



UNIVERSIDADE FEDERAL DO NORTE DO TOCANTINS
CENTRO DE CIÊNCIAS INTEGRADAS
CURSO DE LICENCIATURA EM MATEMÁTICA

STHEFANY CORSO MIKULSKI

OS PROCESSOS DE APRENDIZAGEM E COGNIÇÃO MATEMÁTICA À LUZ DA NEUROCIÊNCIA

Araguaína (TO)

2026

STHEFANY CORSO MIKULSKI

OS PROCESSOS DE APRENDIZAGEM E COGNIÇÃO MATEMÁTICA À LUZ DA NEUROCIÊNCIA

Monografia apresentada ao curso de Licenciatura em Matemática do Centro de Ciências Integradas da Universidade Federal do Norte do Tocantins, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Sinval de Oliveira

Araguaína (TO)

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Geração de Ficha Catalográfica SGFC-UFNT
Gerado automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C826p Corso Mikulski, Sthefany.

Os Processos de Aprendizagem e Cognição Matemática à Luz Da
Neurociência / Sthefany Corso Mikulski. - Centro de Ciências
Integradas - CCI, TO, 2026.
63 f.

Monografia Graduação (Graduação - em Matemática) --
Universidade Federal do Norte do Tocantins, 2026.

Orientador: Sinval de Oliveira .

1. Educação Matemática . 2. Neurociência. 3. Neurobiologia da
Aprendizagem e Cognição.

CDD 510

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de
qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada
a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo
artigo 184 do Código Penal.

Orientador: Sinval de Oliveira, 0000-0002-2345-1109
Orientada: Sthefany Corso Mikulski, 0009-0006-6221-7506

STHEFANY CORSO MIKULSKI

OS PROCESSOS DE APRENDIZAGEM E COGNIÇÃO MATEMÁTICA À LUZ DA NEUROCIÊNCIA

Monografia apresentada ao curso de Licenciatura em Matemática do Centro de Ciências Integradas da Universidade Federal do Norte do Tocantins, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Sinval de Oliveira

Data de aprovação: 03/06/2026

Banca Examinadora

Prof. Dr. Sinval de Oliveira - UFNT – Orientador

Prof. Dr. Ricardo Sousa Santos - UFNT – Avaliador

Prof. Dr. Rogerio dos Santos Carneiro - UFNT – Avaliador

Dedicatória

Dedico aos meus pais, que com todo esforço e amor me permitiram chegar até aqui...

AGRADECIMENTOS

A gratidão é uma das formas mais singelas de amar.

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as bênçãos, oportunidades e desafios que me foram permitidos.

Agradeço imensamente e de todo o meu coração, com cada átomo do meu ser, aos meus pais, Ednilson Mikulski e Solange Corso Mikulski, que nunca mediram esforços para que eu pudesse chegar até aqui, que sempre me apoiaram em todas as minhas decisões, me aconselharam nos momentos necessários e que sempre acreditaram no meu potencial. Eu amo vocês com todo o âmago do meu ser.

Agradeço aos meus irmãos, Gabriely Corso Mikulski e Gabriel Corso Mikulski, por me ajudarem a tornar o processo mais leve e engraçado, por estarem sempre comigo, cada qual de seu modo, sem a Gaby não teria nada artístico em nossas vidas e sem o Gabriel seríamos apenas jovens senhoras que não sabem mexer em tecnologias digitais direito. Definitivamente não seria tão feliz se fosse filha única.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Sinval de Oliveira, que desde o primeiro período me encantou com seu modo de ensinar e sua empolgação em ser professor. O senhor é uma inspiração, uma referência do tipo de professora que quero me tornar. Obrigada por me acompanhar neste processo, e prefiro que não responda a pergunta “eu sou a orientanda mais chata que o senhor já teve?”.

De modo geral, agradeço a todos os professores do colegiado que impactaram em minha formação, levarei aprendizados de cada um. Um agradecimento especial à professora doutora Samara Leandro Matos que me direcionou em muitos momentos do curso e por quem tenho um carinho especial.

Agradeço a todos os colegas e amigos que fizeram parte da minha trajetória até aqui e novamente, com cada um, aprendi algo, sou grata por ter pessoas maravilhosas em minha vida.

Por fim, gostaria de fazer uma nota em especial à minha saudosa vó Maria, que não está mais entre nós há um tempo, mas que sei que olha por mim e que estaria orgulhosa dessa etapa.

Não somos máquinas pensantes que sentem somos máquinas sentimentais que
pensam.
António Damásio

RESUMO

É necessário que aquele que educa entenda como ocorre o processo de aprendizagem, para que o faça da melhor forma possível, pois é fundamental para a formação do professor de matemática saber as formas pelas quais tal processo ocorre, e em particular conhecer como esse elemento se caracteriza. Assim, este trabalho tem como objetivo: perscrutar os aspectos que envolvem a aprendizagem e a cognição matemática, a fim de promover a compreensão desses processos. Possuindo como problema de pesquisa: Como correlacionar aprendizagem e cognição matemática, de forma a compreender a interdependência desses processos? Desse modo, para conseguir realizar o proposto, optou-se por trabalhar com o campo de estudos da Neurociência, cujo objeto central é o sistema nervoso e seu funcionamento. Por isso, a metodologia do trabalho possui caráter qualitativo, tratando-se de uma pesquisa bibliográfica, da qual diversos autores se fazem necessários, mas destacam-se como referencial teórico, Cosenza e Guerra (2011), Lombardi e Lombardi (2024), Costa (2023), Gazarini (2024), Almeida e Justino (2020). Os resultados da pesquisa apresentam que a relação entre aprendizagem e cognição matemática se configura pelo fato de ambas estarem presentes no cotidiano do indivíduo, sendo as sinapses o local onde a aprendizagem manifesta-se e a cognição matemática associada ao raciocínio lógico-dedutivo, as capacidades de combinar e recombinações informações, de aplicações de um mesmo conceito a diferentes situações, uso de representações simbólicas e a capacidade de abstração, do senso numérico, da intuição matemática, entre outras, também depende do que é apreendido ao longo da vida do sujeito, o que corrobora para o desenvolvimento dos dois aspectos, pois ao utilizar das habilidades matemáticas pré-existentes para resolver um problema o indivíduo reforça um circuito neural, o que pode gerar/fortalecer um aprendizado.

Palavras-chave:

Sinapses; Neuroplasticidade; Habilidades Matemáticas; Circuitos Neurais.

ABSTRACT

It is essential for educators to understand how the learning process unfolds in order to facilitate it effectively; indeed, grasping the nature of this process—and specifically its defining characteristics—is fundamental to the training of mathematics teachers. Thus, this study aims to examine the aspects surrounding learning and mathematical cognition to foster an understanding of these processes. The central research question is: How can learning and mathematical cognition be correlated to understand their interdependence? To achieve this objective, the study draws upon the field of neuroscience, which focuses on the nervous system and its functioning. Consequently, the research employs a qualitative methodology based on a literature review; while various authors are consulted, the theoretical framework relies notably on Cosenza and Guerra (2011), Lombardi and Lombardi (2024), Costa (2023), Gazarini (2024), and Almeida and Justino (2020). The findings indicate that the relationship between learning and mathematical cognition is defined by their shared presence in an individual's daily life. Synapses serve as the site where learning manifests, while mathematical cognition—linked to logical-deductive reasoning, the ability to combine and recombine information, the application of a single concept to diverse situations, the use of symbolic representations, abstraction, number sense, and mathematical intuition also depends on what the individual acquires throughout their life. This interplay supports the development of both aspects: when an individual utilizes pre-existing mathematical skills to solve a problem, they reinforce a neural circuit, thereby generating or strengthening learning.

Keywords:

Synapses; Neuroplasticity; Mathematical Skills; Neural Circuits.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01- Características do Neurônio.	19
Figura 02- Apresentação da bainha de mielina.	20
Figura 03- Representação da visão macro do Sistema Nervoso Central.	22
Figura 04- Representação do encéfalo.	23
Figura 05- Representação esquemática do encéfalo e das delimitações de cada lobo.	24
Figura 06- Representação que permite a visualização do lobo da ínsula.	24
Figura 07- Modo como se estrutura o Sistema Límbico.	29
Figura 08- Imagem representando algumas estruturas do cérebro. Atenção ao cerebelo.	32
Figura 09- Fluxograma Complexidade Neurobiológica da Aprendizagem e Cognição	54
Figura 10- Quádrupla da Complexidade Neurobiológica da Aprendizagem e Cognição.	55
Figura 11- Definição de Limite.	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Lim

Limite

SNC

Sistema Nervoso Central

SNP

Sistema Nervoso Periférico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Organização do trabalho	15
2 TUDO PARTE DE UMA FUNDAÇÃO	17
2.1 O Sistema Nervoso	18
2.2 O Neurônio	19
2.2.1 As Sinapses	21
2.3 O Encéfalo e o Cérebro	22
2.3.2 O Sistema Límbico	28
2.3.3 O cerebelo	31
2.4 Neuroplasticidade	32
3 A EDIFICAÇÃO DOS PROCESSOS: APRENDIZAGEM E COGNIÇÃO MATEMÁTICA	35
3.1 Funções nervosas superiores	35
3.2 A Aprendizagem	41
3.2.1 A Aprendizagem à luz da neurociência	42
3.2.2 A aprendizagem e sua relação com a atenção, a memória, a motivação e as emoções	44
3.3 A Cognição Matemática	46
4 SISTEMATIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS CONCEITOS ABORDADOS	52
4.1 Exemplificando	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

“Educar significa, antes de mais nada, estabelecer novas reações, elaborar novas formas de comportamento” (Vigotski, 2010, p. 65). Partindo genericamente do pressuposto de que educar envolve estabelecer novas conexões, observa-se a necessidade de compreensão, por parte dos graduandos e docentes da Licenciatura em Matemática, acerca de dois temas que permeiam a educação: aprendizagem e cognição matemática. Por tal motivo, este trabalho apresentará a análise de tais aspectos, a partir da temática neurociência, compilando informações e correlacionando-as para uma melhor compreensão dos aportes teóricos que as circunscrevem.

Diversas áreas apresentam estudos sobre aprendizagem e cognição matemática, este trabalho tem como foco a área da neurociência, campo cujo objeto central é o sistema nervoso. Para Cosenza e Guerra (2011, p. 142) “As neurociências estudam os neurônios e suas moléculas constituintes, os órgãos do sistema nervoso e suas funções cognitivas e o comportamento que são resultantes da atividade dessas estruturas”, complementarmente, Santos e Coutinho (2024, p. 2611) descrevem a neurociência da seguinte maneira,

A neurociência é o campo do conhecimento que estuda o sistema nervoso, incluindo a estrutura, função, desenvolvimento, genética, evolução e patologia do sistema nervoso e do cérebro. Ela combina várias disciplinas, incluindo biologia, psicologia, química, física, matemática e ciência da computação, para entender como o sistema nervoso funciona em níveis molecular, celular, sistêmico e comportamental.

Assim, a neurociência não é uma área isolada, mas sim a combinação de diversas ciências com o objetivo de compreender o funcionamento do sistema nervoso. Lent (2010) apresenta que diversos profissionais, além dos neurocientistas, estão se aproximando do campo de estudos da neurociência, como é o caso dos “[...] educadores e pedagogos, que estão interessados em saber como o sistema nervoso exerce a capacidade de selecionar e armazenar informações, atributo importante dos processos de aprendizagem” (Lent, 2010, p. 6). Contudo, observa-se que as ciências voltadas ao estudo do cérebro e dos processos neurobiológicos envolvidos na aprendizagem ainda se fazem pouco presentes no contexto escolar, o que evidencia a necessidade de maior inserção desses conhecimentos na formação do professor, especialmente no que se refere aos processos neurobiológicos da aprendizagem e da memória (Lima *et al.*, 2017).

