partir da experiência docente da pesquisadora, ao se inquietar frente ao modo como a disciplina de matemática é refutada por um percentual significativo de estudantes da educação básica. Esta disciplina é conhecida por ser uma ciência envolta em cálculos, regras e fórmulas; uma disciplina que tem a função de “aterrorizar” os estudantes com extensas listas de exercícios e conceitos a serem memorizados. Com essas ações, nós, professores, colhemos uma aprendizagem aquém do satisfatório e, muitas vezes, alimentamos, nesses indivíduos, a ansiedade matemática, a baixa autoestima e um grande desinteresse, os quais estão associados a alterações na estrutura cerebral em áreas relativas ao medo. Dependendo da intensidade, pode-se criar aversão à matemática, que poderá ser levada para toda a vida.

Desse modo, nossa vivência nos despertou o desejo de experimentar metodologias de ensino que nos permitam compartilhar, com nossos alunos, a magnitude que a matemática representa de uma maneira mais serena. Sob essa perspectiva, encontramos, nas neurociências cognitivas, respostas que nos conduzem a um possível caminho para que isso se concretize. Por isso a escolha do tema de nossa pesquisa: uso das neurociências cognitivas como suporte metodológico para o ensino de matemática.

Diante disso, a pesquisa teve como objetivo geral elencar e analisar as possíveis contribuições das neurociências cognitivas encontradas nos estudos mapeados para o ensino e a aprendizagem de matemática. Constatamos que o objetivo geral foi atendido, pois, ao término da análise das pesquisas mapeadas, tivemos condições de selecionar trechos que sintetizam as contribuições que esses estudos deixam para a comunidade científica no sentido de aperfeiçoar o ensino e a aprendizagem de matemática. Um exemplo é que constatamos que o estudo do cérebro tem grande relevância no meio educacional, tanto para professores quanto para estudantes, tendo em vista que práticas de ensino com foco na atenção e na memória, por exemplo, podem ser classificadas como estimuladores de aprendizagem (Cembranel, 2018; Araújo, Menezes, Bezerra, 2019).

O objetivo específico inicial foi o de mapear trabalhos de neurociências cognitivas que podem dialogar com a aprendizagem de matemática. Ele foi atendido no momento de seleção das obras selecionadas para o estudo. Estas foram escolhidas a partir de descritores que nos levaram às pesquisas com foco nas neurociências cognitivas e no ensino de matemática. Os descritores utilizados foram "neurociências cognitivas e matemática", "matemática e cérebro", "neurociência e aprendizagem de matemática", "matemática e neurociências" e "neurociências cognitivas". Após a primeira seleção, fizemos o processo de refinamento e concentramo-nos especificamente em estudos que tratam das neurociências aplicadas ao ensino, especialmente no contexto da matemática. Após a leitura das obras, observamos que, mesmo utilizando os descritores supracitados, colhemos trabalhos em que algumas temáticas se repetiam e alguns que não eram relevantes para nosso estudo.

O segundo objetivo específico foi conhecer os aspectos fisiológicos do cérebro, os quais formam a base para a aprendizagem. Esse objetivo foi atendido no decorrer do primeiro capítulo, quando apresentamos os achados e as teorias que moldaram a compreensão que hoje temos em relação ao funcionamento cerebral. Além disso, estabelecemos os alicerces conceituais essenciais, delineando o sistema nervoso central, a estrutura e função dos neurônios, o papel das sinapses e das emoções na aprendizagem. Os autores das obras mapeadas também partiram desse pressuposto para desenvolver suas pesquisas, nas quais identificamos esses conceitos e sua intrínseca relação com a aprendizagem.

O terceiro objetivo, destacar os trabalhos que de forma direta ou indireta influenciam no ensino e na aprendizagem de matemática, foi atendido após os processos de refinamento para composição do corpus de nossa pesquisa. A primeira seleção elencou pesquisas que relacionam as neurociências, a matemática e o ensino e a aprendizagem, em conjunto ou não; no entanto, ao aprofundar as leituras, identificamos quais pesquisas apresentam uma relação mais próxima entre as neurociências e a aprendizagem de matemática e priorizamos estas para a composição do corpus da investigação.

O quarto objetivo foi descrever as abordagens teóricas da neurociência para a aprendizagem de matemática. Este objetivo foi alcançado no decorrer das análises realizadas no terceiro capítulo. A partir do conjunto de dados coletados pudemos

evidenciar em quais deles a influência no ensino e na aprendizagem de matemática ficou evidenciada.

A pesquisa partiu da hipótese de que os aspectos cerebrais influenciam a aprendizagem de matemática, visto que as neurociências cognitivas compõem um campo interdisciplinar que combina conhecimentos de áreas distintas de modo a investigar como o cérebro realiza funções cognitivas. O discernimento de que as funções cognitivas são moldadas por diversos estímulos e, portanto, podem ser ensinadas, podem orientar as práticas pedagógicas no ensino de matemática. De modo que, se os professores conhecerem bem esses conceitos e o ambiente escolar propiciar estratégias de ensino que promovam o desenvolvimento das funções executivas no sentido de despertar a atenção e promover a memória de longo prazo dos estudantes, podemos ter, em algum momento, um ensino de matemática mais proveitoso.

Portanto, as funções executivas, isto é, o repertório de habilidades e competências que nos capacitam a realizar as ações necessárias para alcançar um objetivo, exercem papel fundamental no processo de aprendizagem e isso deve ser apresentado aos profissionais da educação, pois é na escola que se formam os indivíduos responsáveis por desempenhar grandes funções no futuro.

Durante o desenvolvimento do trabalho constatamos que, para produzir aprendizagem em matemática, nosso cérebro processa informações tanto emocionais quanto cognitivas. Isso evidencia que a aprendizagem está vinculada à plasticidade cerebral, que pode ocorrer de forma natural, mas também pode ser desenvolvida. Nesse sentido, é importante orientar as práticas educacionais com base nas neurociências cognitivas, utilizando mecanismos capazes de analisar o percurso da aprendizagem para atingir o potencial individual de desenvolvimento e aprendizagem.

Dessa forma, concluímos que a hipótese foi confirmada, pois os estudos mostraram que o cérebro é o órgão da aprendizagem e as emoções são essenciais para que ela se desenvolva. Novas estratégias de ensino, formação continuada dos professores, ambiente escolar que propicie a autonomia do estudante incentivando a curiosidade, a colaboração e o pensamento crítico, são sugestões que demonstram como as neurociências cognitivas podem colaborar com o ensino de matemática. Conhecer quais partes do cérebro são ativadas em cada momento de estudo permite, ao professor, conduzir com maestria a construção do conhecimento matemático pautado na experiência e na motivação. Cosenza e Guerra (2011) reforçam que o

cérebro foi feito para aprender, mas para que isso ocorra é preciso que haja motivação.

Ao revisitar a pergunta norteadora desta pesquisa: “Quais as possíveis contribuições dos estudos selecionados para o ensino e a aprendizagem de matemática?”, sem a intenção de esgotar completamente a discussão, reiteramos que a revisão bibliográfica forneceu subsídios para que pudéssemos perceber, nos estudos mapeados, diferentes entendimentos em relação à aprendizagem de matemática. De forma geral, os autores comungam da ideia de que os achados das neurociências cognitivas, associados a práticas de ensino, podem alavancar o ensino de matemática, mas são conscientes de que isso não resolverá todos os problemas nos quais a educação está imersa. O que fica evidente é o movimento de pesquisadores que veem, nas neurociências cognitivas, um caminho a mais que pode vir a colaborar com os já trilhados para que a aprendizagem de matemática se torne mais efetiva.

A metodologia de pesquisa utilizada foi do tipo bibliográfica, com abordagem qualitativa, sendo exploratória e descritiva. As obras foram mapeadas e categorizadas com base nas escolhas metodológicas de pesquisa; nos seus objetivos; na quantidade de obras produzidas no recorte temporal; nos resultados que emergiram desses trabalhos; na relação entre a frequência em que aparecem os termos “matemática”, “neurociências” e “ensino”; e no que isso pode influenciar nos resultados.

A princípio, fizemos uma busca nas plataformas digitais Google Acadêmico, Scielo, BDTD e Periódicos da Capes usando os descritores “neurociências cognitivas e matemática”, “matemática e cérebro”, “neurociência e aprendizagem de matemática”, “matemática e neurociências” e “neurociências cognitivas”. Selecionamos, inicialmente, 47 trabalhos, entre artigos, capítulos de livros, monografias, dissertações e teses por meio da leitura dos títulos e resumos. Após uma primeira análise, esse corpus foi reduzido a 20 obras, que foram mantidas até o fim da investigação.

Essas obras foram organizadas em dois quadros para facilitar a análise. No primeiro as obras foram organizadas em relação ao tipo de publicação (artigo, dissertação etc.). Os trabalhos foram nomeados em ordem cronológica, de acordo com sua data de publicação (A<sub>1</sub>, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, ...). Nesse quadro foram evidenciados os autores, a fonte de publicação, o título, o resumo e as referências. O segundo quadro foi construído com olhar mais apurado nas metodologias de pesquisa utilizadas em

cada caso. A ênfase foi nos objetivos e no tipo/metodologia de pesquisa, assim como nos participantes envolvidos, em caso de pesquisas de campo. Em ambos os quadros deixamos um espaço para que pudéssemos descrever impressões consideradas relevantes. Em seguida foi realizada uma leitura aprofundada desses trabalhos, os quais foram mapeados e analisados, extraíndo daí as conclusões de nossa investigação.

No processo de coleta de dados encontramos desafios ao selecionar os trabalhos apenas pelos títulos e resumos. Muitos estudos não correspondem ao que seus títulos sugerem e a falta de padronização nos resumos<sup>21</sup> dificultou uma análise completa. Alguns resumos são excessivamente sucintos, enquanto outros são confusos ou incompletos, deixando de fornecer informações essenciais sobre o tipo de pesquisa, os procedimentos de coleta de dados, os resultados e até mesmo sobre os objetivos do estudo. Por isso, foi necessário ler o texto na íntegra, já que a ausência de informações no resumo não significa necessariamente que o mesmo se aplica ao conteúdo do texto. Essa falta de clareza pode indicar que questões relacionadas à perspectiva e ao posicionamento epistemológico ou teórico não estão bem definidas nem mesmo para o próprio pesquisador. Em outras palavras, o autor pode não ter conduzido suas análises com base em um referencial teórico escolhido deliberadamente, o que pode acarretar uma falta de consistência teórica.

Diante do exposto, é pertinente ressaltar que, de forma unânime, os trabalhos analisados argumentam em favor de uma relação positiva entre as neurociências e a aprendizagem. Contudo, nas análises dos dados de alguns não foi possível identificar de maneira clara como essa interação se manifesta na prática. Reconhecemos que os estudos em neurociências aplicados ao contexto educacional são ainda recentes e, por essa razão, exigem investigações mais aprofundadas para que suas

---

<sup>21</sup> A “NBR 6028 - Resumo, resenha e revisão”, atualizada em 2021, estabelece os requisitos para redação e apresentação de resumos, resenhas e revisões. O resumo é a apresentação concisa dos pontos relevantes de um documento e deve ressaltar sucintamente o conteúdo de um texto. Deve ser composto por uma sequência de frases concisas em parágrafo único, sem enumeração de tópicos e com verbos em terceira pessoa. Pode ser indicativo – indica apenas os pontos principais do documento, sem detalhamentos, como dados qualitativos ou quantitativos; ou informativo – informa finalidades, metodologia, resultados e conclusões do documento, de tal forma que possa, inclusive, dispensar a consulta ao original. Em documento técnico ou científico é recomendado usar o resumo informativo. O tamanho varia conforme o tipo de documento: de 150 a 500 palavras nos trabalhos acadêmicos e em relatórios técnicos e/ou científicos; de 100 a 250 palavras nos artigos de periódicos; de 50 a 100 palavras nos documentos não contemplados nas alíneas anteriores (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021).

contribuições para o ensino e aos processos de aprendizagem da matemática sejam plenamente elucidadas.