É necessário que aquele que educa entenda como ocorre o processo de aprendizagem, para que o faça da melhor forma possível, pois é fundamental para a formação do professor de

matemática saber as formas pelas quais esse processo ocorre, e em particular conhecer como esse elemento se caracteriza. Quando ele compreende os processos de aprendizagem, sejam eles motores, cognitivos, sociais, afetivos ou psicológicos, aumenta-se a probabilidade de ensinar de maneira eficaz os seus alunos, respeitando assim, as categorias gerais, e a caracterização global deles. Desse modo, o estudante deixa de ser visto apenas como um receptor de conhecimento, mas como um indivíduo dotado de complexos processos de cognição.

Apesar disso, eventualmente, professores destinam seu foco aos objetos que estão à sua volta, no exterior, direcionando seu olhar às dimensões que circundam seus alunos, dispõem de metodologias e métodos distintos, planejam aulas de acordo com seu ambiente escolar, e com as especificidades de cada turma. Contudo, diante das inúmeras demandas pedagógico-burocráticas, como o cumprimento das metas dos programas de ensino oficiais, as exigências da administração e as avaliações externas, observa-se, conforme verificado durante o Estágio I realizado no primeiro semestre de 2025, que os mesmos acabam direcionando seus esforços para que seus alunos obtenham melhor desempenho em provas como o "Aprova Brasil"¹. Esses, e outros diversos motivos que abrangem o âmbito educacional, consomem parte do tempo dos docentes, o que acaba por dificultar a atenção às manifestações cognitivas e aos processos de aprendizagem matemática dos estudantes. Dessa forma, eles podem não estar se valendo plenamente das contribuições das pesquisas desses campos em suas práticas pedagógicas.

Dito isso, os temas Aprendizagem e Cognição Matemática, surgem como temática do trabalho a partir do interesse pessoal nas áreas da psicologia e do sujeito, decorrendo das vivências proporcionadas em diversas disciplinas no âmbito do curso de matemática, tais quais, disciplinas como Filosofia da Educação, Psicologia da Educação, Fundamentos da Educação Inclusiva e leituras nas mídias sociais sobre a temática da neurociência.

A partir dos apontamentos realizados acima, foi necessário estabelecer a pergunta-problema deste estudo, pois como afirma Cervo e Bervian (2002, p. 84), as vantagens da definição de um problema é que ele “[...] fixa, frequentemente, roteiros para o início do levantamento bibliográfico e da coleta de dados;”. Portanto, aborda-se como questionamento central dessa proposta de investigação a seguinte questão: Como

¹ O Projeto “Aprova Brasil” visa o desenvolvimento das competências e habilidades em leitura e resolução de problemas matemáticos e apoio à realização de avaliações externas. O Projeto Aprova Brasil é um material complementar ao livro didático e traz uma série de recursos para facilitar a retomada de habilidades essenciais (Brasil, 2023).

correlacionar aprendizagem e cognição matemática, de forma a compreender a interdependência desses processos?

Optou-se por esse questionamento, pois ele abrange a temática dos processos de aprendizagem, fator que preferiu-se trabalhar desde o início do projeto e também sua relação com a cognição, posto que, no senso comum, observa-se uma justificativa que denota as dificuldades nos processos de aprendizagem de matemática em um amplo sentido, o qual é aplicado tanto para pessoas com alguma atipicidade quanto para aquelas que não a apresentam. Então, os aspectos que permeiam a aprendizagem e a cognição matemática tornam-se relevantes para os professores, uma vez que podem utilizar dessas informações para uma melhor compreensão do modo como seus alunos aprendem.

De acordo com Cervo e Bervian (2002) os objetivos gerais estão relacionados com determinar de forma clara e objetiva o propósito do estudante com a pesquisa. Por tal pressuposto, apresenta-se como objetivo geral: Perscrutar os aspectos que envolvem a aprendizagem e a cognição matemática, a fim de promover a compreensão desses processos.

Ademais, como apresentado por Marconi e Lakatos (2017, p. 239) os objetivos específicos “[...] têm função intermediária e instrumental, permitindo, de um lado atingir o objetivo geral e, de outro, aplicá-lo a situações particulares”. Assim, verificam-se como objetivos específicos: Discorrer sobre a estrutura e o funcionamento básico do sistema nervoso central; Descrever a aprendizagem e a cognição matemática a partir da neurociência; Elucidar as relações existentes entre a aprendizagem e os processos de cognição matemática, suas interdependências de acordo com a neurociência.

Segundo Lima e Miotto (2007, p. 39) “[...] o processo de pesquisa se constitui de uma atividade científica básica que, através da indagação e (re) construção da realidade, alimenta a atividade de ensino e a atualiza frente à realidade”. Assim, a metodologia do trabalho tem caráter de abordagem qualitativa, segundo Guerra *et al.* (2024) a pesquisa qualitativa é fundamental para a investigação científica, baseando-se na compreensão e interpretação dos fenômenos estudados, além da valorização da subjetividade e da diversidade de perspectivas, ela é flexível e adaptável ao processo de pesquisa. Ainda segundo os autores, enquanto a pesquisa quantitativa lida com resultados concretos e mensuráveis, a qualitativa utiliza-se de meios mais subjetivos e complexos, sem a necessidade de quantificação.

O trabalho apresenta-se como uma pesquisa bibliográfica, conforme orientam Marconi e Lakatos (2017, p. 183), para quem “[...] a pesquisa bibliográfica é um apanhado geral sobre os principais trabalhos já realizados, revestidos de importância, por serem capazes de fornecer dados atuais e relevantes relacionados com o tema”. Além disso, segundo os

autores, "sua finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto" (Ibidem).

Dessa forma “a pesquisa bibliográfica possibilita um amplo alcance de informações, além de permitir a utilização de dados dispersos em inúmeras publicações, auxiliando também na construção, ou na melhor definição do quadro conceitual que envolve o objeto de estudo proposto” (Gil, apud Lima e Miotto, 2007, p. 40). Consequentemente, esse tipo de estudo mostra-se adequado para auxiliar na tentativa de responder ao problema proposto.

Conforme o exposto, o parâmetro temático da pesquisa será publicações científicas, que consoante com Marconi e Lakatos (2003, p. 185) “Publicações- livros, teses, monografias, publicações avulsas, pesquisas, etc. formam o conjunto de publicações, cuja pesquisa compreende quatro fases distintas: a) identificação; b) localização; c) compilação; d) fichamento”. O que contempla um vasto campo de estudo para a construção do trabalho e consequentemente para a realização dos objetivos propostos.

Os principais referenciais teóricos durante toda a pesquisa são: Cosenza e Guerra (2011), Lombardi e Lombardi (2024) e Gazarini (2024). No segundo capítulo, além dos citados, apresenta-se também Hall (2017), Afonso Jr. *et al.* (2022), Lent (2010) . No terceiro capítulo, ademais aos já mencionados tem-se Pantano e Zorzi (2009), Costa (2023) e Amaral e Guerra (2020). Em relação ao quarto capítulo, faz-se uso das contribuições de Almeida e Justino (2020), Cosenza e Guerra (2011) e Gilmore (2023). Ressalta-se também que outros autores também contribuíram para o desenvolvimento da pesquisa, contudo, há uma concentração maior nos citados.

1.1 Organização do trabalho

O presente trabalho está organizado em Capítulo 1 Introdução, na qual insere-se o leitor na temática. Após isso, apresenta-se o Capítulo 2 Tudo parte de uma fundação, nele, de maneira geral, são apresentadas as bases e alguns processos neurobiológicos que possuem relevância para a compreensão dos aspectos da aprendizagem e da cognição matemática. Posteriormente, no Capítulo 3 A Edificação dos processos: aprendizagem e cognição matemática, são descritas: atenção, motivação, memória e emoções, além da discussão sobre aprendizagem e cognição matemática. No Capítulo 4 Sistematização dos principais conceitos abordados, apresenta-se a resposta problema de pesquisa, com o auxílio de um fluxograma elaborado a partir dos autores consultados, a fim de abordar uma possibilidade visual de como alguns aspectos abordados no decorrer da pesquisa se conectam. Para a construção do fluxograma, recorreu-se ao auxílio de uma plataforma digital chamada EdrawMax Online que

é destinada à construção de diagramas, fluxogramas e elementos gráficos, além disso faz-se um primeiro exercício de exemplificar, à luz da teoria estudada, algumas interconexões entre aprendizagem e cognição matemática a partir de um cálculo de limites. Nas considerações finais, realiza-se uma breve retomada do escopo do trabalho, a fim de concluir a discussão desenvolvida.

2 TUDO PARTE DE UMA FUNDAÇÃO

A educação é uma das primazias da existência social humana. É observável que, desde o nascimento, o ser humano percorre um caminho de aprendizagens, o qual perdura por toda a sua vida, de maneira mais desenvolvida ou menos elaborada, a depender da realidade de cada um. Verifica-se que um indivíduo saudável, sem algum comprometimento físico ou mental, em geral, irá aprender a sentar, engatinhar, falar, correr, ler, escrever, compreender suas emoções, e assim gradativamente. Para estas e outras funções constata-se que o cérebro é o motor da aprendizagem.

Para que o docente desenvolva bem a sua atividade, que é ensinar, é necessário que ele compreenda os processos que envolvem o objetivo de seu aluno, que é aprender. “Para compreendermos o funcionamento do cérebro em relação à aprendizagem [...] é importante que tenhamos um conhecimento básico de como a informação circula por ele” (Cosenza; Guerra, 2011, p. 17), ou seja, faz-se vantajoso conhecer e compreender a estrutura fisiológica que possibilita a aprendizagem.

Tal perspectiva é reforçada por Cosenza e Guerra (2011) quando os autores afirmam que o trabalho do educador tende a ser mais significativo e eficiente quando este compreende tal funcionamento.

O trabalho do educador pode ser mais significativo e eficiente quando ele conhece o funcionamento cerebral. Conhecer a organização e as funções do cérebro, os períodos receptivos, os mecanismos da linguagem, da atenção e da memória, as relações entre cognição, emoção, motivação e desempenho (Cosenza; Guerra, 2011, p. 138).

O funcionamento do cérebro é complexo. Fazendo uso de uma analogia simples, suponha a existência de uma cidade que apresenta um bom desempenho nos aspectos que a compõem, para tal, é necessário uma estruturação bem organizada, integrada e articulada entre seus sistemas. Analogamente, o corpo humano dispõe da mesma exigência. Além disso, como apresentado pelos autores supracitados,

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. É dele também que emanam as respostas voluntárias ou involuntárias, que fazem com que o corpo, eventualmente, atue sobre o ambiente. (Cosenza; Guerra, 2011, p. 12)

Por consequência, o funcionamento do sistema nervoso é complexo, com diversas funções, ramificações e processos que até hoje não são bem compreendidos pela ciência. Ele é

único, “[...] em relação à vasta complexidade dos processos cognitivos e das ações de controle que pode executar” (Hall, 2017, p. 1693).

Dessa maneira, neste capítulo, será discorrido sobre a estrutura e o funcionamento básico do Sistema Nervoso Central (SNC), no qual serão apresentadas suas partes mais relevantes para o trabalho. Sendo discutido também sobre neuroplasticidade.

2.1 O Sistema Nervoso

Segundo Lombardi e Lombardi (2024) o sistema nervoso é um dos “sistemas de integração” do organismo, controlando e coordenando de maneira direta ou indireta todos os processos orgânicos, apresentando como funções o controle somático e o controle visceral. Para Gazarini (2024), o sistema nervoso compila células especializadas na comunicação, que coordenam funções biológicas no corpo todo, além disso o autor destaca que “Todo nosso comportamento e conceitos como ‘mente’ ou ‘consciência’ passam diretamente pelas funções nervosas” (2024, p. 12).

Em termos gerais, o que os autores expuseram, significa que todo aspecto do gerenciamento da vida humana passa pelo sistema nervoso, seja captando sensações exteriores, sentindo fome, sede, emoções, fazendo uso da motricidade, aprendendo, tomando decisões, entre tantas outras ações, tudo é consequência do bom funcionamento deste sistema, em consonância com outros conjuntos sistêmicos do organismo. Reiterando, pode-se afirmar que o sistema nervoso central é o centro de controle do corpo (Afonso Jr *et al.*, 2022).

No âmbito da organização estrutural, o sistema nervoso está dividido em duas partes: Sistema Nervoso Central (SNC) e Sistema Nervoso Periférico (SNP). Ambos apresentam relevância para a aprendizagem, seja de forma direta ou indireta. Por exemplo, é no SNC que ficam armazenadas informações que são consolidadas durante a vida, por sua vez, uma das funções do SNP é captar sensações e as conduzir pelas vias sensoriais para que sejam processadas no córtex cerebral.

Além dessa divisão dupla do sistema nervoso, há algumas organizações que são feitas para melhor compreensão do SNC e SNP. O SNC está dividido da seguinte forma: Medula espinal e Encéfalo. O Encéfalo é composto pelo Cérebro, Cerebelo e o Tronco Encefálico. O Cérebro divide-se em Telencéfalo e Diencefalo, já o Tronco Encefálico está dividido em Mesencéfalo, Ponte e Bulbo.

O SNP está estruturado da seguinte maneira: Nervos (Cranianos e Espinais), Gânglios e as Terminações Nervosas. Destaca-se que existem diversas outras subdivisões, as

mencionadas correspondem a uma visão geral do sistema nervoso (Lombardi; Lombardi, 2024). No decorrer do trabalho algumas dessas estruturas serão detalhadas de forma mais aprofundada, enquanto outras foram mencionadas para situar o leitor dessa organização.

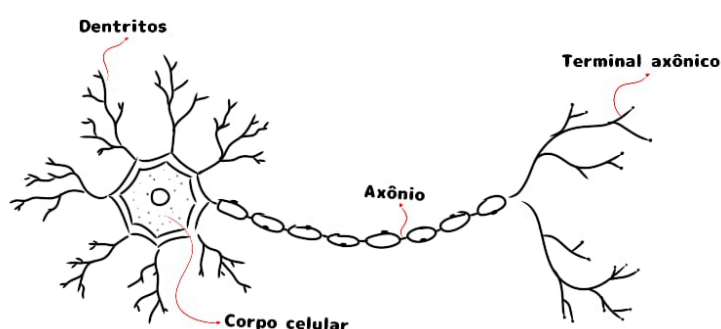
2.2 O Neurônio

Os neurônios, células capazes de conduzir estímulos, possuem um papel fundamental no sistema nervoso. Segundo Lombardi e Lombardi (2024, p. 2), “Os neurônios são células especializadas em receber, processar e enviar informações, além de alterar a sua conectividade e configuração de aminoácidos para contribuir com os processos de memória e aprendizado”.

De acordo com Gazarini (2024, p. 12), “São elas as responsáveis pela percepção de estímulos sensoriais, a tradução destes em estímulos químicos, além da geração e condução de estímulos elétricos.” Com o avanço dos estudos em neurociência estima-se que existam cerca de 86 bilhões de neurônios no organismo.

Referindo-se a sua estrutura, o neurônio apresenta três principais formações anatómicas, o corpo celular, no qual se localiza o núcleo, o citoplasma e outras organelas que desempenham papel no funcionamento celular, os dendritos, cuja função é captar informações de outras células e transmitir ao corpo celular, e os axônios, os quais transmitem informações, sendo os dendritos e os axônios prolongamentos neurais (Afonso Jr. *et al.*, 2022; Lombardi; Lombardi 2024). Observe a figura abaixo.

Figura 01- Características do Neurônio.



Fonte: Elaboração da autora, 2026.

Destaca-se que os neurônios trabalham em redes neuronais² (circuitos neuronais), isto é, comunicam-se entre si a partir de impulsos nervosos/circuitos elétricos. Como descrevem Cosenza e Guerra (2011, p. 12) “[...] essas células se especializaram na recepção e na

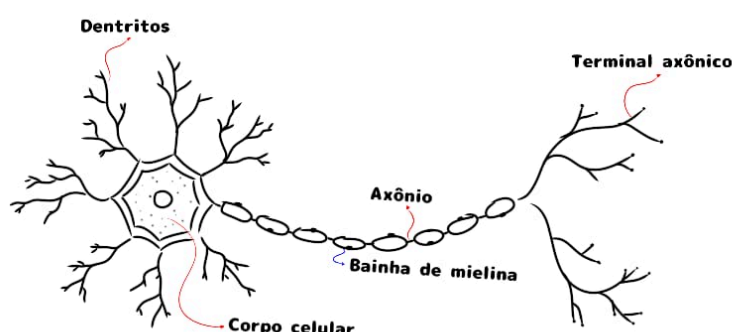
² Rede neural. Conjunto de circuitos neurais localizados em diferentes áreas do cérebro e interconectados. Sua ativação produz funções cognitivas específicas (Amaral; Guerra, 2020, p. 289).

condução de informações e passaram por um processo de organização, no qual formam cadeias cada vez mais complexas”. Além disso, “[...] temos conhecimento de que o impulso nervoso tem uma natureza elétrica, pois é constituído de alterações na polaridade elétrica da membrana que reveste essas células” (Cosenza; Guerra, 2011, p. 13) e como destacado por Lombardi e Lombardi (2024, p. 2), “[...] um neurônio isolado, desconectado de tais circuitos não desempenha papel funcional algum”.

De modo abrangente, os neurônios, a partir das redes neuronais e da integração sináptica (que será explicitada à frente no item 2.2.1), processam e transmitem informações por meio dos impulsos nervosos que os percorrem ao longo de toda sua extensão, essa propagação tem natureza elétrica e depende das estruturas apresentadas na Figura 1.

Uma observação a ser realizada é que, na maioria dos neurônios, os axônios estão envoltos em uma estrutura chamada “bainha de mielina”, que funciona como um isolante elétrico, aumentando a velocidade do impulso nervoso.

Figura 02- Apresentação da bainha de mielina.



Fonte: Elaboração da autora, 2026.

Acrescenta-se que existem células que influenciam aspectos funcionais do tecido nervoso, apresentando funções de manutenção, sendo responsáveis por sustentar, proteger, isolar e nutrir os neurônios, são conhecidas como células glia. Existem três tipos de células gliais: os Oligodendrócitos, cujas principais funções são a sustentação e o isolamento elétrico a fim de otimizar a transmissão de informações. Os Astrócitos, com atuação estrutural, sustentando outras células do tecido nervoso e de formação da barreira hematoencefálica (quando os prolongamentos astrocitários contornam os vasos sanguíneos, controlando o acesso de substâncias que estão presentes no sangue ao tecido nervoso), além da nutrição e a proteção do tecido nervoso. Por fim, a Micróglia, que deriva do sistema imune e tem origem comum às células de defesa do sangue, possuindo como principal aspecto funcional a defesa (Lombardi; Lombardi, 2024; Gazarini, 2024).

2.2.1 As Sinapses

As sinapses são os locais de transmissão de informações e comunicação entre células, por meio dos quais os sinais são transmitidos entre neurônios via neurotransmissores ou de forma elétrica (Cosenza; Guerra, 2011; Lombardi; Lombardi, 2024). Outrossim, um neurônio tem competência funcional de estabelecer sinapses com diversos neurônios, enquanto recebe informações advindas de outras células.

Existem sinapses elétricas e químicas, as mais comuns são as do tipo químico. No primeiro caso, há uma ligação direta entre as células conectadas, nas quais o potencial elétrico se propaga de forma contínua, com menos obstáculos (Cosenza; Guerra 2011; Gazarini, 2024).

No segundo caso, para que ocorra a comunicação, ou seja, a sinapse, são necessárias substâncias que permitam essa interação. Essas substâncias são conhecidas como neurotransmissores, os quais precisam partir da membrana pré-sináptica para interagir com a membrana pós-sináptica (superfície de outro neurônio), para garantir a ligação a receptores pós-sinápticos, gerando uma nova corrente elétrica, que segue para o neurônio seguinte, perpassando a cadeia neuronal até sua resposta funcional, por exemplo, o fortalecimento de um circuito aprendido ou a contração de um músculo para passar uma linha pela agulha (Cosenza; Guerra, 2011; Gazarini, 2024).

Em continuidade com o exposto, os neurotransmissores são substâncias químicas que, ao interagirem com seus receptores, podem apresentar duas funções: ação inibitória ou ação excitatória. No caso inibitório, eles dificultam a geração de novos impulsos nervosos; no caso excitatório, promovem o disparo desses impulsos. Destaca-se que essa condução é sempre unidirecional. Um adendo é que as ações excitatórias ou inibitórias possuem relação direta com o receptor da célula onde ocorre a ação.

Existem diversos tipos de neurotransmissores, por exemplo, adrenalina, dopamina, serotonina, entre outros. Essa vasta gama de neurotransmissores contribui para o refinamento adicional da comunicação sináptica, permitindo que um neurotransmissor possa interagir com receptores específicos gerando respostas diversificadas, ou seja, ele pode causar consequências diversas em redes neurais distintas. Além disso, dificilmente um neurotransmissor desempenha uma única função (Gazarini, 2024).

Para reforçar a necessidade de compreensão desses aspectos para o objetivo proposto, Cosenza e Guerra (2011) afirmam que as sinapses possuem suma importância para a aprendizagem, e em consonância Gazarini afirma que “As sinapses, como pontes entre

neurônios, são os pontos onde a aprendizagem floresce” (2024, p. 31). Questões envolvendo as sinapses serão retomadas posteriormente.

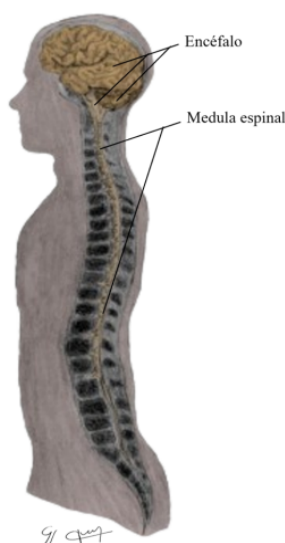
2.3 O Encéfalo e o Cérebro

O encéfalo corresponde a todas as estruturas do Sistema Nervoso Central que estão dispostas acima da medula espinal. Juntamente com a medula espinal, ele é responsável por controlar e executar diversas funções complexas do organismo, como por exemplo, receber, processar e integrar informações sensoriais, estímulos internos e externos, elaborar comportamentos, correspondendo ao centro do intelecto (Cosenza; Guerra, 2011; Afonso Jr. *et al.*, 2022; Gazarini, 2024).