Nas pesquisas de campo os autores frequentemente destacam a importância de elaborar atividades pedagógicas fundamentadas nas funções executivas do cérebro, como atenção e memória. No entanto, ao analisarmos as atividades propostas, não conseguimos identificar a presença concreta dessas influências em alguns trabalhos. O que se observa, em muitos casos, são atividades matemáticas comuns ou jogos já disponíveis na internet, acompanhados por uma análise superficial das funções cognitivas envolvidas.

De posse das análises aqui dispostas, temos condições de advogar sobre a influência positiva que as neurociências cognitivas exercem na educação matemática. Os resultados obtidos evidenciam a importância de integrar conhecimentos neurocientíficos aos processos de ensino e de aprendizagem, fornecendo subsídios para práticas pedagógicas mais eficazes. A partir das obras mapeadas e dos dados analisados, observamos que a aplicação de princípios neurocientíficos pode contribuir significativamente para a compreensão dos mecanismos de aprendizagem, possibilitando a criação de estratégias didáticas que atendam melhor às necessidades dos estudantes, mitigando falsas crenças sobre o aprender matemática. Essas conclusões reforçam a relevância da interdisciplinaridade entre as neurociências e a educação, sugerindo um caminho promissor para inovações pedagógicas futuras.

No processo de aprendizagem o professor é essencial. O domínio dos conceitos e do conhecimento sobre aprendizagem, assim como a aplicação eficaz de métodos pedagógicos, contribuem para uma aprendizagem significativa, com potencial para gerar resultados positivos. É imperativo que a formação de professores seja orientada pela pesquisa científica e incorporada à prática cotidiana. Desta forma é possível compreender melhor o processo de aprendizagem e desenvolver um planejamento pedagógico que efetivamente favoreça o sucesso do aluno.

Salientamos que a interação entre os dois campos, neurociências cognitivas e ensino de matemática, é ainda incipiente. Estamos apenas no início de uma nova era, em que a influência das emoções na aprendizagem de matemática será respeitada. Não podemos deixar de sublinhar que houve um considerável avanço com o desenvolvimento de aparelhos que permitem um mapeamento mais refinado e profundo do cérebro em seu funcionamento. Para que mais avanços emerjam é preciso que pesquisadores dos dois campos se voltem para pesquisas nessa ótica a

fim de construir modelos teóricos que sirvam de inspiração para os professores utilizarem em suas aulas. Esperamos que a investigação aqui apresentada incentive mais discussões sobre as contribuições das Neurociências Cognitivas para o ensino e a aprendizagem de matemática, despertando, em outros pesquisadores, o interesse por essa temática e pela possibilidade de novas pesquisas nesse campo. Assim como esperamos contribuir para com os professores de matemática e para a aprendizagem de matemática.

---

## REFERÊNCIAS

---

- ALVARENGA, K. B. Maneiras de avançar o pensamento matemático na educação básica com respaldo das neurociências. *In*: FARIA, E. C.; GONÇALVES JÚNIOR, M. A.; MORAES, M. G. (org.). **A educação matemática na escola**: pesquisas e práticas goianas. Goiânia: CIAR/UFG, 2021. p. 44-48. Disponível em: [https://publica.ciar.ufg.br/ebooks/ebook\\_a\\_educacao\\_matematica\\_na\\_escola/05.htm](https://publica.ciar.ufg.br/ebooks/ebook_a_educacao_matematica_na_escola/05.htm). Acesso em: 5 ago. 2023.
- ALVARENGA, K. B. Neurociência cognitiva e matemática. *In*: NEVES, R. da S. P.; DÖRR, R. C. (org.). **Cenários de pesquisa em educação matemática**. 1. ed. Jundiaí, SP: Paco Editorial, 2020.
- ALVARENGA, K.; DOMINGOS, A.; CABRERA ZUÑIGA, D. Neurociencias cognitivas en la formación de profesores de matemática. **Unión**: Revista Iberoamericana de Educación Matemática, San Cristóbal de la Laguna, v. 18, n. 65, p. 1-21, ago. 2022. Disponível em: <https://revistaunion.org/index.php/UNION/article/view/460>. Acesso em: 12 jun. 2023.
- ALVES, R. **O desejo de ensinar e a arte de aprender**. Campinas: Fundação Educar DPaschoal, 1991.
- ALVES-MAZZOTI, A. J. O método nas ciências sociais. *In*: ALVES-MAZZOTI, A. J.; GEWANDSZNAJDER, F. **O método nas ciências naturais e sociais**: pesquisa quantitativa e qualitativa. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 2001.
- AMTHOR, F. **Neurociência para leigos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2017.
- ANDRÉ, M. E. D. A. de. **Etnografia da prática escolar**. Campinas: Papirus, 1995.
- ARAÚJO, F. G. da S.; MENEZES, D. B.; BEZERRA, K. de S. Neuroscience and the teaching of mathematics: a study on learning styles and multiple. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 8, n. 12, p. e198121670, 2019, DOI 10.33448/rsd-v8i12.1670. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/1670>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- ARMSTRONG, T. J.; VERONESE, M. A. V. **Inteligências múltiplas na sala de aula**. Porto Alegre: Artmed, 2001.
- ARTIGUE, M. Ingénierie Didactique: Recherches en Didactique des Mathématiques. **Grenoble**: La Pensée Sauvage-Éditions, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 281-308, 1998. Disponível em: <https://revue-rdm.com/1988/ingenierie-didactique-2/>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6028**: informação e documentação: resumo. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

AUSUBEL, D.; NOVAK, J.; HANESIAN, H. **Psicología educativa**: un punto de vista cognoscitivo. 2. ed. México: Trillas, 1983.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977. p. 169-84.

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências**: desvendando o sistema nervoso. Porto Alegre: Artmed, 2017.

BESSA, S; COSTA, D. S. Estratégias e procedimentos utilizados por estudantes do 3º ao 5º ano do ensino fundamental na operação aritmética de multiplicação. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, Brasília, v. 104, p. e5262, 2023. DOI 10.24109/2176-6681.rbep.104.5262. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeped/a/rTDb3DS4rkTvxQ4KD6HHCTF/#>. Acesso em: 25 jun. 2024.

BICUDO, M. A. V. **Pesquisa qualitativa segundo a visão fenomenológica**. 1. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

BOALER, J. **Mentalidades matemáticas**: estimulando o potencial dos estudantes por meio da matemática criativa, das mensagens inspiradoras e do ensino inovador. Porto Alegre: Penso, 2018.

BOGDAN, R; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto: Porto Editora, 1994.

BORBA, M. C. (org.) **Pesquisa qualitativa em educação matemática**. Belo Horizonte: Autêntica, 2004.

BORBA, M. de C.; ARAÚJO, J. de L. (org.). Construindo pesquisas coletivamente em educação matemática. *In*: BORBA, M. de C.; ARAÚJO, J. de L. (org.). **Pesquisa qualitativa em educação matemática**. 5. ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília/DF: MEC/CONSED/UNDIME, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 18 mar 2023.

BRAUN, L. C. S. L. A utilização da neurociência na aprendizagem matemática dos alunos do Ensino Médio. *In*: PEREIRA, W. F.; PIRES, L. de A. (org.). **Práticas pedagógicas na educação matemática**: relatos e experiências científicas. 1. ed. Guarujá-SP: Científica Digital, 2022. DOI 10.37885/220709428. p. 31-43. *E-book*. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/220709428.pdf>. Acesso em: 19 set. 2023.

CASTILHO; C. R. de; FIGUEIREDO, H. de A.; RODRIGUES, C. K. Engenharia didática como metodologia de pesquisa e procedimento metodológico para a sala de aula. **Educação Matemática Pesquisa**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 429-456, 2020. DOI 10.23925/1983-3156.2020v22i3p429-456. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/emp/article/view/50769>. Acesso em: 26 jun. 2024.

CAVALCANTE, M. T. M. **O ensino de matemática, a neurociência e os games:** desafios e possibilidades. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018. Disponível em: <http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/3231>. Acesso em: 7 jul. 2023.

CEMBRANEL, C. B. **Neurociências:** um saber importante para a efetiva construção do conhecimento matemático. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/11338/4164>. Acesso em: 6 jul. 2023.

CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais.** São Paulo: Cortez, 2005.

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

COSTA, R. L. S. Neurociência e aprendizagem. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, v. 28, p. e28010, 2023. DOI 10.1590/S1413-24782023280010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbedu/a/ZPmWbM6n7JN5vbfj8hfbyfK/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 19 set. 2023.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa:** métodos qualitativo, quantitativo e misto. Tradução Luciana de Oliveira da Rocha. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

DAMÁSIO, A. R. **O erro de Descartes:** emoção, razão e o cérebro humano. São Paulo: Cia das Letras, 1996.

DEHAENE, S. **É assim que aprendemos:** por que o cérebro funciona melhor do que qualquer máquina (ainda...). São Paulo: Contexto, 2022.

DEMO, P. **Metodologia científica em ciências sociais.** São Paulo: Atlas, 1995.

DREYFUS, T. Advanced Mathematical Thinking Processes. *In:* TALL, D. (ed.). **Advanced Mathematical Thinking.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 25-41.

DUBINSKY, E. Reflective abstraction in advanced mathematical thinking. *In:* TALL, D. (ed.). **Advanced Mathematical Thinking.** Holland: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 95-126.

ERICKSON, F. Métodos qualitativos em pesquisa sobre ensino. *In:* WITTROCK, M. (ed.). **Handbook of Research on Teaching.** 3. ed. Nova York: MacMillan, 1986. p. 119-161.

ESPERIDIÃO-ANTONIO, V.; COLOMBO, M. M.; MONTEVERDE, D. T.; MARTINS, G. M.; FERNANDES, J. J.; ASSIS, M. B. de; BATISTA, R. S. Neurobiologia das emoções. **Archives of Clinical Psychiatry**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 55-65, 2008. DOI 10.1590/S010160832008000200003. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rpc/a/t55bGGsRTmSVTgrbWvqnPTk/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 jul. 2023.

ESPÍNDULA, J. M. **O estado da arte das políticas de formação inicial de professores para a educação básica no Brasil no período de 2004 a 2014**. 2017. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2017. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/3563>. Acesso em: 27 jul. 2024.

FERREIRA, N. S. de A. As pesquisas denominadas "estado da arte". **Educação & Sociedade**, Campinas, v. 23, n. 79, p. 257-272, 2002. DOI 10.1590/S010173302002000300013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/es/a/vPsyhSBW4xJT48FrdCtqfp/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 27 jul. 2024.

FIORENTINI, D.; LORENZATO, S. **Investigação em educação matemática: percursos teóricos e metodológicos**. Campinas, SP: Autores Associados, 2006.

FONSECA, V. da. Papel das funções cognitivas, conativas e executivas na aprendizagem: uma abordagem neuropsicopedagógica. **Revista de Psicopedagogia**, São Paulo, v. 31, n. 96, p. 236-253, 2014. Disponível em: [http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010384862014000300002&lng=pt&nrm=iso](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010384862014000300002&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 1º ago. 2024.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da Informação**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 57-73, set. 2019/fev. 2020. DOI 10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73. Disponível em: <https://revista.ibict.br/fiinf/article/view/4835>. Acesso em: 25 jul. 2024.

GAZZANIGA, M. S.; IVRY, R. B.; MANGUN, G. R. **Neurociência cognitiva: a biologia da mente**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (org.). **Métodos de pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, p. 20-29, maio/jun. 1995.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em Ciências Sociais**. 8. ed. Rio de Janeiro: Record, 2004.