Segundo Cosenza e Guerra (2011, p. 27) “[...] sabemos que não existem dois cérebros iguais, mas podemos afirmar que todos temos vias motoras e sensoriais que seguem o mesmo padrão”. Dito isso, o cérebro corresponde à porção mais extensa e concentra o maior número de neurônios do encéfalo e apesar de seguir uma estrutura padrão a forma como as ligações, como os circuitos neurais vão se estabelecendo depende das experiências de vida de cada um, o que torna cada cérebro único.

O cérebro refere-se à parte mais importante do sistema nervoso, sendo por meio dele que o sujeito torna-se consciente, processa as informações que chegam pelos órgãos dos sentidos, realiza a tomada de decisões, onde ocorre o processo de aprendizagem, entre tantas outras ações e funções do homem consigo mesmo, com o outro e com o ambiente (Cosenza, 2011; Gazarini, 2024).

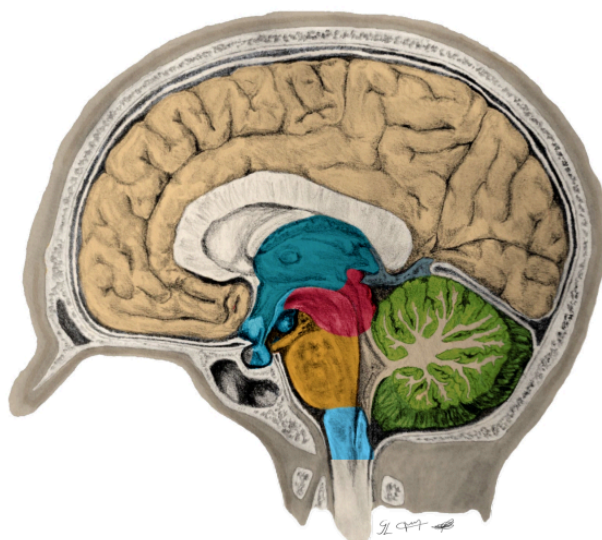
Figura 03- Representação da visão macro do Sistema Nervoso Central.



Fonte: Lombardi; Lombardi, 2024, p. 1

Conforme apresentado na Figura 04, as cores representam as seguintes estruturas do encéfalo: bege (telencéfalo), azul-esverdeado (diencéfalo), vermelho (mesencéfalo), amarelo (ponte), azul-claro (bulbo) e verde (cerebelo), a partir de uma vista medial.

Figura 04- Representação do encéfalo.



Fonte: Lombardi; Lombardi, 2024, p. 6

Quando se observa o cérebro humano seccionado é possível perceber que ele apresenta partes com coloração mais acinzentada e outras mais esbranquiçadas, essas áreas são classificadas, respectivamente, como substância cinzenta e substância branca. A substância cinzenta é formada predominantemente por corpos de neurônios. No que se refere à substância branca ela é constituída por fibras mielinizadas.

Como apresentado anteriormente, o cérebro é particionado em telencéfalo, onde se encontra o córtex cerebral, e em diencéfalo. “O córtex cerebral contém bilhões de neurônios organizados em circuitos bastante complexos que se encarregam de funções como a linguagem, a memória, o planejamento de ações, o raciocínio crítico, etc” (Cosenza; Guerra, 2011, p. 14).

No córtex cerebral são desempenhadas as funções mais complexas do cérebro, ele integra informações sensoriais e motoras, realizando estratégias comportamentais adequadas às situações, além disso, após o processamento cortical as informações sensoriais se tornam conscientes, isso ocorre pela capacidade de compartimentalização do córtex cerebral (Gazarini, 2024).

O córtex está estruturado em grandes regiões chamadas de lobos. Sendo classificados como lobo frontal, lobo parietal, lobo temporal, lobo occipital e o lobo da ínsula, este localizado em uma região mais profunda do cérebro. Na Figura 5, o Lobo frontal representado

No Lobo Frontal encontra-se³ o córtex pré-frontal, região importante para realização de habilidades complexas de alta ordem, como as funções executivas, ou seja, é uma área responsável pela tomada de decisões, atenção, planejamento, organização da memória de trabalho, inibição de impulsos e flexibilidade cognitiva (Afonso Jr *et al.*, 2022).

O córtex pré-frontal amadurece de forma tardia, esse é um dos motivos de, muitas vezes, a adolescência ser um período conturbado e cheio de emoções. Ele se constitui desde o nascimento, apresentando uma continuidade da maturação, um pico de desenvolvimento, durante a adolescência, época na qual gera um aprimoramento significativo das funções nervosas superiores, da memória, da velocidade de processamento, do controle, de habilidades socioemocionais, entre outras, além de ser uma região de significância para o aprendizado.

A memória de trabalho e também a resistência a distrações melhoram, permitindo maior sustentação da atenção seletiva. A velocidade de processamento da informação aumenta, gerando respostas mais rápidas e eficientes, o que resulta em maior facilidade para o raciocínio abstrato e a solução de problemas. O controle de impulsos fica mais eficiente, contribuindo para a autorregulação de suas ações e para o gerenciamento de respostas emocionais. A capacidade de introspecção e de ter insights sobre o próprio pensamento, como também sua percepção das disposições e intenções dos outros são aperfeiçoadas, contribuindo para sua capacidade de julgamento, comunicação interpessoal, responsabilidade, empatia, enfim, para o desenvolvimento de um conjunto de habilidades socioemocionais. O adolescente passa a usar as emoções como guia de suas decisões; ele se arrepende, aprende com os próprios erros, antecipa as consequências, muda de opinião, flexibiliza suas estratégias e ações (Amaral; Guerra, 2020, p. 85).

O Lobo Temporal é outra área importante para a aprendizagem, entre suas funcionalidades estão a percepção/interpretação auditiva, a compreensão da linguagem, a afetividade, o estabelecimento da memória e percepção visual (Afonso Jr *et al.*, 2022; Gazarini, 2024). Nele encontra-se o hipocampo, uma significativa área de consolidação da memória, aspecto que será melhor discutido adiante.

O Lobo Parietal de forma geral está relacionado com questões sensoriais como o tato e a localização espacial (Gazarini, 2024).

O Lobo Occipital está principalmente vinculado ao processamento visual, como, percepção de profundidade e distância, cores e formas (Afonso Jr *et al.*, 2022; Gazarini, 2024).

O Lobo da Ínsula está relacionado com funções motoras viscerais, sensibilidade visceral e percepção gustativa, processamento comportamental e emocional, empatia, nojo, memória tátil e a diferenciação da própria fisionomia (Lombardi; Lombardi, 2024).

³ No lobo frontal também se encontram o córtex motor primário (relacionado a direção, velocidade e movimentos motores), córtex pré-motor (uma área associativa que apresenta alta conectividade com estruturas do SNC, além de ser responsável pelo planejamento e orientação espacial do movimento) e a área da broca (atrelada a produção e repetição da linguagem, fluidez de frases e gesticulação) (Afonso Jr *et al.*, 2022).

Destaca-se que nenhuma das estruturas supracitadas trabalha de forma isolada, algumas apresentam características específicas, mas que também dependem de um trabalho inter-relacionado entre as diferentes áreas do sistema nervoso e nem todas as funções são simplistas, a descrição acima foi realizada visando a compreensão de forma didática, recorda-se assim a complexidade do sistema nervoso central.

O diencefalo é constituído por estruturas que apresentam importantes redes de conexões com o sistema límbico. O diencefalo é formado pelo epitálamo, tálamo, subtálamo e hipotálamo. Para fins de compreensão e em consonância com os objetivos deste trabalho, serão abordados especificamente o tálamo e o hipotálamo.

A motivação regulada pelo hipotálamo e o controle de estímulos mediado pelo tálamo são essenciais para o aprendizado eficiente já que direcionam o foco atencional para o que deve ser aprendido. Essa é uma das chaves do aprendizado relevante (Lombardi; Lombardi, 2024, p. 25).

O tálamo é o principal receptor e transmissor da maioria das informações sensoriais para o córtex cerebral e outras regiões, com exceção das vias olfatórias, todas as vias sensoriais terminam em núcleos específicos do tálamo. Além disso, o tálamo é responsável por codificar informações para que o córtex possa interpretá-las corretamente (Lombardi; Lombardi, 2024; Afonso Jr. *et al.* 2022).

Em seu texto, Lombardi e Lombardi (2024) elaboraram um quadro referente à síntese dos principais núcleos talâmicos com suas respectivas conexões e partição funcional. Considerando o escopo deste trabalho, tornam-se relevantes alguns dos aspectos funcionais explicitados pelos autores.

Com base no quadro, tem-se que alguns núcleos talâmicos participam de circuitos motores, circuitos neurais que regulam a memória e as emoções (sistema límbico), circuitos neurais envolvendo aprendizagem, percepção corporal, associação visual, cognição, linguagem, afeto, sono e vigília (Lombardi; Lombardi, 2024).

O hipotálamo constitui-se principalmente por substância cinzenta, estando relacionado com a regulação das funções viscerais e do sistema endócrino (Afonso Jr. *et al.*, 2022). Lombardi e Lombardi (2024) também apresentam um quadro retratando uma síntese dos principais núcleos e áreas hipotalâmicas associadas aos seus respectivos componentes funcionais. Novamente, dada a natureza da pesquisa serão apresentados alguns desses componentes funcionais.

Em conformidade com o quadro, tem-se que os núcleos hipotalâmicos estão relacionados com a participação de circuitos neuronais envolvidos com o ciclo do sono e

vigília, circuitos que regulam as emoções, e a liberação do hormônio ocitocina (Lombardi; Lombardi, 2024).

Torna-se necessário ressaltar que cada área apresentada, apesar de possuir seus componentes funcionais específicos, outras estruturas podem fazer parte para a realização de determinadas funções, dessa forma, retoma-se a interdependência das estruturas cerebrais.

2.3.1 Vias sensoriais

Como será visto posteriormente, o meio influencia na aprendizagem, logo torna-se relevante abordar sobre as vias sensoriais. Trata-se de mecanismos capazes de permitirem que o sujeito veja, ouça, deguste, cheire, sinta se algo interage com a sua pele, e assim por diante, através dos sentidos. Uma curiosidade é que diversas vias sensoriais e motoras são cruzadas no sistema nervoso, assim, em grande parte, o hemisfério esquerdo do cérebro comanda o lado direito do corpo, e o hemisfério direito do cérebro comanda o lado esquerdo do corpo.

Cosenza e Guerra (2011) comentam que os sentidos da espécie humana desenvolveram-se para captar as energias presentes no meio ambiente, apesar de existirem vários tipos de energia e os seres humanos só serem capazes de identificar àquelas para as quais possuem receptores específicos. Neste mesmo sentido, acrescenta-se o que foi exposto por Amaral e Guerra (2020, p. 27) sobre os sentidos,

[...] cotidianamente, o sistema nervoso recebe e processa os estímulos que chegam a ele por meio dos órgãos dos sentidos – sons, imagens, odores, sabores, sensações táteis, térmicas, viscerais, de posição do corpo no espaço [...] – e elabora respostas que se expressam por meio de comportamentos que tendem a ser adaptativos.

Dado o exposto, as vias sensoriais permitem a interpretação de aspectos do mundo, auxiliando na sobrevivência da espécie. O sistema sensorial apresenta receptores sensoriais específicos, locais onde começam os processos sensoriais. Ele opera através de células e estruturas específicas, especializadas em determinada recepção, tornando-se responsável por transmitir e processar informações buscando gerar respostas à situação que se encontra (Cosenza; Guerra, 2020; Matias *et al.*, 2024).

Por exemplo, se uma cozinheira encosta a mão na panela quente, rapidamente retira sua mão de lá, talvez antes mesmo de processar o que aconteceu, isso ocorre, pois, as vias sensoriais táteis e térmicas indicaram que havia algo que colocasse em algum tipo de risco a pessoa, gerando uma resposta do organismo. Outro exemplo, uma pessoa, ao passar na frente de uma residência de cujo o interior exala um cheiro de bolo de chocolate, o indivíduo através

de seus receptores olfativos relembra o período de sua infância o qual ia para a casa de sua avó, assim, a partir do sistema sensorial é evocada uma memória.

Para uma melhor compreensão desses aspectos, observe a seguinte explicação sobre o “caminho” da informação sensorial.

A informação captada pelos receptores sensoriais será processada ao longo de um circuito neural por unidade integrativas: trata-se do processo de transmissão. Acerca deste ponto, é necessário entender que existem vários neurônios conectados sinapticamente a uma mesma unidade sensorial: a este conjunto, dá-se o nome de via sensorial. Cada via é composta por unidades sensoriais, ou seja, por uma fibra aferente e todos os receptores sensoriais que ela inerva. Ao conjunto de receptores de uma mesma unidade sensorial, denomina-se campo receptivo (Matias *et al.*, 2024, p. 4).

Essas informações são interpretadas no córtex cerebral, onde as áreas sensitivas são dispostas nos lobos parietais, temporais e occipitais (Matias *et al.*, 2024). A informação pode ser modificada durante esse trajeto, também pode sofrer influências de outros centros nervosos do organismo.

Ressalta-se que uma informação só se torna consciente quando é processada no córtex. Logo, as sensações viscerais, sensações do interior do corpo, nem sempre são conscientes, mas são extremamente importantes para o bom funcionamento do organismo, por exemplo, a sensação de dor no estômago causada pela fome é mais perceptível do que alguma alteração glicêmica (Cosenza; Guerra, 2011; Gazarini, 2024).

É preciso lembrar que o cérebro recebe também informações que vêm do interior do corpo. Temos sensações viscerais como, por exemplo, a dor visceral que nos informa que algo não vai bem em nosso organismo. Boa parte das sensações viscerais, no entanto, não chega ao córtex cerebral e, por isso, não se torna consciente. Por exemplo, uma queda na pressão sanguínea é captada por receptores especiais e informada ao sistema nervoso por circuitos específicos. Isso permite que ele promova uma constrição dos vasos sanguíneos para corrigir o problema (Cosenza; Guerra, 2011, p. 20).

Contudo, em alguns casos, as sensações percebidas podem ser ignoradas pelo córtex cerebral, como por exemplo, a sensação da roupa que está vestindo sob a pele, o calçado nos pés, o tic-tac do relógio. Esta é uma das consequências das interpretações realizadas no cérebro e também do foco atencional (que será discutido à frente) pois se o corpo reagisse a tudo que se encontra ao seu redor ficaria sobrecarregado.

2.3.2 O Sistema Límbico

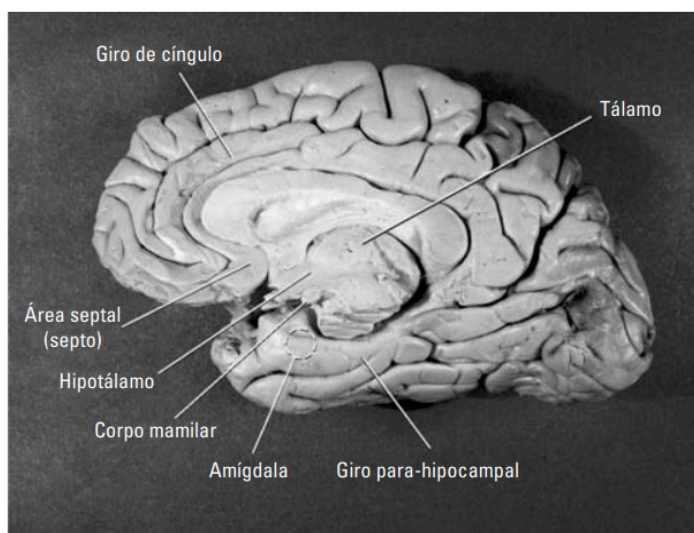
O sistema límbico relaciona-se com o processamento das emoções e da motivação. Ele é composto por várias estruturas do cérebro, sendo uma região bastante interligada com outras

áreas e circuitos do sistema nervoso central, isto é, apesar do sistema límbico ser considerado por alguns autores como o “cérebro emocional” ele não atua sozinho. Esse sistema está localizado abaixo dos lobos temporais, alguns autores especificam diversos componentes dele, contudo, baseando-se na delimitação do trabalho será utilizado a fala de Gazarini (2024) sobre esse complexo funcional.

Ao conjunto de estruturas encefálicas associadas ao controle emocional é dado o nome de sistema límbico (Lent, 2022). Às vezes referido como o “cérebro emocional”, ele inclui estruturas encefálicas que atuam diretamente na regulação das emoções: além do hipotálamo, amígdala e córtex pré-frontal, já mencionados, somam-se o hipocampo, o tálamo e outras regiões corticais, como o córtex cingulado. Algumas dessas áreas cerebrais também têm funções claras na formação de memórias, como vimos na unidade anterior. Essa “sobreposição” de funções emocionais e cognitivas facilita a modulação emocional das memórias (Gazarini, 2024, p. 51).

Como mencionado, o sistema límbico está relacionado a aspectos motivacionais, associando-se assim também ao controle motivacional do processo de aprendizagem, além de possuir relação com os sentimentos de prazer ou punição, situações agradáveis ou desagradáveis e estruturas que fazem parte do processo de memorização, tornando-se componente importante do processo de aprendizagem e de funções cognitivas, aspectos que serão abordados em etapas posteriores (Hall, 2017; Gazarini, 2024).

Figura 07- Modo como se estrutura o Sistema Límbico.



Fonte: Esperidião *et al.*, 2007, p. 58

Na Figura 07, ilustra-se como estão dispostas as estruturas apresentadas por Gazarini (2024) e algumas outras que estão presentes neste sistema, mas que não serão abordadas no trabalho dado as suas especificidades. No contexto do sistema límbico, procede-se à retomada do hipotálamo, seguida da apresentação do hipocampo, da amígdala e do giro do cíngulo.

De acordo com Hall (2017) o hipotálamo é um dos elementos centrais do sistema límbico, representando menos de 1% da massa encefálica, ele é uma importante estrutura de controle do sistema límbico, como visto anteriormente, controla grande parte das funções vegetativas e endócrinas do corpo, acrescenta-se agora questões relacionadas ao comportamento emocional, como parte das funções do hipotálamo. Relembra-se que as estruturas não trabalham sozinhas, mas exigem interação com outros circuitos neurais.

Tratando-se do hipocampo, Hall (2017, p. 2224) expõe que “Quase todos os tipos de experiências sensoriais levam à ativação de pelo menos parte do hipocampo [...]”, segundo o autor, o hipocampo é um mecanismo neuronal importante para a tomada de decisões e para a memória, assim quando ele aponta que uma informação é importante, normalmente ela é armazenada na memória. Contudo, o hipocampo não é local de armazenamento de memórias, como dito por Cosenza e Guerra (2011, p. 64),

Sabemos que o hipocampo e partes adjacentes do córtex temporal não são os locais de armazenamento dos registros, pois as memórias antigas se conservam depois de sua remoção (por uma cirurgia, por exemplo). São estruturas importantes porque se encarregam, de alguma forma, de coordenar o estabelecimento de novas ligações entre neurônios dos circuitos cerebrais que estarão envolvidos na retenção permanente das informações.

Além disso, pelo hipocampo chegam sinais sensoriais, os quais podem iniciar diferentes reações comportamentais no sujeito, a depender das situações vivenciadas (Hall, 2017).

Em relação à amígdala, sabe-se que ela é uma importante estrutura no controle emocional, que associa os sentidos e controla respostas emocionais adequadas. A amígdala também possui papel nas reações às situações do meio em que o indivíduo se encontra, pois realiza conexões com outras diversas partes do sistema nervoso, como com o hipocampo, na consolidação da memória (Cosenza; Guerra, 2011; Hall, 2017; Gazarini, 2024).

Possui participação em reconhecer situações de medo e perigo, de luta e fuga, podendo gerar, por exemplo, comandos para o aumento da vigilância e modificações viscerais (Cosenza; Guerra, 2011; Hall, 2017; Gazarini, 2024). Em consonância com o exposto, verifica-se o enunciado por Hall

As amígdalas parecem ser áreas de conhecimento comportamental que operam em nível semiconsciente. Elas também projetam para o sistema límbico o estado atual da pessoa a respeito de seu ambiente e de seus pensamentos. Com base nessa informação, acredita-se que a amígdala faz com que a resposta comportamental da pessoa seja adequada para cada ocasião (Hall, 2017, p. 2227).

No que diz respeito ao giro do cíngulo pode-se elencar sua relação com os comportamentos, com a regulação e respostas emocionais, auxiliando no reconhecimento de situações que estão ligadas às emoções, contribuindo para a evitação de situações tidas como ruins ao indivíduo.

Posteriormente, no trabalho, será tratado sobre a influência das emoções na aprendizagem. Por consequência, como visto o sistema límbico está intrinsecamente ligado às emoções, aos processamentos e a respostas emocionais, assim como o hipocampo e a amígdala estão relacionados à memória, a amígdala referente ao estado do indivíduo, o giro do cíngulo desempenhando papel no comportamento. Todas essas e outras diversas funções desse sistema estão de alguma forma associadas à aprendizagem e a cognição.

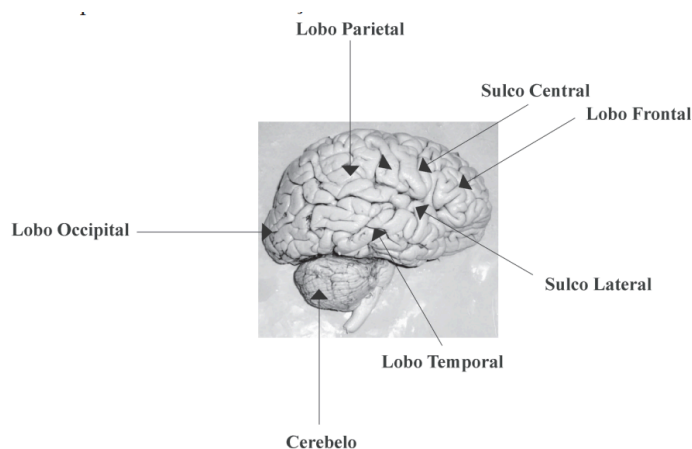
2.3.3 O cerebelo

O cerebelo, do latim “cerebellum” que significa “pequeno cérebro”, é uma importante região para o controle motor. Ele desempenha funções relacionadas ao controle motor, pois recebe informações como estímulos sensoriais e motores advindos da medula espinal, além de possuir uma intensa relação com o córtex cerebral, pois como dito por Lombardi e Lombardi (2024, p. 52) “Não é capaz de iniciar um ato motor por consciente por conta própria, mas atua diretamente na coordenação inconsciente e no controle dos movimentos”, assim como referido pelos autores, o cerebelo é uma importante chave dos circuitos motores (Gazarini, 2024; Hall, 2017; Lombardi; Lombardi, 2024).