GUIMARÃES T. T.; MONTEIRO-JUNIOR, R.S, DESLANDES, A. C. A evolução da neurociência no Brasil: uma comparação com os países da América Latina nos últimos 16 anos. **Revista Neurociências**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 359-364, 2014. DOI 10.4181/RNC.2014.22.03.939.6p. Disponível em: <https://www.e->

gaio.com.br/wp-content/uploads/2019/11/A-evolu%C3%A7%C3%A3o-da-neuroci%C3%Aancia-no-Brasil.pdf. Acesso em: 30 jul. 2023.

HAGUETTE, T. M. F. **Metodologias qualitativas na sociologia**. Petrópolis: RJ, Vozes, 1992.

HERCULANO-HOUZEL, S. A frenologia e o nascimento da neurociência experimental. *In*: LENT, R. **Cem bilhões de neurônios?** Conceitos fundamentais de neurociência. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2004a. p. 26-27.

HERCULANO-HOUZEL, S. A vingança de Gall: broca e a localização cortical. *In*: LENT, R. **Cem bilhões de neurônios?** Conceitos fundamentais de neurociência. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2004b. p. 682.

HERCULANO-HOUZEL, S. De que é feito o cérebro: teia única ou células individuais? *In*: LENT, R. **Cem bilhões de neurônios?** Conceitos fundamentais de neurociência. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2004c. p. 80-81.

IZQUIERDO, I. **Memória**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Artmed, 2014. *E-book*.

KANDEL, E. R.; SCHWARTZ, J. H; JESSEL, T. M; SIEGELBAUM, S. A; HUDSPETH, A. J. **Princípios de neurociência**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios?** Conceitos fundamentais de neurociência. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2004.

LENT, Robert. **Cem bilhões de neurônios**: conceitos fundamentais de neurociência. São Paulo, Atheneu, 2010.

LENT, R. **O cérebro aprendiz**: neuroplasticidade e educação. 1. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2019.

LIMA, R. F. de. Compreendendo os mecanismos atencionais. **Ciências e Cognição**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 113-122, nov. 2005. Disponível em: [http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S180658212005000300013&lng=pt&nrm=iso](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S180658212005000300013&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 4 ago. 2024.

LINCOLN, Y.; GUBA, E. **Naturalistic Inquiry**. Beverly Hills: Sage Publisher, 1985.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação**: abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

MARSHALL, C.; ROSSMAN, G. **Designing Qualitative Research**. Beverly Hills: Sage Publisher, 1989.

MENDES, A. L. **Neuroeducação no ensino da matemática para adolescentes**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Matemática) - Universidade

Estadual de Goiás, Anápolis, 2022. Disponível em:  
<https://repositorio.ueg.br/jspui/handle/riueg/825>. Acesso em: 18 set. 2023.

MENEZES, J. E. **Uma análise das contribuições da neurociência à educação matemática em publicações científicas no período 2009-2021**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Neurociência) - Faculdade IDE, Recife, 2021.

MESSINA, G. Estudio sobre el estado da arte de la investigación acerca de la formación docente en los noventa. **Revista Iberoamericana de Educación**, Madrid, n. 19, p. 145-207, enero/abr. 1999. DOI  
<https://doi.org/10.35362/rie1901057>. Disponível em:  
<https://rieoei.org/RIE/article/view/1057/2014>. Acesso em: 12 out. 2023.

MIGLIORI, R. **Neurociências e educação**. 1. ed. São Paulo: Brasil Sustentável Editora, 2013.

MINAYO, M. C. de S. (org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 28. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2009.

MINAYO, M. C. de S. (org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2003.

MOGOLLÓN, E. Aportes das neurociências para o desenvolvimento de estratégias de ensino e aprendizagem de matemática. **Revista Eletrônica Educare**, Heredia, Costa Rica, v. 14, n. 2, p. 113-124, 2010. Disponível em:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=194115606009>. Acesso em: 6 set. 2023.

MOURÃO-JÚNIOR, C. A.; OLIVEIRA, A. O.; FARIA, E. L. B. Neurociência cognitiva e desenvolvimento humano. **Temas em Educação e Saúde**, Araraquara, v. 7, 2017. DOI 10.26673/tes.v7i0.9552. Disponível em:  
<https://periodicos.fclar.unesp.br/tes/article/view/9552>. Acesso em: 23 set. 2023.

MUCI-MENDOZA, R. El accidente de Phineas Gage: su legado a la neurobiología. **Gaceta Médica de Caracas**, Caracas, v. 115, n. 1, p. 17-28, enero 2007. Disponível em: [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0367-47622007000100003](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0367-47622007000100003). Acesso em: 27 jul. 2023.

NEVES, J. L. Pesquisa qualitativa: características, uso e possibilidades. **Cadernos de Pesquisa em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 3, p. 1-5, 2. sem. 1996. Disponível em: [https://www.hugoribeiro.com.br/biblioteca-digital/NEVES-Pesquisa\\_Qualitativa.pdf](https://www.hugoribeiro.com.br/biblioteca-digital/NEVES-Pesquisa_Qualitativa.pdf). Acesso em: 27 jul. 2023.

OLIVEIRA, C. M. de. **Contribuições da neurociência cognitiva para refletir sobre o processo de ensino e aprendizagem em ciências: conhecendo e reconhecendo as potencialidades do cérebro**. 2018. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e a Matemática) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/5810>. Acesso em: 3 jul. 2023.

PIAGET, J. **Problemas de psicologia genética**. Lisboa: Publ. D. Quixote, 1972.

PINHEIRO, M. Aspectos históricos da neuropsicologia: subsídios para a formação de educadores. **Educar**, Curitiba, n. 25, p. 175-196, 2005. DOI 10.1590/0104-4060.372. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/er/a/8rdR9H6JnmnskrKb4rSnGWk>. Acesso em: 26 jul. 2023.

PIZYBLSKI, L. M. **A produção do conhecimento sobre as contribuições da neurociência para a aprendizagem matemática**. 2020. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2020. Disponível em: [https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=10666680](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=10666680). Acesso em: 17 set. 2023.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. *E-book*.

PURVES, D.; AUGUSTINE, G. J.; FITZPATRICK, D.; HALL, W. C.; LAMANTIA, A. S.; MCNAMARA, J. O.; WHITE, L. E. **Neurociências**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

RIBEIRO, D. S. N. **Um estudo sobre as contribuições da neurociência cognitiva para a aprendizagem em matemática**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) - Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2022. Disponível em: [https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=11674380#](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=11674380#). Acesso em: 17 set. 2023.

ROMANOWSKI, J. P.; ENS, R. T. As pesquisas denominadas do tipo "Estado da Arte" em educação. **Revista Diálogo Educacional**, Curitiba, p. 6, v. 19, p. 37-50, 2006. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=189116275004>. Acesso em: 29 jul. 2024.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. B. **Metodologia de pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SANTOS, L. B. A. **Gênero e sexualidade em educação: um mapeamento das teses e dissertações do Norte e Nordeste brasileiro**. 2020. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020. Disponível em: <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/15920>. Acesso em: 27 jul. 2024

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2013.

SILVA JÚNIOR, E. A. da. **Neurociência e o ensino da matemática: uma revisão bibliográfica**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Matemática) - Faculdade de Matemática, Universidade Federal do Pará, Castanhal, 2021. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/handle/prefix/4157>. Acesso em: 19 set. 2023.

SILVA, K. S. **A neurociência cognitiva como base da aprendizagem de geometria molecular**: um estudo sobre atributos do funcionamento cerebral relacionados à memória de longo prazo. 2018. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/8229>. Acesso em: 4 jul. 2023.

SILVA, S. L. D. da. **A interatividade dos jogos digitais na aprendizagem matemática**: uma discussão em neurociência. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Educação) - Universidade Federal da Fronteira do Sul, Erechim, 2017. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/1822>. Acesso em: 3 jul. 2023.

SILVA, S. L. D. da; SCHEFFER, N. F. 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**, Passo Fundo, v. 2, n. 1, p. 150-171, 2019. DOI 10.5335/rbecm.v2i1.9348. Disponível em: <https://seer.upf.br/index.php/rbecm/article/view/9348>. Acesso em: 6 set. 2023.

TALL, D. **Advanced Mathematical Thinking**. Holland: Kluwer Academic Publishers, 1991. n. 3.

TALL, D. Cognitive growth in elementary and advanced mathematical thinking. *In*: MEIRA, L.; CARRAHER, D. (ed.). **Proceedings of 19th International Conference for the Psychology of Mathematics Education**. Recife: UFPE, 1995. v. 1.

THEÓPHILO, C. R.; MARTINS, G. de A. **Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas**. São Paulo: Atlas, 2009. v. 2.

TOLEDO, R. V. F.; LOPES, C. E. Neurociência cognitiva e a aprendizagem de matemática: diálogos possíveis. **Revista de Estudos Aplicados em Educação**, São Caetano do Sul, v. 5, n. 9, p. 210-232, 2020. DOI 10.13037/rea-e.vol5n9.6565. Disponível em: [https://seer.uscs.edu.br/index.php/revista\\_estudos\\_aplicados/article/view/6565](https://seer.uscs.edu.br/index.php/revista_estudos_aplicados/article/view/6565). Acesso em: 6 set. 2023.

TONIETO, C. **Características epistemológicas das teses de política educacional no triênio 2010-2012**. 2018. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018. Disponível em: <http://tede.upf.br:8080/jspui/handle/tede/1487>. Acesso em: 21 abr. 2024.

VASCONCELLOS, S. J. L.; MACHADO, S. da S. Construtivismo, psicologia experimental e neurociência. **Psicologia Clínica**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 83-94, 2006. DOI 10.1590/S0103-56652006000100007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pc/a/NFtwNMrGXvB59qMBRKyts9G/#>. Acesso em: 26 jul. 2023.

YIN, R. **Case Study Research**: design and methods. Beverly Hills: Sage Publisher, 1985.

**APÊNDICE A - LIVRO PARADIDÁTICO**

LEILIANE VIEIRA DE LIMA CHAGAS

**ENTRE MATEMÁTICA E NEURÔNIOS: UMA JORNADA DE DESCOBERTA**

**GOIÂNIA  
2025**

LEILIANE VIEIRA DE LIMA CHAGAS

## **ENTRE MATEMÁTICA E NEURÔNIOS: UMA JORNADA DE DESCOBERTA**

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional (PROFMAT), do Instituto de Matemática e Estatística (IME), da Universidade Federal de Goiás (UFG), como parte da dissertação apresentada no referido programa, para obtenção do título de Mestre em Matemática.

**Área de concentração:** Matemática da Educação Básica.

**Linha de pesquisa:** Matemática no Ensino Básico

**Orientador:** Prof. Dr<sup>a</sup>. Karly Barbosa Alvarenga

**GOIÂNIA  
2025**

# ENTRE MATEMÁTICA E NEURÔNIOS

UMA JORNADA DE  
DESCOBERTA



LEILIANE VIEIRA DE LIMA CHAGAS

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Chagas, Leiliane Vieira de Lima  
Entre matemática e neurônios [manuscrito] : uma jornada de  
descobertas / Leiliane Vieira de Lima Chagas. - 2025.  
XXXII, 32 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Karly Barbosa Alvarenga.  
Produto Educacional (Stricto Sensu) - Universidade Federal de  
Goiás, Instituto de Matemática e Estatística (IME), PROFMAT -  
Programa de Pós-graduação em Matemática em Rede Nacional -  
Sociedade Brasileira de Matemática (RG), Goiânia, 2025.  
Bibliografia.

1. neurociências cognitivas. 2. ensino de matemática. 3.  
aprendizagem. 4. revisão bibliográfica. I. Alvarenga, Karly Barbosa ,  
orient. II. Título.