O cerebelo recebe informações de diversas áreas do sistema nervoso e também de regiões periféricas do organismo, processa essas informações e gera respostas adequadas às situações em que o indivíduo está, além disso, auxilia o córtex no planejamento do próximo movimento. Ele é muito importante para atividades que exijam respostas musculares rápidas, bem como possui relação com as memórias motoras, como andar de bicicleta, dirigir, tocar algum instrumento, praticar algum esporte, ou seja, está articulado com a coordenação motora (Gazarini, 2024; Hall, 2017; Lombardi; Lombardi, 2024).

Mas como exposto por Gazarini (2024), ele não possui apenas funções motoras, por exemplo, estando ligado a aspectos cognitivos e “ [...] o papel cerebelar de coordenação parece impactar diretamente na emissão da linguagem, especialmente falada” (Gazarini, 2024, p. 23). Hall (2017) também aponta que uma das atividades das quais o cerebelo é especialmente vital é o ato de conversar, demonstrando uma significância no convívio e consequentemente para a aprendizagem.

Figura 08- Imagem representando algumas estruturas do cérebro. Atenção ao cerebelo.



Fonte: Pantano; Zorzi (2009, p. 17).

2.4 Neuroplasticidade

A plasticidade cerebral é a capacidade do cérebro de se moldar às situações, fazendo e desfazendo circuitos neurais de acordo com as vivências de cada indivíduo e com a influência do meio sobre ele, mais especificamente, fortalecendo, enfraquecendo e reorganizando sinapses. Nesse sentido, a neuroplasticidade se apresenta como fator fundamental para a aprendizagem e o desenvolvimento cognitivo (Cosenza; Guerra, 2011; Afonso Jr. *et al.*, 2022).

Na perspectiva de Guerra (2011, p. 1) “[...] Os comportamentos que adquirimos ao longo de nossas vidas resultam do que chamamos de aprendizagem ou aprendizado”. Assim, a capacidade neuroplástica do cérebro é o mecanismo neural que sustenta a aprendizagem.

Quando a criança nasce, seu cérebro é extremamente plástico, permitindo uma gama de aprendizados, principalmente durante os primeiros anos de vida. Diferentemente de outros animais, o ser humano precisa aprender aspectos básicos para sobrevivência, como sentar e andar, a maioria dessas capacidades é aprendida.

Em sua imensa maioria, nossos comportamentos são aprendidos, e não programados pela natureza. Um patinho recém-eclodido não precisa que lhe ensinem a nadar. Ele apenas segue a pata mãe e, ao entrar no lago, já executa os movimentos necessários. Essas capacidades já vêm "embutidas" no seu sistema nervoso. Não é o caso de nossa espécie, cujo cérebro, embora planejado para desenvolver certas capacidades, necessitará de um aprendizado mesmo para capacidades bem simples. Contudo, exatamente por isso a gama de comportamentos e a forma de sua expressão serão muito mais amplas (Cosenza; Guerra, 2011, p. 34).

No decorrer da vida, ações mais complexas vão sendo ensinadas, como por exemplo, falar (ressalta-se que a fala pode ser aprendida pela criança sem que alguém necessariamente

a ensine, porém ela demanda interação com o meio para que isso ocorra), ler, realizar cálculos, compreender as emoções, esses aspectos estão interligados com o meio social no qual o indivíduo se desenvolve, por tal motivo, fatores ambientais também se tornam relevantes nos quesitos aprendizagens.

É fato que durante toda a vida o indivíduo está aprendendo, mesmo que de forma diferente. Mas existem momentos específicos que ele se encontra mais propenso para tal. O primeiro quando criança, na época perto do seu nascimento, pois ao nascer existe um grande número de conexões sinápticas, permitindo as reorganizações requeridas. Depois disso há um ajuste, permanecendo as conexões que realmente serão utilizadas para a realização das ações, na chamada poda ou desbastamento sináptico.

O segundo, na época da adolescência, “[...] quando um grande rearranjo tem lugar, havendo um acelerado processo de eliminação de sinapses, um ‘desbastamento sináptico’, que ocorre em diferentes regiões do córtex cerebral” (Cosenza; Guerra, 2011, p. 36). O que permite o desenvolvimento de capacidades relevantes para a vida adulta, contribuindo com a profundidade das ligações já estabelecidas. Assim, a capacidade plástica do cérebro se torna uma aliada na sobrevivência da espécie.

Para o fechamento deste capítulo será feito um compilado das informações, de forma fluída, com o propósito de reforçar o que foi dito anteriormente, para que o leitor adentre o próximo capítulo. Nesse sentido tem-se que o cérebro é o motor da aprendizagem, sendo um dos órgãos mais importantes para o funcionamento da vida, possuindo um complexo funcionamento.

Torna-se relevante a compreensão de suas características e estruturas, pois é nele que ocorrem as aprendizagens que o indivíduo adquire no decorrer da sua vida. Uma característica importante do cérebro é que apesar de seguir um padrão estrutural e funcional, não existem dois cérebros iguais, pois a história de vida dos indivíduos influencia o modo como ocorrem suas ligações neuronais.

Verificou-se que o sistema nervoso é fundamental para o funcionamento das questões biológicas e sociais do sujeito. Sendo dividido em sistema nervoso central e periférico, cada qual com suas funções, mas de modo geral, sempre conectados.

Foi evidenciado que o neurônio é uma célula primordial para o funcionamento do sistema nervoso, elas recebem, processam e enviam informações através dos impulsos nervosos/circuitos elétricos, sempre por meio de redes neuronais, pois um neurônio sozinho não cumpre seu papel.

Para que haja o encaminhamento das informações existem as sinapses, que são os locais de transmissão e comunicação entre as células. Elas podem ser de dois tipos, elétricas ou químicas. As mais comuns são as do segundo tipo, dependendo de neurotransmissores para realizarem suas funções. Esses neurotransmissores podem ter ação excitatória ou inibitória, a depender de seu receptor e de seus componentes funcionais.

O encéfalo corresponde a todas as estruturas que estão situadas acima da medula espinal, logo as estruturas que o compõem possuem como responsabilidades controlar e executar diversos processos do organismo, sendo através dele que o indivíduo se torna consciente.

O local onde são realizadas as funções mais complexas do organismo é o córtex cerebral, nele são processadas informações sensoriais, motoras, emocionais. Ele se divide em grandes lobos, delimitados por sulcos e giros. Esses lobos são classificados como, frontal, parietal, temporal, occipital e da ínsula, cada qual possuindo componentes funcionais específicos, mas reforça-se que todas as estruturas trabalham, em algum nível, conjuntamente.

No lobo frontal encontra-se o córtex pré-frontal, uma significativa área de planejamento, atividades executivas e de habilidades complexas. Essa região demora para se desenvolver, constituindo-se desde o nascimento e possuindo um pico de desenvolvimento na adolescência.

O tálamo possui importância na recepção e transmissão de informações sensoriais para o córtex. Já o hipotálamo está relacionado com a regulação das funções viscerais, do sistema endócrino e questões referentes ao comportamento emocional.

As vias sensoriais permitem que o sujeito interaja com o ambiente, em decorrência de percepções sobre o meio que se encontra. Elas começam a partir dos receptores sensoriais, onde se iniciam os processos sensoriais, que são interpretados no cérebro, gerando ou não alguma resposta do organismo.

O sistema límbico está intimamente ligado ao processamento de emoções e de aspectos motivacionais. Em sua formação encontram-se o hipocampo, o hipotálamo (mecanismo relevante para a tomada de decisões e memória), a amígdala (tendo destaque no controle emocional), e o giro do cíngulo (apresentando aspectos comportamentais, de regulação e de reconhecimento de situações). No que diz respeito ao cerebelo, ele está intimamente associado a questões motoras.

Por último, mas importante, foi exposto sobre o conceito de neuroplasticidade, que é a capacidade que o cérebro tem de organizar e reorganizar seus circuitos neuronais. Componente fundamental para a aprendizagem e para as ações cotidianas da vida.

3 A EDIFICAÇÃO DOS PROCESSOS: APRENDIZAGEM E COGNIÇÃO MATEMÁTICA

A partir de uma perspectiva poética, Távola (1977), em seu poema “A quem educa...”, retrata que o educador deve acompanhar as mutações da vida, dos tempos, e dos comportamentos, além de que “[...] O ser humano é um feixe de emoções em conflitos, de poderes em confronto. Mas há alicerces básicos em seu comportamento, comuns a qualquer latitude ou longitude do terráqueo.” (Ibidem, s.p.). Isso pode ser articulado com aspectos da neurociência, como: a neuroplasticidade, as estruturas que corroboram para a existência de comportamentos e das emoções, além das partes constituintes que são semelhantes na espécie humana, assim como alicerces de sustentação que podem ser mobilizados de forma propelida em muitas direções.

No capítulo anterior, verificou-se alguns componentes do sistema nervoso. Neste capítulo, algumas dessas estruturas serão retomadas para as discussões subsequentes. Serão abordadas as funções nervosas superiores, a aprendizagem e a cognição matemática, à luz da neurociência.

3.1 Funções nervosas superiores

As funções nervosas superiores são complexas, estando relacionadas com a interação do indivíduo com o meio. De acordo com a literatura, pode-se dizer que grande parte desses processos ocorrem no lobo frontal, e como explicitado anteriormente, essa região apresenta um longo período de desenvolvimento, conseqüentemente, o mesmo ocorre com as funções nervosas superiores, demandando maior tempo para a devida maturação.

São atividades complexas que se desenvolvem e se aprimoram pela interação do indivíduo com os meios ambiente e social (estímulos ambientais e sociais). Ademais, são capacidades que tardam a amadurecer, atingindo um grau de maturação na fase adulta, especialmente no que toca, como veremos adiante, às funções executivas relacionadas à metacognição e à autorregulação. Do ponto de vista pedagógico, importa aos profissionais da educação saber minimamente sobre essas funções, pois impactam sobremaneira a própria disposição do indivíduo para a aprendizagem (Costa, 2023, p. 8).

Em conformidade com Costa (2023), as que serão descritas neste trabalho são: atenção, memória, motivação, emoções e as funções executivas. No que concerne às funções executivas, é por meio delas que o homem interage com o meio social e natural que o cerca, contudo não há um consenso em relação a sua conceituação. Mas, Cosenza e Guerra (2011, p. 87) definem-nas como “[...] o conjunto de habilidades e capacidades que nos permitem

executar as ações necessárias para atingir um objetivo.”. Complementando o exposto Uehara, Fichman e Fernandez (2013, p. 34) argumentam que as funções executivas “Englobam uma série de competências inter-relacionadas e de alto nível de processamento cognitivo, cujo impacto se reflete em todos os aspectos afetivo-emocionais, motivacionais, comportamentais e sociais”. Ou seja, torna-se evidente a relevância desses aspectos na vida humana, consequentemente no âmbito escolar, nos fatores que envolvem a aprendizagem, e relacionam-se intimamente com a cognição.