CDU 51

## APRESENTAÇÃO

Esta narrativa foi elaborada como fruto da dissertação da pesquisa de mestrado no Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional (PROFMAT), da Universidade Federal de Goiás (UFG). Sob o título "Diálogos entre as neurociências cognitivas e a matemática: uma revisão sistemática da literatura", a pesquisa teve como intento responder à seguinte questão: Quais as possíveis contribuições dos estudos selecionados para o ensino e a aprendizagem de matemática?

Desse modo, esta narrativa apresenta uma linguagem acessível indicada para professores e estudantes. Seu objetivo é apresentar alguns conceitos de neurociências cognitivas e demonstrar a importância destes para o desenvolvimento de habilidades matemáticas. A escolha por uma linguagem narrativa, sem abrir mão do rigor acadêmico, deve-se à sua capacidade de nos transportar para a perspectiva dos personagens, permitindo vivenciar suas experiências e aprendizados.

Cada personagem oferece uma perspectiva única sobre o aprendizado. Agnesi, com sua curiosidade e paixão pela matemática, representa a força do interesse genuíno como facilitador dos processos cognitivos. Artur, por outro lado, traz à tona as dificuldades comuns que muitos alunos enfrentam, permitindo, ao leitor, entender como superar barreiras pode contribuir para o fortalecimento das habilidades cognitivas. Hipátia, curiosa e perspicaz, ajuda a contextualizar os conceitos, trazendo perguntas que nos levam a refletir sobre o papel do professor e sobre a importância da neuroplasticidade. A professora Nalini reflete o equilíbrio entre conhecimento técnico e empatia, permitindo que ela compreenda as dificuldades de seus alunos e ofereça apoio personalizado. Sua maneira de ensinar é marcada por uma paixão contagiante, o que lhe permite identificar os diferentes ritmos de aprendizagem de seus alunos e adaptar suas abordagens de ensino para que cada um se sinta acolhido e motivado a aprender.

Diante disso, convido o leitor a mergulhar neste universo fictício e a se encantar com as aventuras e descobertas vivenciadas pela professora Nalini e pelos estudantes Agnesi, Artur e Hipátia.

As ilustrações são de Rafaela Amaya Barbosa.

## PERSONAGENS



AGNESI é uma menina que tem paixão pela matemática. A escolha de seu nome é uma homenagem à italiana Maria Gaetana Agnesi (1718-1799), considerada a primeira matemática do Ocidente. Maria Gaetana Agnesi era filha de Pietro Agnesi e Anna Fortunata Agnesi, ambos de famílias ricas de mercadores. Pietro adquiriu o título de nobre e era professor de matemática na Universidade de Bolonha. Por este motivo Agnesi teve a oportunidade de ter uma educação privilegiada, o que possibilitou que adquirisse conhecimentos aprofundados em diversas áreas, algo incomum para as mulheres de sua época. Aos nove anos de idade publicou um discurso em latim defendendo ensino de alta qualidade para as mulheres. Aos 13 anos, além do italiano e do latim, sabia cinco outras línguas: grego, hebreu, francês, espanhol e alemão. Agnesi ficou conhecida pela "curva de Agnesi". No final de sua vida se dedicou ao estudo da teologia e à atividades de caridade. Faleceu em 9 de janeiro de 1799.



ARTUR é irmão mais velho de Agnesi, porém, não compartilha com sua irmã a paixão pela matemática. Seu nome é uma homenagem a Artur Ávila, o primeiro brasileiro e sul-americano a receber a medalha Fields, em 2014, dada a cada quatro anos pela União Internacional de Matemática (IMU) para pesquisadores com até 40 anos. Aos 16 anos Artur Ávila ganhou medalha de ouro na Olimpíada Internacional de Matemática; aos 18 concluiu o mestrado no Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada (IMPA) sem ter feito faculdade e aos 21 anos concluiu seu doutoramento, também no IMPA. Aos 29 anos tornou-se o profissional mais jovem a assumir a direção de pesquisa no conceituado Centro Nacional de Pesquisas de Paris. Atualmente, como especialista em sistemas dinâmicos, Artur divide seu tempo entre o IMPA e a Universidade de Zurique (Suíça), onde atua como pesquisador titular.



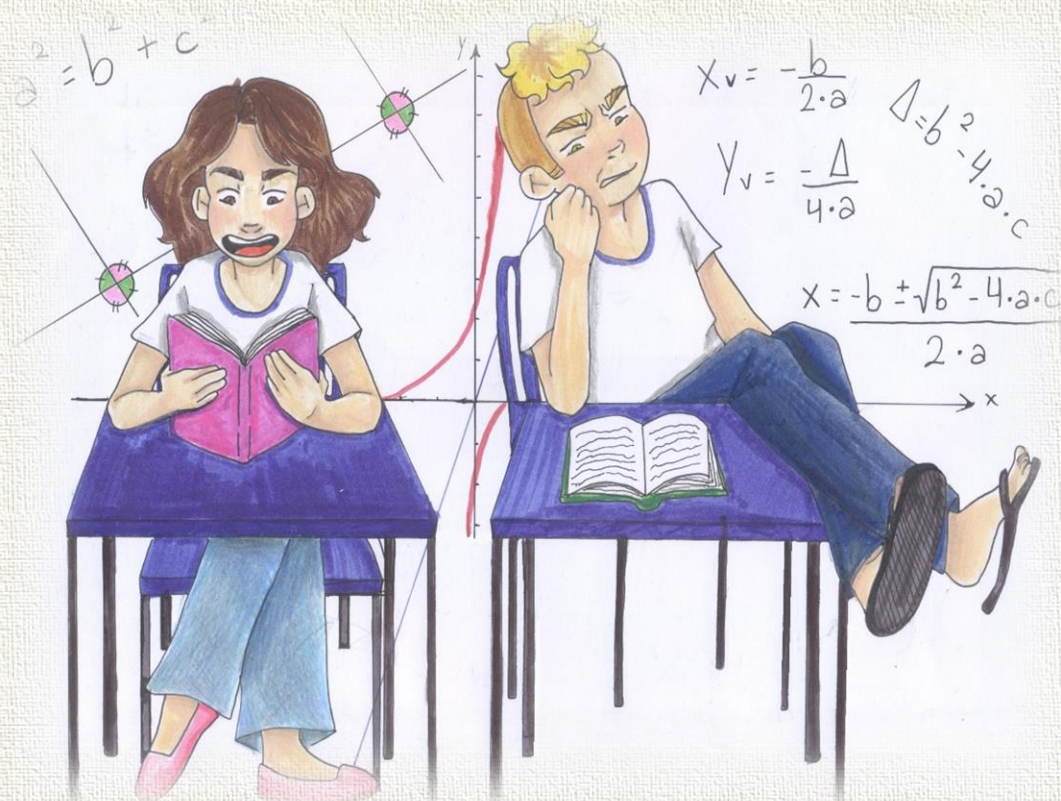
HIPÁTIA é colega de turma dos irmãos Agnesi e Artur. Seu nome homenageia Hipátia de Alexandria (370-415), considerada a primeira mulher matemática da história. Nascida em Alexandria, no Egito, e filha do matemático, filósofo e astrônomo Theon, Hipátia foi uma mulher à frente de seu tempo. Educada na escola neoplatônica, suas contribuições para a comunidade científica incluem manuscritos sobre as obras "A aritmética de Diofanto" e os "Elementos de Euclides", também reescreveu um tratado sobre a "As cônicas" de Apolônio. Por suas habilidades se tornou professora

de matemática, tendo, como alunos, aristocratas pagãos e cristãos; foi conselheira do prefeito do Império Romano do Oriente. Pela defesa do paganismo pagou com sua vida, sendo brutalmente assassinada.



NALINI é professora de matemática. Seu nome é uma homenagem à Nalini Florence Anantharaman (1976-), uma matemática francesa de origem indiana, filha de dois professores matemáticos da Universidade de Orléans (França). Ganhadora de vários prêmios – como o Prêmio Salem, em 2010; o Prix Jacques Herbrand, em 2011; e o Prêmio Henri Poincaré de Física Matemática, em 2012 –, Nalini pesquisa as aplicações da teoria de sistemas dinâmicos à teoria espectral de operadores de Schrodinger.

Agnesi e Artur, irmãos com apenas um ano de diferença, compartilhavam muitas coisas, mas o amor pelos estudos não era uma delas. Agnesi, aos 13 anos, era uma estudante dedicada, sempre com um livro nas mãos e uma curiosidade insaciável, especialmente pela matemática. Já Artur, com 14, via a matemática como um pesadelo constante. Enquanto Agnesi se deslumbrava com equações e figuras geométricas, Artur mal conseguia esconder sua aversão às aulas, o que acabou resultando em sua reprovação na escola.



Apesar das diferenças, os dois passavam bastante tempo juntos, especialmente quando os pais estavam ocupados. Agnesi, mesmo sendo mais nova, muitas vezes tentava ajudar o irmão com as lições, mas suas tentativas de explicar matemática eram recebidas com olhares frustrados e respostas curtas. Para Artur a matemática era um enigma sem solução, algo que ele simplesmente não conseguia entender, por mais que tentasse. Hoje ambos cursam a mesma série escolar e a

expectativa de Agnesi é que consiga despertar em Artur algum interesse pela matemática.

Em um belo dia Agnesi acordou superanimada.



Agnesi: Acorda, Artur! Vamos, levanta! Temos que nos arrumar para ir à escola!

Artur: (resmungando) Ugh, Agnesi... Por que tanta animação para ir à escola?

Agnesi: Vamos Artur, sem preguiça.

Artur: Se fosse uma viagem eu até entenderia, mas, escola?!

Agnesi: Vamos logo! Hoje tem aula de matemática e eu não quero chegar atrasada!

Artur: Eu detesto aula de matemática. Acho que vou faltar à aula hoje.

Agnesi: Artur, você sabe que a mamãe não nos deixa faltar a aula à toa. Vamos logo antes que ela fique brava com você. Se não for à escola, como vai aprender? Você quer reprovar de ano de novo??

Artur: Tá bom Agnesi.

No caminho para a escola Agnesi segue cantarolando saltitante...

Artur: (com os braços cruzados) Sério, Agnesi, você é a única pessoa que eu conheço que fica empolgada com uma aula de matemática.

Agnesi: Matemática é incrível, Artur! Cada problema é como um quebra-cabeça esperando para ser resolvido. Olhe à nossa volta, a matemática está em tudo. Ela é a rainha de todas as ciências, isso não é emocionante?

Artur: Se você diz... Para mim, parece mais um monte de números confusos e regras chatas.

Agnesi: Não são só números Artur, pense nas construções geométricas! Cada figura que desenhemos, cada ângulo que medimos, tudo faz parte de uma lógica fascinante. Quando você traça uma reta ou deseja um círculo perfeito, está seguindo um conjunto de regras que governam o universo. Essas regras nos ajudam a entender o mundo à nossa volta. Por exemplo, quando você vê uma ponte, já parou para pensar em como os engenheiros desenvolveram uma estrutura geométrica para garantir que ela seja segura e estável? Cada ângulo, cada linha, tudo foi calculado com bastante exatidão. A natureza foi feita sob padrões matemáticos.



**Artur:** Tá, então me explica para quê envolver letras com números? Não vejo nenhuma letra andando pela rua. Quando tem só números é até tranquilo, mas quando envolve letras, não vejo sentido algum.