Alguns importantes aspectos da raça humana são a capacidade consciente, a complexidade de suas relações sociais e de expressão, o raciocínio lógico e o autocontrole, ou seja, ignorar impulsos instintivos. Como afirmado por Cosenza e Guerra (2011, p. 91) “[...] no ambiente escolar as funções executivas são primordiais para que o estudante possa ter sucesso em todas as etapas de sua educação”.

A atenção refere-se à capacidade que o indivíduo tem de se concentrar em algo, focando seu campo atencional para a(s) ação(ões) ou pensamento(s). Costa define a atenção como “[...] à capacidade que o ser humano tem de dar ênfase a fatos relevantes” (2023, p. 9).

Gazarini (2024) salienta que a atenção é imprescindível para o processo de aprendizagem, pois ela “[...] é capaz de direcionar o foco de interesse e favorecer a formação de memórias” (Ibidem, p. 22). Além disso, os aspectos atencionais possuem relação com as vias sensoriais, sistema que possui receptores sensoriais que permitem que o indivíduo interaja com o ambiente que o cerca e consigo mesmo, sendo por meio delas que as informações do exterior chegam ao cérebro.

Cosenza e Guerra (2011) argumentam que através da atenção é possível observar os elementos do ambiente e desconsiderar o que é dispensável, como se a atenção fosse uma lanterna que permite focar em determinados aspectos. Para explicitar de forma didática como isso ocorre, os autores apresentam a seguinte enunciação:

O sistema nervoso pode fazer a seleção da informação através de vários mecanismos. A informação chega ao cérebro por meio de cadeias neuronais cujas estações sinápticas intermediárias podem ser inibidas, impedindo que ela atinja a região em que se tornaria consciente. Existem centros nervosos reguladores do processo, de modo que podemos, conscientemente, dirigir a atenção a determinados estímulos enquanto ignoramos outros. Além disso, os próprios receptores sensoriais costumam se adaptar a uma estimulação prolongada, que deixa então de ser percebida (Cosenza; Guerra, 2011, p. 41).

Assim, a atenção contribui para a seleção dos elementos informativos mais relevantes dada determinada situação. Consequentemente, o sujeito aprendiz deve possuir capacidades atencionais referentes às suas fases de desenvolvimento. Ou seja, uma criança por volta dos

cinco anos terá a função executiva, atenção, menos desenvolvida do que um adulto de trinta e cinco anos, pois há trinta anos a mais de experiências que auxiliam no amadurecimento dessa função, além de um córtex pré-frontal plenamente formado.

Uma exemplificação pedagógica, quando um aluno do Ensino Médio está focado nas redes sociais, em um novo “meme” ele pode citar este conteúdo viral durante conversas do cotidiano, fazendo-o encaixar no contexto, mas se esse mesmo estudante não tiver sua função executiva atencional bem desenvolvida, não será capaz de se manter atento a uma aula de matemática sobre polinômios, pois as mídias digitais apresentaram-se como algo mais interessante e motivador.

Outrossim, não é possível esclarecer quais aspectos e como o cérebro executa essa seleção de um estímulo e não o outro, mas pode-se dizer que ele leva em conta duas coisas: a intensidade do estímulo e recursos da memória, deste modo, atenção e memória são essencialmente relacionadas (Pantano; Zorzi, 2009).

Assim a memória também é um aspecto fundamental para o ato de aprender, sendo um processo complexo. A memória refere-se à capacidade biológica de aquisição, armazenamento e resgate de informações, sendo sustentadas pelas mudanças estruturais, isto é, pelas alterações plásticas das redes neuronais (Gazarini, 2024).

Baseando-se em Gazarini (2024) serão utilizados e descritos os termos aquisição, consolidação e evocação, para tratar da memória. A aquisição refere-se a uma informação relevante que iniciou o processo de memorização, a qual ativa uma rede neuronal, porém essa memória ainda é frágil.

Em seguida, como essa memória está frágil ela deve passar pelo processo de consolidação, isto é, quando ocorrem os processos plásticos do cérebro, ou seja, as alterações biológicas das conexões neuronais, sendo este um procedimento longo até que a memória torne-se estável e apta para a evocação (Cosenza; Guerra, 2011; Gazarini, 2024). A evocação ocorre após a consolidação da memória, sendo o processo de lembrança ou recordação de determinada informação. Vale ressaltar que se o processo de consolidação não ocorreu a memória não pode ser evocada, pois ela não foi armazenada como deveria no encéfalo.

Como dado complementar pode-se dizer que o hipocampo é uma importante área para o processo de consolidação de novos elementos, além disso, aprendizados motores, como andar de patins ou dirigir, necessitam da participação do cerebelo para execução (Cosenza; Guerra, 2011; Gazarini, 2024). Ademais, existem alguns tipos de memórias, neste trabalho como a intenção não é esgotar todos os aspectos neurocientíficos dos campos, serão

trabalhadas a: memória de trabalho, memória implícita, memória explícita e memória de longo prazo.

Memória de Trabalho, Gazarini (2024) a define como uma memória rápida, que dura pouco tempo, é usada para realizar uma ação. Em complemento, a memória de trabalho contribui para a execução de tarefas cotidianas, como exposto por Dias e Seabra (2013, p. 207) “Essa habilidade permite que o indivíduo possa relacionar ideias, integrar informações presentes com outras armazenadas na memória de longo prazo e lembrar sequências ou ordens de acontecimentos”.

Exemplificando, uma pessoa abre a geladeira em busca de uma garrafa com água gelada, aqueles segundos que o indivíduo abre a geladeira, pega a garrafa, a abre, despeja o líquido em um copo, o toma, fecha a garrafa, coloca a garrafa na geladeira novamente e por fim a fecha, não são necessariamente consolidados na memória, são apenas usuais para o cotidiano e para que se saiba o que está fazendo naquele momento.

Acrescenta-se que se essa memória for realizada repetidas vezes, ela pode ser conservada durante um tempo maior.

A memória de trabalho dispõe contudo de um processo adicional que vai permitir a conservação da informação por mais tempo. Isso é feito por meio da ativação de registros já armazenados no cérebro, tornando-os acessíveis à consciência para o uso na ocasião. Se uma informação for reativada um número suficiente de vezes, ou se puder ser associada a sinais e pistas que levam a registros já disponíveis, a memória operacional poderá conservá-la em disponibilidade por um período bem maior, que pode chegar a horas ou mesmo dias (Cosenza; Guerra, 2011, p. 54).

No que concerne à memória explícita, Cosenza e Guerra (2011) a retratam como aqueles conhecimentos que foram adquiridos, são lembrados e utilizados conscientemente. Para complementar, a memória explícita geralmente “[...] armazena informações sobre fatos, eventos e significados e requerem aprendizado de forma consciente, exigindo percepções sensoriais, dedução e elaboração de conceitos” (Gazarini, 2024, p. 41).

Em relação à memória implícita, pode-se definir como a memória que acontece sem esforço, de maneira inconsciente, sem necessariamente a intenção de algo (Cosenza; Guerra, 2011). Exemplos deste tipo de memória são: andar de bicicleta, dirigir, lembrar os passos de uma dança de forma inconsciente, não precisar pensar nas letras para escrever o próprio nome. Isso é reforçado por Gazarini ao dizer que,

Memórias implícitas são aquelas cuja formação e acesso podem acontecer de formas menos conscientes, quase mecânicas, por estratégias associativas ou motoras. Em geral, o conteúdo dessas memórias não pode ser expresso facilmente em palavras, por isso elas também são conhecidas como memórias não-declarativas (Gazarini, 2024, p. 42)

No que tange à memória de longo prazo, Gazarini (2024) diz tratar-se de uma memória que pode durar muitos anos, ou a vida toda, e que necessariamente passou pelo processo de consolidação, sendo exigido para sua formação um tempo maior e a passagem pelos processos da plasticidade cerebral.

Para Cosenza e Guerra (2011) a memória de longo prazo também é aquela que permite que uma informação fique arquivada por um longo período de tempo. Mas os autores acrescentam a necessidade de diferenciar aprendizagem e memória, e que apesar da memória de longo prazo ser essencial para o processo de aprendizagem, as duas são fenômenos distintos.

Esse tipo de memória é chamado tradicionalmente de memória de longa duração, e o conhecimento do seu funcionamento pode auxiliar na otimização da aprendizagem. É bom deixar claro os conceitos de aprendizagem e memória: o primeiro diz respeito ao processo de aquisição da informação, enquanto o segundo se refere à persistência dessa aprendizagem de uma forma que pode ser evidenciada posteriormente (Cosenza; Guerra, 2011, p. 61).

Seguidamente, aborda-se sobre a motivação, atributo que pode tornar a realização de uma tarefa mais promissora e que facilita o processo de atenção e memorização. A motivação está relacionada com os interesses, inclinações e/ou propósitos do sujeito. Quanto mais motivado a realizar uma ação o indivíduo está, muito provavelmente, maior será sua atenção, consequentemente mais direcionada estará sua energia e melhor executada será a tarefa.

A motivação parece ser resultante de uma atividade cerebral que processa as informações vindas do meio interno (fome, dor, desejo sexual) e do ambiente externo (oportunidades e ameaças) e determina o comportamento a ser exibido. A motivação não se refere a comportamentos reflexos ou localizados, mas envolve a aprendizagem e outros processos cognitivos que se encarregam da organização das ações que melhor garantam a sobrevivência (Cosenza; Guerra, 2011, p. 81).

Corroborando com a explicação da motivação, pode-se dizer que ela relaciona-se com o sistema límbico, vinculando-se por exemplo a liberação de dopamina, a questões de sobrevivência, está relacionada a um objetivo, à uma ação, assim expõe Costa (2023).

Do ponto de vista neural, a motivação vincula-se à liberação de dopamina e relaciona-se com fatores como medo e fome enquanto mecanismos de sobrevivência. Trata-se em linhas gerais, de todo fazer, razão ou motivo que conduz uma ação, a mudança de comportamento, a um aprendizado, a um objetivo; é assim, um tipo de impulso (externo ou interno) capaz de fazer com que um indivíduo direcione energia e tempo para realizar determinadas tarefas ou continuar aquelas já iniciadas (Costa, 2023, p. 13).

Além disso, pode-se subdividir a motivação em duas categorias, motivação extrínseca e intrínseca. A primeira está relacionada com as motivações externas ao indivíduo, ou seja, não parte dele, mas de um fator que tenha a finalidade de motivá-lo, por exemplo, uma recompensa por tirar uma boa nota na escola, o fato de evitar um castigo caso infrinja alguma regra ou comer todos os legumes e vegetais para poder saborear a sobremesa.

Em relação à motivação intrínseca, ela parte do indivíduo, tende a ser considerada o tipo mais benéfico, pois a vontade do sujeito está relacionada a ela, por exemplo, o aluno aprende porque quer aprender, realiza determinada ação porque aquilo o motiva, o instiga, diferentemente da extrínseca ele não necessita que alguém lhe apresente motivos para realizar uma atividade, ele a realiza, pois, a motivação parte de si. Logo, essa característica favorece o aprendizado, pois, como apontado por Cosenza e Guerra (2011), em geral, quando o comportamento motivacional é direcionado a um objetivo, este é aprendido.

As emoções são parte essencial na vida do ser humano, em especial, o desempenho acadêmico sofre grande influência do estado emocional dos estudantes, pois elas possuem papel fundamental no processo de aprendizagem, influenciando na aquisição e consolidação das memórias, e a neurociência evidenciou uma relação entre cognição e emoções (Costa, 2023; Gazarini, 2024), além disso, elas contribuem para a sobrevivência da espécie.