**Agnesi:** Artur, não podemos ser tão literais assim. As letras representam os números, elas compõem uma parte da matemática que chamamos de álgebra. É como se fosse uma irmã da geometria, assim como nós dois, sabe? Imagine que a álgebra

é como um jogo de quebra-cabeça, mas em vez de peças, você tem números e letras. Essas letras são usadas para representar coisas que a gente não sabe, mas que queremos descobrir. Por exemplo, se você tem um número secreto e eu digo que ele mais 5 dá 12, você pode usar da álgebra para descobrir qual é esse número secreto. Você pode dizer  $x + 5 = 12$ . Em resumo, a geometria nos mostra o que vemos e a álgebra nos ajuda a entender o que não vemos. Assim, a matemática é como ter uma caixa de ferramentas completa para explorar o mundo. Está vendo como a matemática é legal, nem vimos o caminho passar e já chegamos à escola. Você vai ver a aula de hoje será excepcional!



---

<sup>22</sup> **Maria Laura Mouzinho Leite Lopes (1919-2013)** foi a primeira mulher doutora em Ciências Matemáticas do Brasil (em 1949) e membro da Academia Brasileira de Ciências. Também foi a primeira mulher a ministrar aulas de geometria para o curso de Engenharia do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA). Participou da criação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA). Morreu em 20 de Junho de 2013, no Rio de Janeiro (Biografias, c2024).

**Professora Nalini:** Bom dia turma!

**Agnesi:** Bom dia professora! O que vamos aprender hoje? Algum conceito novo de geometria ou uma nova fórmula matemática para realizar cálculos? Estou ansiosa pela aula de hoje!

**Professora Nalini:** (sorridente) Hoje será um tanto que diferente Agnesi, em nossa aula de hoje vamos compreender um pouco mais sobre nosso cérebro e como ele funciona.

**Agnesi:** Como assim professora? O que isso tem a ver com a matemática?

**Artur:** Capaz que vamos contar os pedacinhos do cérebro.

**Professora Nalini:** Calma gente. Vou explicar. Antes de pensar em matemática é interessante que saibamos como nosso corpo reage quando aprendemos algo novo, ou seja, como se dá o processo de aprendizagem dentro do nosso cérebro. Se sabemos isso, é possível que abandonemos práticas que criam barreiras para nossa aprendizagem e passemos a adotar mecanismos que nos ajudarão a aprender de maneira mais fácil.

**Agnesi:** Hum, isso parece ser legal!

**Professora Nalini:** É legal por demais!

**Artur:** Sei não professora. Tem pessoas que são superinteligentes, outras, como eu, são imensamente "burras", e é assim mesmo, temos que nos conformar que não vamos aprender nunca.

**Professora Nalini:** Não é assim Artur, todos têm condições iguais de aprender.

**Hipátia:** Acho que o Artur está certo professora. Ainda mais quando se fala de matemática. Tem pessoas que nascem com um dom especial, olha só a Agnesi, ela sabe tudo de matemática. Nós, meros mortais, se quisermos aprender um pouquinho, temos que estudar e muito!!

**Artur:** Eu nem estudando aprendo! Não viram no ano passado, que reprovei em matemática? E eu estudei muito, não adiantou nada!

**Professora Nalini:** Calma meninos, isso não passa de inverdades que foram alimentadas por muitos e muitos anos. **Hipátia:** É estranho o Artur ser assim. Não acha professora? (Ele é homem e é ruim em matemática. Homens são sempre mais



inteligentes. O cérebro deles é mais preparado para trabalhar com a matemática.

**Professora Nalini:** Não, Hipátia, isso não é verdade, esse é mais um dos mitos que envolvem a matemática. Hoje as neurociências cognitivas têm condições suficientes para afirmar que não existe privilégio matemático para ninguém, todos nós somos igualmente capazes de aprender matemática nos mais elevados níveis.

**Agnesi:** Neurociências cognitivas?

**Professora Nalini:** Sim. As neurociências cognitivas são um campo de estudo interdisciplinar que estuda como o nosso cérebro funciona quando pensamos, aprendemos e lembramos das coisas. Por exemplo, quando você estuda matemática diferentes partes do seu cérebro estão trabalhando juntas para que você consiga entender conceitos e resolver as questões. Os cientistas dessa área, os neurocientistas, estudam como essas partes do cérebro interagem e o que acontece dentro da sua cabeça enquanto você está aprendendo.

**Artur:** Hum, já estou gostando. Até agora não fizemos nenhuma conta.

**Professora Nalini:** Vejam bem, o nosso cérebro é o órgão responsável pela aprendizagem. As informações que captamos pela visão, pela audição e pelo tato são processadas e analisadas por ele. Ele funciona como uma grande máquina, composta por diversas partes que também são compostas por subpartes, que mais uma vez são compostas por subpartes até chegar nos elementos mais básicos, os neurônios.

**Hipátia:** Mas, o que são neurônios?

**Professora Nalini:** Os neurônios são células especiais do nosso corpo, responsáveis por transmitir informações, como se fosse um mensageiro sabe? Por exemplo, imagine que o cérebro é como a internet, uma grande rede de comunicação. Os neurônios são como os fios ou cabos que conectam tudo nessa rede.

**Agnesi:** Que legal professora! Então, neurônios são como formiguinhas que trabalham em prol de manter tudo funcionando direitinho, né?

**Professora Nalini:** Isso mesmo, Agnesi! Cada formiguinha (ou neurônio) tem sua tarefa específica, carregando mensagens de um lado para o outro, para garantir que o corpo saiba o que fazer. Seja para mover um dedo, sentir o cheiro de uma flor ou lembrar de algo que aprendeu na escola, os neurônios estão sempre ativos, trabalhando juntos para que tudo aconteça da forma certa. E, assim como as formiguinhas trabalham em equipe, os neurônios também se conectam uns com os outros, formando grandes conjuntos de neurônios associados, as chamadas redes neurais. Essas redes permitem que possamos pensar, aprender, sentir emoções e realizar todas as atividades do nosso dia a dia. Quanto mais usamos nosso cérebro, mais fortes ficam essas conexões entre os neurônios, como se estivessem construindo caminhos cada vez mais eficientes para que as mensagens viagem pelo nosso cérebro.

Quando recebemos um estímulo do ambiente, os órgãos sensoriais, olhos, ouvidos e pele, capturam essa informação e o sistema límbico é quem leva as informações até

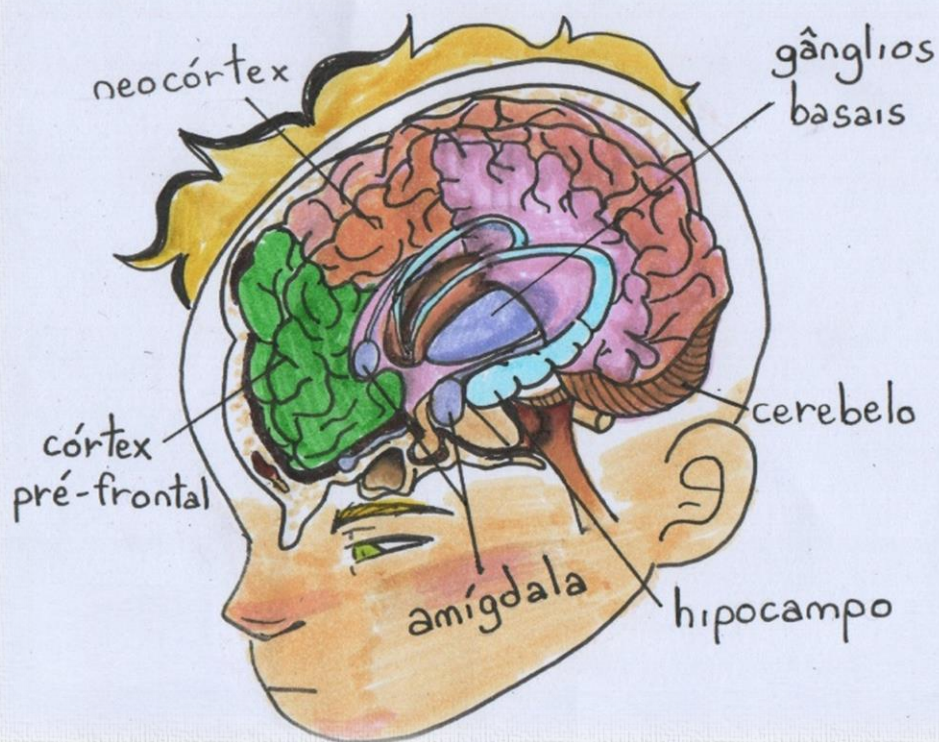


o cérebro. Vocês sabem o que é o sistema límbico?

Hipátia: Não faço nem ideia.

Professora Nalini: O sistema límbico é como o centro de emoções e memórias do cérebro, situações. Ele é composto por três partes importantes: a amígdala, o hipocampo e o hipotálamo. responsável por controlar como sentimos e reagimos a certas A amígdala é como um alarme de emergência que avisa quando algo pode ser perigoso, ajudando-nos a sentir medo ou a nos proteger. O hipocampo é como um arquivo de

memórias, ajuda-nos a lembrar das coisas que já vivemos. E o hipotálamo é quem controla as funções automáticas do corpo, como a temperatura, o apetite e o sono, além de estar envolvido nas emoções.



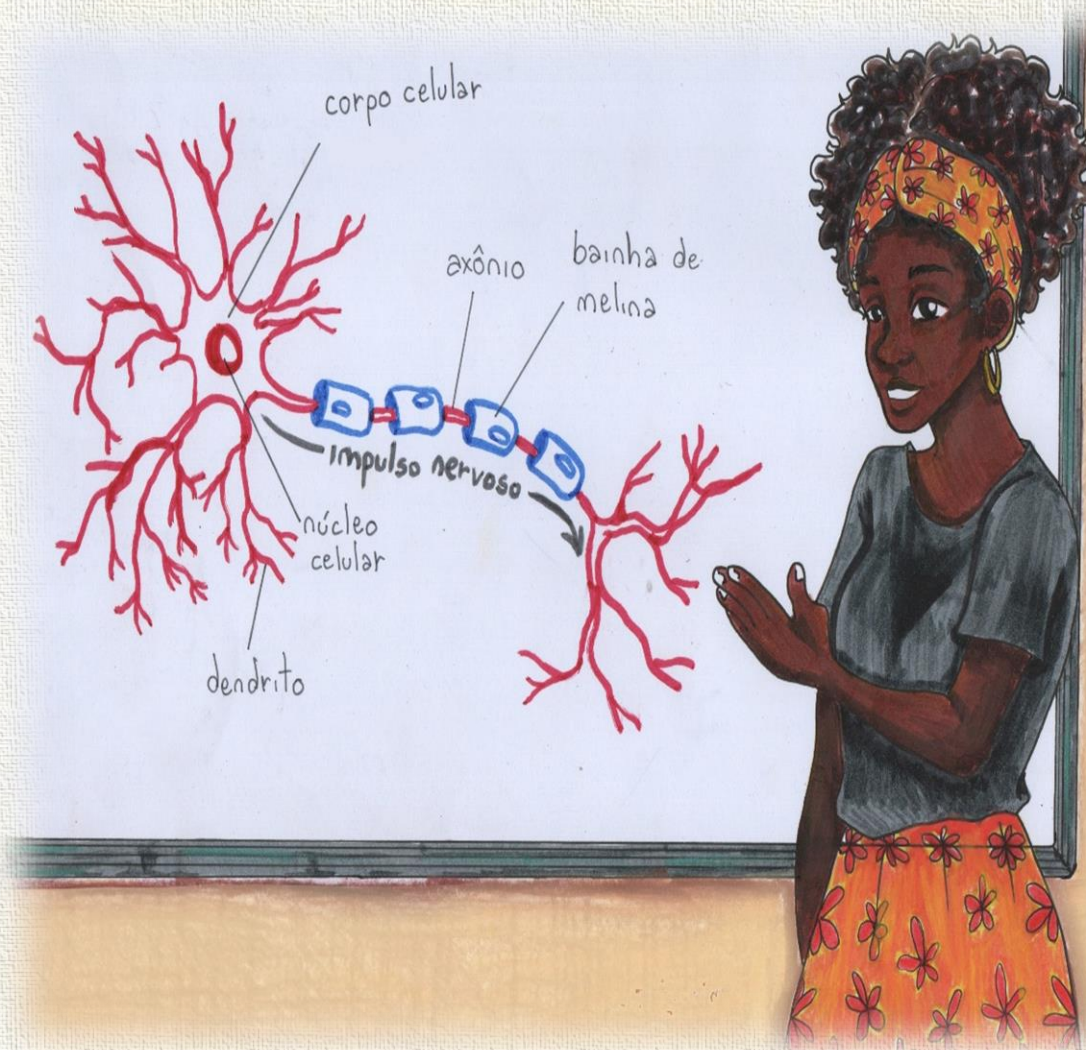
**Professora Nalini:** Então, quando estamos muito felizes, com raiva, ou lembrando de uma experiência que nos marcou, é o sistema límbico quem está bem ativo nesse momento. Assim, ele nos ajuda a lidar com nossas emoções e a lembrar delas no futuro. É como se fosse o departamento do cérebro que nos ajuda a entender e a reagir ao que sentimos. Por exemplo, quando você vê um cachorro, seus olhos capturam a imagem do cachorro. Essa captura é convertida em sinais elétricos, que são enviados ao cérebro pelo sistema límbico.

**Artur:** E como ele faz isso?

**Professora Nalini:** Vejam, o neurônio é composto pelo corpo celular e pelos prolongamentos. No corpo celular está o núcleo celular e nos prolongamentos estão pequenas ramificações chamadas dendritos. Uma dessas ramificações é mais longa e recebe o nome de axônio. Cada parte é responsável por uma função. Os dendritos recebem as informações, o corpo celular se integra a elas e o axônio é quem transmite o sinal elétrico produzido para os dendritos do outro neurônio. Mas, vejam bem, os neurônios não encostam um nos outros.

**Artur:** Não? Então como que o sinal elétrico passa para o outro neurônio?

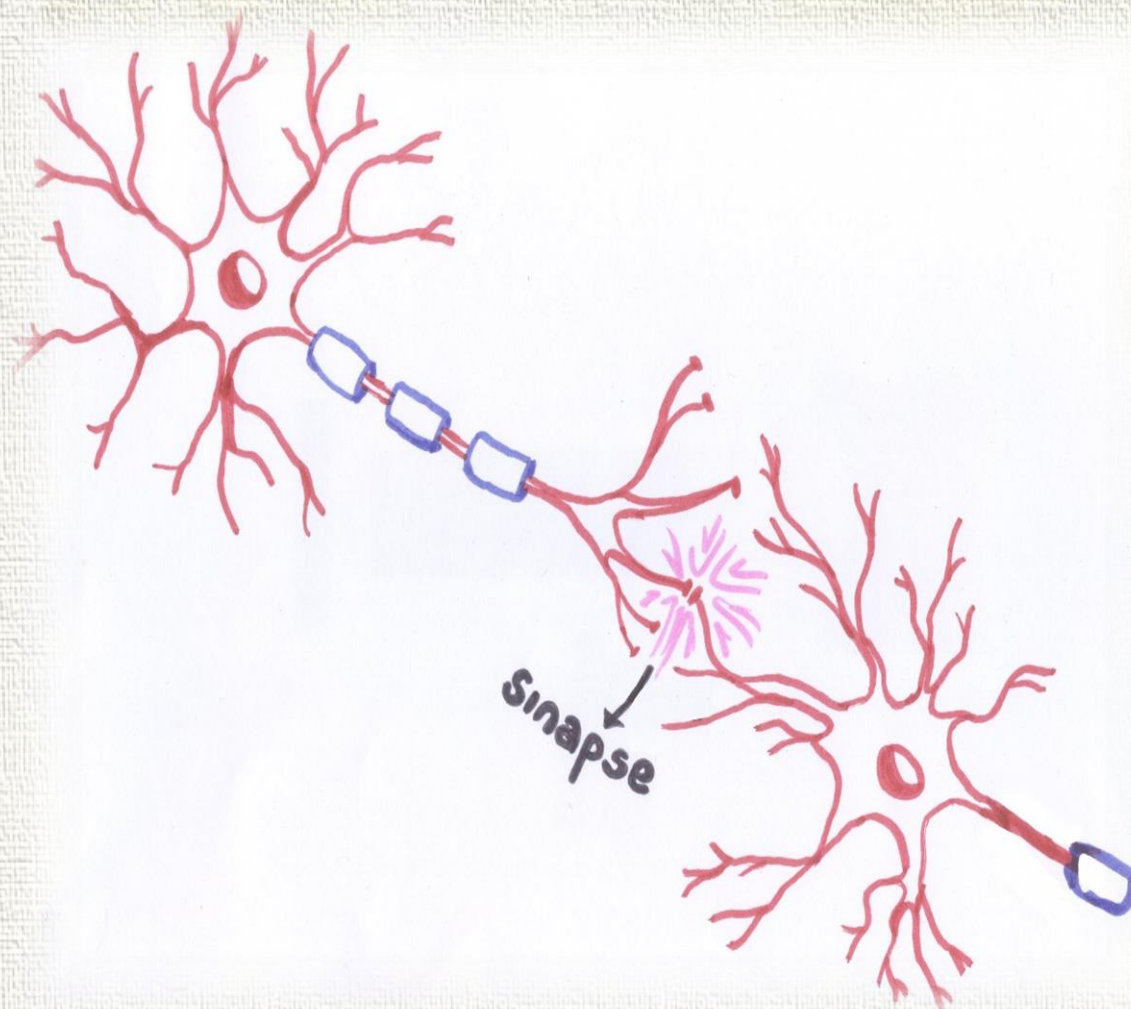
**Professora Nalini:** Os dois neurônios chegam bem pertinho um do outro. O axônio de quem transmite e os dendritos de quem recebe criam uma região chamada sinapse, por onde a informação é passada de um neurônio a outro. Isso tudo acontece em milésimos de segundos.



**Hipátia:** Uau!!

**Professora Nalini:** Desse modo, aquela imagem do cachorro que foi capturada e levada ao cérebro é processada e interpretada por ele, ou seja, o cérebro reconhece o que aquilo é e busca experiências anteriores para decidir o que fazer com essa informação – como mover a mão para tocar o cachorro, sentir-se feliz ao vê-lo.

sentir medo ou simplesmente armazenar a informação na memória para uso futuro. É nesse armazenamento que se dá a aprendizagem.

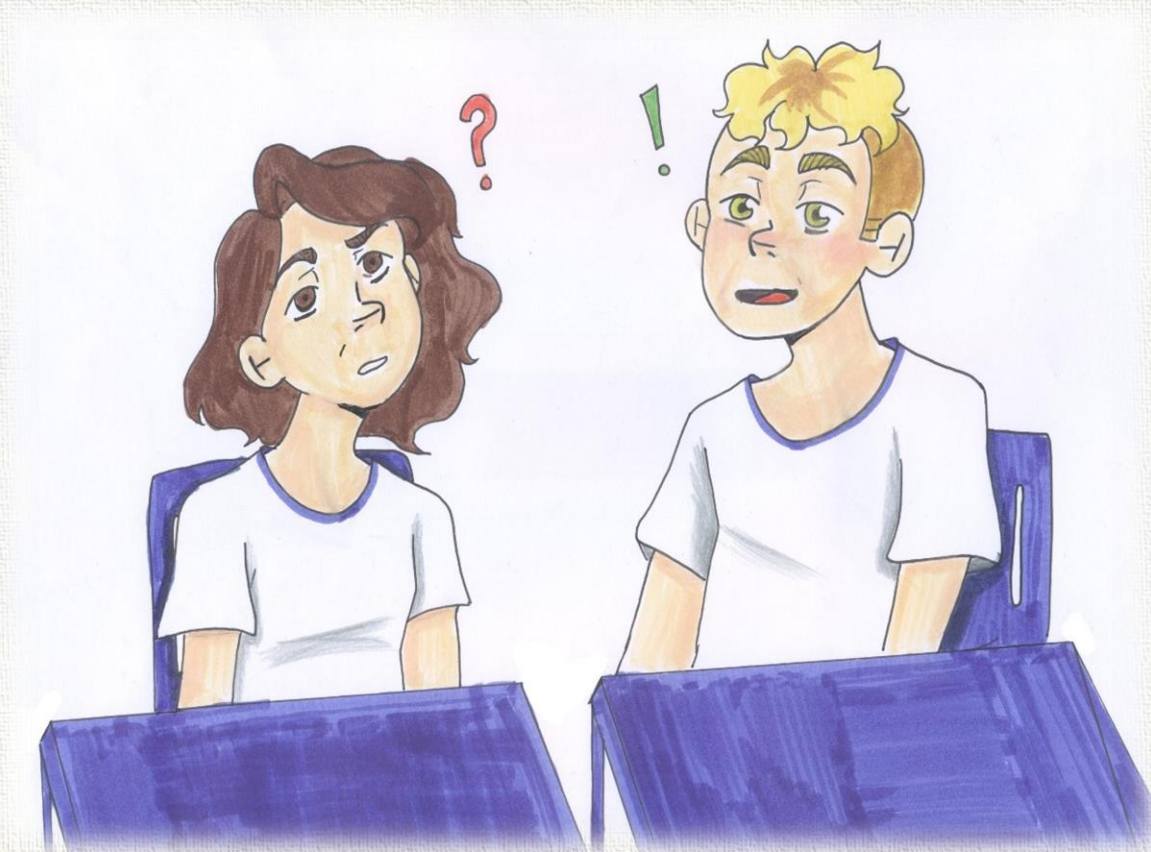


**Professora Nalini:** Quando estudamos matemática é da mesma forma. Quando apresento a vocês um novo conceito vocês escutam o que eu digo e veem o que eu escrevo na lousa. Seus olhos e ouvidos captam as informações, transformam-nas em sinais elétricos e os neurônios, por meio das redes neurais, vão produzindo sinapses de modo a conduzir as informações até o cérebro. Chegando lá, ele analisa a informação recebida e a associa com conhecimentos que já estão armazenados. Por exemplo, quando falamos sobre como calcular a área de um polígono regular, o seu cérebro começa a procurar por informações que já conhece sobre polígonos, áreas e fórmulas matemáticas. Se você já viu algo parecido antes, ele conecta essa

nova informação com o que já está armazenado na sua memória. Mas, se é algo completamente novo, ele cria novas conexões neurais, construindo um novo caminho para entender essa ideia.

**Hipátia:** Então, quer dizer professora que quanto mais neurônios a gente tiver mais inteligentes nós seremos?

**Professora Nalini:** Não é bem assim Hipátia, todos nós temos aproximadamente a mesma quantidade de neurônios.



**Artur:** Sério professora? E quantos são?

**Professora Nalini:** (sorrindo) Olha, é uma quantidade grande.

**Artur:** 300.000

**Professora Nalini:** Um pouco mais.

**Hipátia:** Infinitos

**Professora Nalini:** Nem tanto, Hipátia.

**Agnesi:** Dá uma dica professora.

**Professora Nalini:** Vocês sabem quantas estrelas tem na nossa Via Láctea? É aproximadamente o mesmo número.

**Artur:** Ai complicou!

**Professora Nalini:** Temos cerca de 90 bilhões de neurônios no nosso sistema nervoso.

**Artur:** O quê?! Tudo isso?

**Professora Nalini:** Sim Artur, aproximadamente. Respondendo a sua pergunta Hipátia, a inteligência é uma questão de ponto de vista. Não é apenas a quantidade de neurônios que importa, mas como esses neurônios estão conectados e interagem entre si. O que realmente faz a diferença é a forma como essas conexões são usadas, como aprendemos, resolvemos problemas e nos adaptamos a novas situações. Então, a gente não precisa se preocupar com a quantidade de neurônios que temos e sim em como podemos estimular nosso cérebro a utilizá-los de modo a aprender e crescer de maneira inteligente.

**Artur:** Sei não professora! Acho que não há nada que possa ser feito para que eu aprenda. A matemática é muito difícil, eu nunca vou aprender. Eu queria ser como a Agnesi.

**Professora Nalini:** Artur, as pessoas não são iguais. Temos que olhar para nós e buscarmos o melhor que temos. Cada pessoa tem suas próprias experiências e forma única de aprender. A Agnesi tem suas facilidades, mas também enfrenta desafios com a matemática. O importante é reconhecer que a dificuldade faz parte do aprendizado. Quando você diz que nunca vai aprender está bloqueando a sua capacidade de crescimento. Mas se você tentar mudar essa perspectiva e começar a ver os desafios como oportunidades, vai perceber que o aprendizado pode ser mais acessível.

**Hipátia:** Então, o que você está dizendo, professora, é que nosso cérebro pode melhorar se a gente insistir, mesmo quando é difícil?

**Professora Nalini:** Exatamente, Hipátia! Nosso cérebro adora aprender, ele só precisa ser estimulado. E para cada pessoa o estímulo pode ser de uma forma diferente. Mas, de forma geral, algumas coisas são importantes para ter sucesso

Nos estudos, como ter um momento específico durante o dia para estudar, alimentar-se bem, ter uma boa rotina de sono.

**Artur:** Até o sono interfere no aprendizado?

**Professora Nalini:** Sim, Artur, ter um boa noite de sono é primordial para que seu cérebro organize todas as informações recebidas durante o dia. O nosso cérebro não para, mesmo quando estamos dormindo ele continua trabalhando. Enquanto dormimos o cérebro processa e organiza as informações adquiridas durante o dia, fortalecendo as conexões neurais permitidas para a retenção do aprendizado. Além disso, a privação de sono pode prejudicar a capacidade de concentração, o raciocínio lógico e a resolução de problemas, o que afeta diretamente o desempenho nos estudos. Portanto, dormir bem é essencial para um aprendizado eficaz e para a saúde cognitiva em geral.



**Agnesi:** Tá vendo Artur, a mamãe tem razão quando diz que temos que dormir cedo e você fica lá jogando videogame até tarde. Ela sempre fala que, se a gente não dorme bem, vai acabar esquecendo o que estudou.

**Artur:** Mas é que às vezes eu não consigo parar de jogar. É como se eu ficasse preso no jogo.

**Professora Nalini:** Isso que você está descrevendo, Artur, é muito comum. Os jogos podem ser muito envolventes e é fácil perder a noção do tempo. Eles ativam os sistemas de recompensa do cérebro, liberando dopamina, o que nos faz querer continuar jogando. Mas é importante lembrar que o excesso pode ser prejudicial, especialmente se estiver interferindo no seu sono e, consequentemente, no seu aprendizado.

**Hipátia:** Nunca imaginei que essas coisas pudessem interferir na forma que aprendemos!

**Professora Nalini:** Interferem muito mais do que imaginamos, Hipátia. A aprendizagem é um processo muito complexo. Ela envolve habilidades emocionais e cognitivas, por isso devemos cuidar para que a ansiedade não nos domine. Assim, criamos, em nosso organismo, condições propícias para que o cérebro funcione da melhor forma possível. Quando cuidamos do nosso corpo ele retribui com mais energia, concentração e disposição para aprender. Além disso, é essencial ter paciência com o próprio ritmo e descobrir quais métodos de estudo funcionam melhor para cada um.

**Agnesi:** Eu percebi que entendo melhor as coisas quando explico em voz alta, como se estivesse ensinando para alguém. Quando me escuto explicando algo parece que tudo fica mais claro e isso me ajuda a organizar minhas ideias.

**Artur:** Tudo o que eu tento não funciona, sempre fico frustrado...

**Professora Nalini:** É normal sentir isso, Artur. A frustração faz parte do processo de aprendizado. O importante é não deixar que ela te impeça de continuar. Às vezes, mudar a abordagem ou dar um tempo e voltar mais tarde pode fazer toda a diferença. Lembre-se, cada erro é uma oportunidade de aprender algo novo. O que

não pode é desistir. A construção do conhecimento matemático é feita com tentativas e erros. Você acha que eu sempre acerto de primeira todas as questões de matemática? Eu erro muitas vezes, assim como a Agnesi. O que acontece é que cada erro me desafia a tentar e tentar até que eu acerte.

**Hipátia:** E quando a gente consegue superar a frustração, o cérebro aprende mais rápido, né?

**Professora Nalini:** Exatamente. As emoções interferem, e muito, no nosso aprendizado. Devemos cuidar para que sentimentos negativos não se perpetuem. Os erros são tão

importantes quanto os acertos, não podemos desmotivar por causa deles. Se errou apaga e faz novamente, procurando entender qual etapa não está sendo assimilada.

**Artur:** (curioso) Então, quer dizer que, se toda vez que eu errar eu insistir e acreditar que uma hora vai dar certo eu posso ficar bom em matemática, assim como a Agnesi?

**Professora Nalini:** Exatamente, Artur! Ninguém nasce sabendo matemática, do mesmo modo ninguém nasce sem a capacidade de aprendê-la. O que importa é a forma como você estuda e a paciência que você tem consigo mesmo. Para se tornar bom é preciso tentar, errar e tentar de novo até que se torne fácil. Quanto mais nós usamos o cérebro, melhor ele fica e com mais capacidade para continuar aprendendo e fazendo coisas novas.

Você sabia, Artur, que muitos gênios internacionalmente reconhecidos também apresentaram dificuldades no período escolar? Einstein, por exemplo, só aprendeu



a ler com nove anos e não passou no vestibular na primeira vez que tentou, mas com perseverança conseguiu se tornar um dos maiores gênios conhecidos.

**Agnesi:** (entusiasmada) Viu, Artur? Você só precisa continuar tentando! Eu posso te ajudar com os exercícios depois da aula, se você quiser.

**Artur:** Valeu, Agnesi. Vou tentar olhar a matemática de outro jeito agora.

No caminho para a casa Artur conversa com Agnesi.

**Artur:** Agnesi, você viu o que a professora falou? Será mesmo que eu posso aprender? Acho que ela só quis me iludir. Até ela já desistiu de mim, ela sabe que eu não vou aprender. Meu cérebro não é para isso.

**Agnesi:** Ah Artur, para com isso! A professora nunca desiste da gente, mas temos que fazer nossa parte também. Ela te orientou sobre o que precisa fazer. Primeiro tem que confiar em si mesmo. Todo mundo é capaz, por que você não seria? Ela confia em você e eu também. Agora falta você confiar!

Artur segue para casa pensativo.

No dia seguinte, quando o celular desperta, Artur já está acordado.

**Artur:** Agnesi, vamos!

**Agnesi:** Será que estou sonhando? É mesmo o Artur me acordando para ir à escola?

**Artur:** Vamos Agnesi, para de graça! Não foi você que me motivou? Decidi que vou começar uma nova etapa em minha vida escolar.

**Agnesi:** Uau! Então vamos logo! Estou ansiosa para ver essa mudança.

Artur toma seu café rapidamente e apressa Agnesi para irem logo. No caminho para a escola Artur está mais animado. Ele presta atenção no que Agnesi fala matemática, tentando ver o mundo com os olhos dela.

**Artur:** Sabe, Agnesi, fiquei pensando no que a professora disse ontem. Se o cérebro é como uma máquina que a gente pode treinar, então, talvez eu só precise achar o jeito certo de fazer isso.

**Agnesi:** Exatamente! Todos nós temos uma maneira diferente de aprender. Você só precisa encontrar a sua.

**Artur:** Decidi que vou tentar e hoje parece ser um bom dia para mudar, o dia hoje está lindo, não acha?

**Agnesi:** Sim Artur, acho.

**Artur:** Olha aqueles girassóis! Vou colher um e levar para a professora, ela vai gostar.



Artur colhe um lindo girassol para a professora Nalini e o leva com todo o cuidado para que não estrague. Chegando à escola, Artur entra na sala de aula com um novo olhar e coloca o girassol na mesa da professora Nalini. Em seguida, senta-se logo à frente e espera ansiosamente pela sua chegada. A professora entra na sala.

**Professora Nalini:** Bom dia turma! Nossa, que girassol mais lindo! É a minha flor preferida. Posso saber quem me presenteou?

Artur, com um sorriso tímido, levanta a mão.

**Artur:** Fui eu, professora. Colhi para a senhora no caminho para a escola. Achei o girassol tão bonito e pensei que a senhora iria gostar.

**Professora Nalini:** Muito obrigada, Artur! Você acertou em cheio. O girassol é a minha flor preferida. Sabia que ele tem uma relação especial com a matemática?

**Artur:** Sério? Como assim?

**Professora Nalini:** Vocês já ouviram falar da sequência de Fibonacci?

**Artur:** Não, o que é isso?

**Professora Nalini:** É uma sequência de números bem especial. Funciona assim: você começa com 0 e 1. Depois, cada número seguinte é a soma dos dois anteriores. Então, fica assim: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, e por aí vai. Cada número é a soma dos dois que vieram antes dele.

**Artur:** Entendi. Mas o que isso tem a ver com os girassóis?

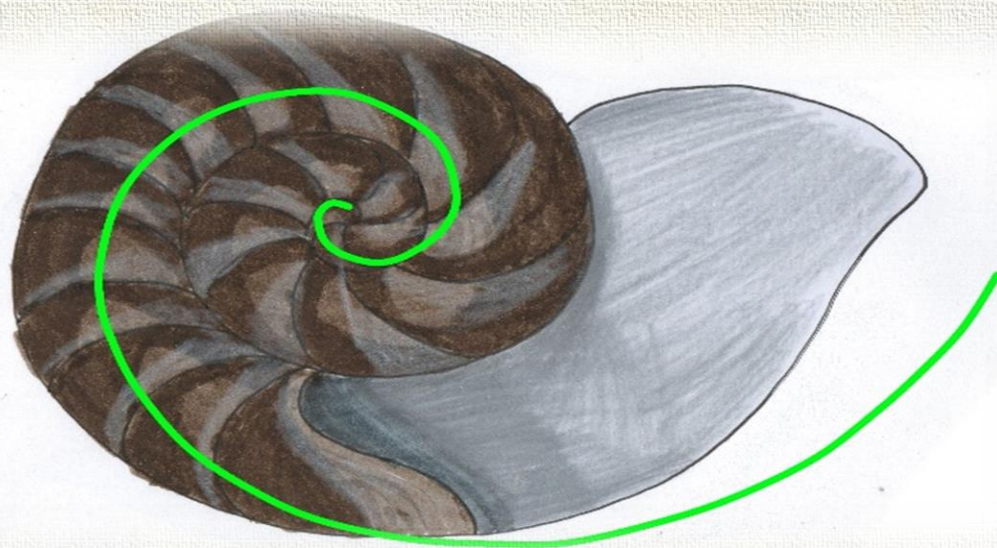
**Professora Nalini:** A sequência de Fibonacci se torna tão bela pois é encontrada em diversos momentos na natureza. O girassol é um exemplo, no centro dele, as sementes crescem em espirais, tanto no sentido horário quanto anti-horário. Se você contar o número de espirais em cada direção, vai ver que eles são números da sequência de Fibonacci. Por exemplo, um girassol pode ter 21 espirais em uma direção e 34 na outra. Esses números fazem parte da sequência!



**Artur:** Uau, então as sementes não estão só espalhadas de qualquer jeito?

**Professora Nalini:** Exatamente! A natureza segue essa sequência para que as sementes fiquem bem distribuídas e aproveitem ao máximo o espaço. É uma maneira eficiente de crescer. Em muitos outros lugares na natureza, como nas conchas e nas pinhas, também podemos ver essa sequência.

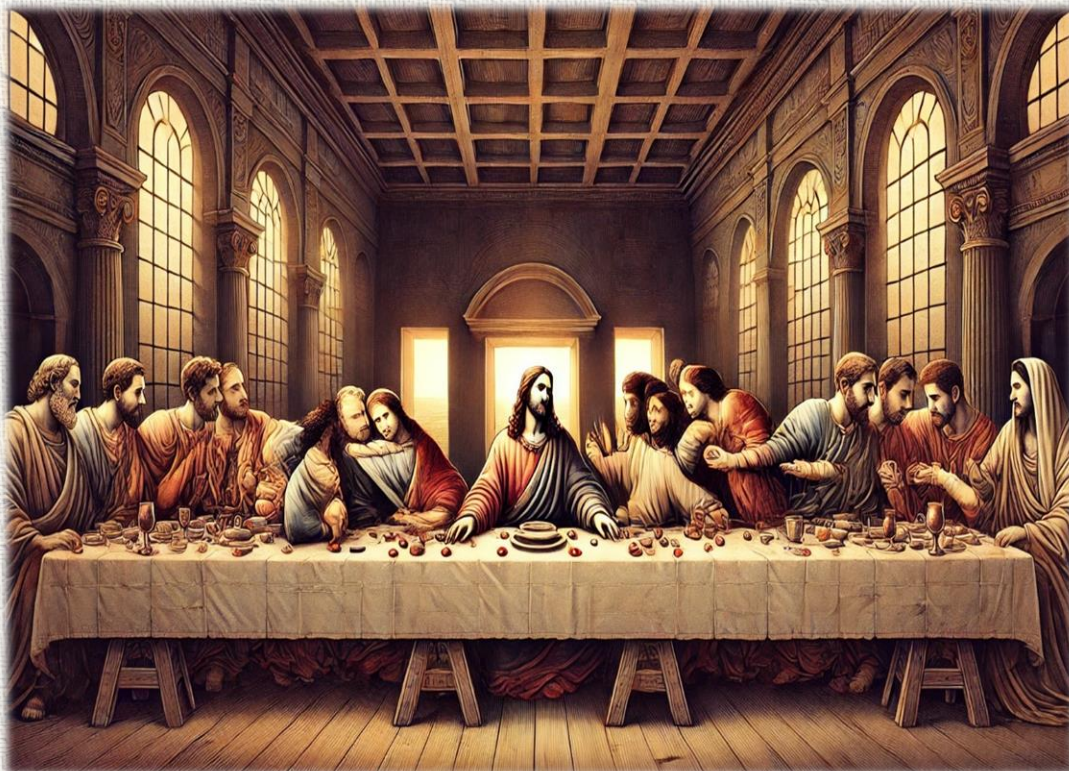
**Artur:** Nunca pensei que os girassóis fossem tão matemáticos!



Professora Nalini: Eles são! E isso mostra como a matemática está presente em coisas que nem imaginamos. É como se a natureza tivesse sua própria linguagem matemática para organizar tudo de forma perfeita. E tem mais, se dividirmos cada termo da sequência pelo seu antecessor encontramos, como resultado, o número aproximado 1,618, conhecido como número de ouro. Este número foi considerado pelos gregos como o número da perfeição e foi utilizado em obras de arte que posteriormente se tornaram famosas, provavelmente pela sua associação com o número de ouro. Como exemplo temos a Mona Lisa, de Leonardo da Vinci, e a Última Ceia, de Salvador Dalí.



Fonte: Ilustração inspirada na Monalisa, criada com inteligência artificial a partir do OpenAI (2024).

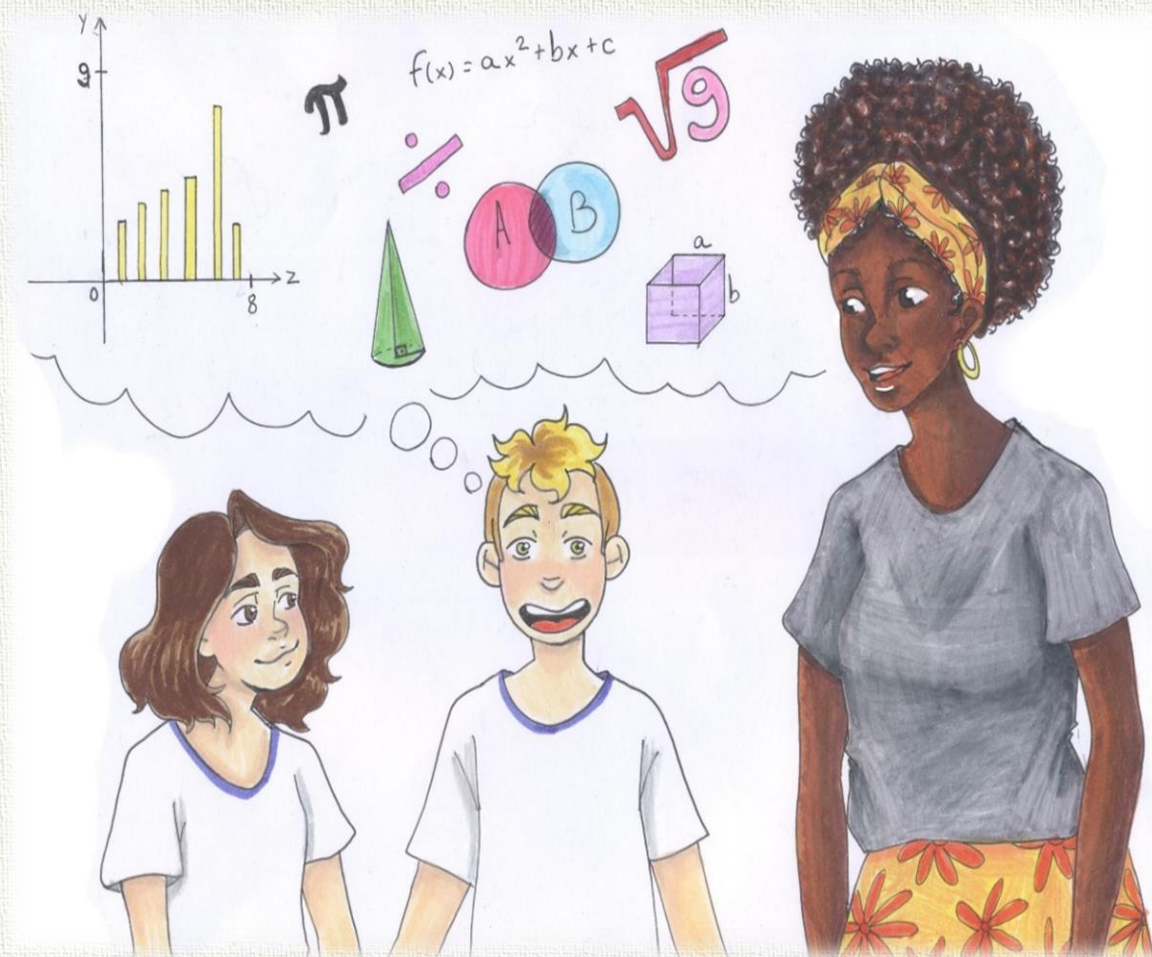


Fonte: Ilustração inspirada na Santa Ceia, criada com inteligência artificial a partir do OpenAI (2024).

**Artur:** Nossa, professora! Nunca imaginei que a matemática fosse tão grandiosa assim!

**Professora Nalini:** Pois é, Artur. A matemática está presente em muitos aspectos da natureza. Quando começamos a perceber essas conexões, fica muito mais interessante, não acha?

**Artur,** agora visivelmente curioso e animado, sorri.



**Artur:** Com certeza! Agora quero descobrir mais dessas coisas. Acho que a matemática pode ser bem legal, afinal.

**Professora Nalini:** Fico muito feliz em ouvir isso. A matemática é como uma lente que nos permite ver o mundo de uma forma nova e fascinante.

Artur, cheio de entusiasmo, vira-se para Agnesi, que o observa com uma expressão de surpresa e satisfação.

**Artur:** Eu sabia que a professora ia gostar do girasso! Agora estou ansioso para aprender mais!

**Agnesi:** Isso é só o começo, Artur. Vamos descobrir muito mais juntos.



A professora Nalini sorri, satisfeita ao ver o entusiasmo crescente de seus alunos. Artur, que antes via a matemática com certa resistência, agora está

pronto para explorá-la com novos olhos. Artur ouve com atenção enquanto a professora explica o conteúdo do dia. Ele ainda sente um pouco de dificuldade, mas, em vez de desanimar, ele se lembra da importância de insistir.

Artur: (pensando) Tudo bem, pode parecer difícil agora, mas eu vou continuar tentando. A professora Nalini disse que o cérebro pode aprender qualquer coisa. Então, eu só preciso continuar.

Nos dias que se seguem Artur continua sua jornada de aprendizado. Ele ainda enfrenta dificuldades, mas a diferença agora é que ele não desiste. Sempre que se sente frustrado, lembra das palavras da professora Nalini e do apoio de Agnesi. Com o tempo Artur começa a perceber pequenas melhorias. Ele consegue resolver alguns problemas sem tanta dificuldade e começa a ganhar confiança. A cada acerto ele sente que está mais próximo de dominar a matemática.



## REFERÊNCIAS

BIOGRAFIAS. **Mulheres na matemática**, Niterói, c2024. Disponível em: <http://mulheresnamatematica.sites.uff.br/biografias/>. Acesso em: 5 nov. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE MATEMÁTICA PURA E APLICADA. **IMPA celebra dez anos da medalha Fields de Artur Avila**. Rio de Janeiro: IMPA, 2024. Disponível em: <https://impa.br/noticias/impa-celebra-dez-anos-da-conquista-da-medalha-fields-por-artur-avila/>. Acesso em: 5 nov. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE MATEMÁTICA PURA E APLICADA. **Nalini Anantharaman fala sobre sistemas ergódicos**. Rio de Janeiro: IMPA, 2018. Disponível em: <https://impa.br/noticias/nalini-anantharaman-fala-sobre-sistemas-ergodicos/>. Acesso em: 6 nov. 2024.

INSTITUTE FOR ADVANCED STUDY. **Nalini Florence Anantharaman**. New Jersey: IAS, c2024. Disponível em: <https://www.ias.edu/scholars/nalini-florence-anantharaman>. Acesso em: 6 nov. 2024.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO OESTE. Departamento de Física. Grupo PET-Física. **Artur Avila (1979 ~)**. Guarapuava: GPET-Física/Unicentro, [2018]. Disponível em: <https://www3.unicentro.br/petfisica/2018/08/28/artur-avila-1979/>. Acesso em: 5 nov. 2024.

Entre matemática e neurônios: uma jornada de descoberta visa responder a questão sobre quais possíveis contribuições os estudos selecionados têm para o ensino e a aprendizagem de Matemática. A narrativa usa uma linguagem acessível para apresentar conceitos das neurociências cognitivas e demonstrar sua importância para o desenvolvimento de habilidades matemáticas. A história acompanha três alunos: Agnesi, Artur e Hipátia, cada um com perspectivas únicas sobre a aprendizagem. Agnesi, uma menina apaixonada pela Matemática, representa a força de seu interesse natural em processos cognitivos, seu irmão Artur tem uma certa resistência e dificuldades de superar barreiras e fortalecer as habilidades cognitivas, Hipátia, curiosa e perspicaz, contextualiza esses conceitos e questiona sobre o papel do professor e a importância da neuroplasticidade. A professora Nalini, por meio da sua flor favorita, desperta algo maravilhoso em seus alunos. A narrativa incentiva os leitores a mergulhar em um mundo fictício e aproveitar as aventuras e descobertas compartilhadas pelos personagens.