As emoções podem ser positivas ou negativas, dependendo da situação, contexto, valores e características do indivíduo. Por exemplo, imagine que alguém convida duas mulheres para falar sobre uma temática de seus interesses para um grande público. A primeira tem como características ser uma pessoa espontânea, sociável e extrovertida, logo essa situação provavelmente lhe causará empolgação. Já a segunda mulher prefere ensaiar longas falas, é introvertida e menos sociável, possivelmente essa mesma situação lhe causará medo e até respostas físicas como sudorese e taquicardia. Assim, as emoções auxiliam para a unicidade de cada indivíduo.

As emoções estão relacionadas a várias estruturas do sistema nervoso, em principal ao sistema límbico, apresentado no item 2.3.2 do Capítulo 2. Observa-se que a neurociência tem evidenciado que há um profundo entrelaçamento entre as emoções e as estruturas cerebrais, como apresentado por Cosenza e Guerra (2011, p. 76)

Na verdade, as neurociências têm mostrado que os processos cognitivos e emocionais estão profundamente entrelaçados no funcionamento do cérebro e têm tornado evidente que as emoções são importantes para que o comportamento mais adequado à sobrevivência seja selecionado em momentos importantes da vida dos indivíduos (Cosenza e Guerra, 2011, p. 76).

Além disso, as emoções, através de processos químicos relacionados ao sistema límbico, podem fazer com que haja respostas corporais, como sudorese, taquicardia, rubor no rosto, tremedeira, esboçar um sorriso, chorar, enfim diversas reações do corpo são influenciadas pelo estado emocional. Ademais, no que se refere à aprendizagem “As emoções indicam para o cérebro o que é importante para a sobrevivência do indivíduo. Aprendemos aquilo que nos emociona, o que é significativo e necessário para vivermos bem, e esquecemos o que não tem mais relevância para o nosso viver” (Amaral; Guerra, 2020, p. 73). Ou seja, os aparatos emocionais apresentam relevância no cotidiano dos indivíduos, pois eles possuem influência em questões comportamentais, de aquisição de valores, pessoais e sociais do sujeito.

3.2 A Aprendizagem

É fato que a espécie humana é social, e “Em sua imensa maioria, nossos comportamentos são aprendidos e não programados pela natureza” (Cosenza; Guerra, 2011, p. 34). No decorrer de milhares de anos, a humanidade inventou e desenvolveu habilidades que auxiliam no seu progresso, como a comunicação, as crenças, a escrita, as relações de poder e de trabalho, os domínios filosóficos, científicos, musicais, artísticos, entre tantos outros aspectos.

Contudo, para que todas essas dimensões pudessem ser alcançadas, fez-se necessário o atributo da aprendizagem. Para Gazarini (2024, p. 30), “[...] o aprendizado é uma das formas mais claras de adaptação ao ambiente que nos cerca”. Assim, ao aprender sobre assuntos distintos, o homem se torna capaz de estabelecer essas relações e modificar aspectos da realidade que o cerca.

Conforme exposto anteriormente, o cérebro é o motor da aprendizagem, ou como referem-se Pantano e Zorzi (2009, p. 11) “O cérebro é a matéria prima para o processo de aprendizagem”. De mesmo modo, “[...] as sinapses, como pontes entre os neurônios, são os pontos onde a aprendizagem floresce” (Gazarini, 2024, p. 31).

A aprendizagem está relacionada aos processos neurobiológicos, sendo necessária a interação de fatores tanto biológicos como ambientais/sociais⁴ para sua ocorrência. Cosenza e Guerra (2011, p. 38) definem, do ponto de vista neurobiológico, “[...] a aprendizagem se traduz pela formação e consolidação das ligações entre as células nervosas. É fruto de

⁴ Não nos valem aqui das teorias psicológicas ambientalistas/comportamentalista/interacionistas, mas sim no fato neurocientífico da neuroplasticidade cerebral, que sofre influência das vivências do indivíduo.

modificações químicas e estruturais no sistema nervoso de cada um, que exigem energia e tempo para se manifestar”. Outrossim, Costa (2023) retrata a aprendizagem como algo de essência dialética, pois provoca mudanças no cérebro e é resultado dessas mudanças.

Além disso, os autores complementam com uma perspectiva para os profissionais da educação, dizendo que “Professores podem facilitar o processo, mas, em última análise, a aprendizagem é um fenômeno individual e privado e vai obedecer às circunstâncias históricas de cada um de nós” (Cosenza; Guerra, 2011, p. 38). Dessa maneira, mesmo que o docente faça um excelente trabalho em sala de aula, a aprendizagem é do sujeito.

Ou seja, a aprendizagem depende de fatores que vão além daquilo que está sob o controle do docente, exemplos disso são, os saberes prévios, as condições alimentares e de sono dos alunos, a capacidade de atenção, os aspectos emocionais e a motivação para aprender.

3.2.1 A Aprendizagem à luz da neurociência

A aprendizagem pode ser descrita como a formação e a consolidação das conexões nervosas, assim, o ato de aprender se traduz como a modificação de estruturas cerebrais, das sinapses, dos circuitos ou redes neurais (Cosenza; Guerra, 2011). Conforme abordado anteriormente, a maneira como cada circuito neuronal é formado depende das experiências de cada um, por conseguinte, a forma como cada indivíduo aprende pode sofrer diferenças. Destarte, não há como definir uma única forma de aprender, não existe uma receita certa para tal (Gazarini, 2024). Desse modo, reforça-se a justificativa desta pesquisa, retratando a importância dos professores compreenderem como ocorrem os processos de aprendizagem.

Dessa forma, observa-se a importância do meio em que o sujeito está inserido para a aprendizagem. Cosenza e Guerra (2011, p. 34) expõem que a interação com o ambiente apresenta importância pois “[...] ela que confirmará ou induzirá a formação de conexões nervosas e, portanto, a aprendizagem ou o aparecimento de novos comportamentos”. Isto é, quanto mais o indivíduo interage com determinado ambiente, mais consolidado determinado comportamento se torna, pois mais reforçado ele é, consequentemente isso molda aspectos do indivíduo.

Por exemplo, uma criança que teve sua infância em um ambiente em que comumente se falava dois idiomas, sua língua materna e alemão, ao crescer conseguirá compreender alemão com maior facilidade. Diferentemente de uma pessoa que desenvolveu seus primeiros anos em um contexto no qual os pais falavam a língua materna e francês, pois essa teve um

estímulo maior ao francês e não ao alemão. Ou seja, as conexões construídas e aprimoradas, no lobo frontal e temporal, nas zonas de compreensão de linguagem e da linguagem propriamente dita foram distintas, concebendo uma unicidade àqueles indivíduos.

De maneira geral, visando explicar didaticamente o processo de aprendizagem sob uma perspectiva neurobiológica, faz-se uso de algumas simplificações, mas é possível dizer que:

- Uma informação é captada pelas vias sensoriais.
- Em seguida, essa informação é codificada e transmitida pelas redes neuronais por meio das sinapses.
- O processamento dessa informação envolve diferentes áreas do cérebro, reforçando que existem áreas com maior especificidade em algum processamento, mas é um trabalho inter-relacional de alta complexidade.
- Posteriormente, se for uma informação útil ou com uma carga emocional ou advinda de algum processo motivacional ou com algum outro aspecto que a torne relevante, a informação passa por processos de consolidação da memória, podendo ser armazenada e posteriormente evocada.
- Dessa maneira, a aprendizagem ocorre como resultado das modificações sinápticas.
- Além disso, quanto mais utilizada for a rede neural responsável por determinada informação, maior será seu fortalecimento, o que facilita sua evocação futura.

Reiterando-se o exposto, torna-se pertinente apresentar a contribuição de Amaral e Guerra (2020), que endossam a argumentação de que a aprendizagem é consequência da reorganização das redes neuronais.

[...] na perspectiva da Neurociência, a aprendizagem resulta da reorganização de conexões neuronais, gerada a partir da atividade de neurônios estimulados pelas informações vindas do ambiente externo e interno. A partir do novo padrão de organização dos circuitos neurais, emergem novos conhecimentos, habilidades e atitudes que modificam nossos comportamentos e, consequentemente, a nossa expressão e atuação no mundo (Amaral; Guerra, 2020, p. 69).

As sinapses são os locais de comunicação e transmissão de informações entre os neurônios, como evidenciado no item 2.2.1 do capítulo 2, assim as sinapses possuem relevância fundamental para o processo de aprendizagem. Para Lent (2019) de uma forma simplificada, é possível dizer que as sinapses são a sede da aprendizagem, sendo por meio delas que os neurônios aprendem.

A sinapse, portanto, é a sede celular da aprendizagem e da memória, o local onde se dão os mecanismos moleculares de que os neurônios dispõem para prolongar a permanência de um fenômeno observado ou captado. Representa o sítio mais reducionista de representação da aquisição e consolidação dos fenômenos da aprendizagem. E na sinapse que o neurônio aprende (Lent, 2019, p. 33).

Notabilizam-se também as capacidades plásticas do cérebro, a chamada plasticidade cerebral, que é a capacidade que o cérebro tem de reorganizar seus circuitos neuronais a partir de suas interações com o ambiente visto no item 2.4 do segundo capítulo. E a partir da constância do uso dos mecanismos plásticos do cérebro, um neurônio torna-se capaz de aprender, ou seja, ao captar uma informação de outros neurônios e guardá-las por um tempo, essa informação eventualmente passa pelos processos da memória e alcança diversos locais do cérebro, além disso, o reforço das interações com o ambiente pelos processos plásticos auxiliam no resgate das informações adquiridas (Lent, 2019; Gazarini, 2024).

Dado o exposto, pode-se dizer que para a ocorrência da aprendizagem, necessita-se de uma organização ou fortalecimento das conexões sinápticas. Mas a aprendizagem não ocorre somente por essas estruturas, há todo um aparato cerebral, que faz uso das diversas áreas e estruturas biológicas apresentadas anteriormente no Capítulo 2, por exemplo,

A motivação regulada pelo hipotálamo e o controle de estímulos mediado pelo tálamo são essenciais para o aprendizado eficiente já que direcionam o foco atencional para o que deve ser aprendido. Essa é uma das chaves do aprendizado relevante (Lombardi e Lombardi, 2024, p. 25).

Ou ao tratar sobre a memória e o armazenamento das informações, estruturas como o hipocampo, localizado no lobo temporal, juntamente com o giro do cíngulo, no qual são processadas as emoções, que conferem carga emocional às situações, são exemplos de estruturas utilizadas no processo de aprendizagem (Amaral; Guerra, 2020).

Portanto, Lent (2019) aponta que as sinapses são o centro, a unidade mais elementar pela qual a aprendizagem se configura. No entanto, a compreensão de Lombardi e Lombardi (2024) reforça a complexidade das funções cerebrais que gravitam em torno da aprendizagem. Nessa direção, na próxima seção, inicia-se um trabalho de compreensão da aprendizagem tendo em vista a atenção, a memória, a motivação e as emoções.

3.2.2 A aprendizagem e sua relação com a atenção, a memória, a motivação e as emoções

As argumentações apresentadas até esse momento já denotam que a aprendizagem não ocorre em uma única região cerebral, fazendo uso de uma área de maneira individual, diversos outros processos e áreas cerebrais estão envolvidas, como uma cidade interligada para que tudo ocorra bem. Por isso, serão abordados alguns processos que estão intimamente

ligados com a aprendizagem e que já foram tratados de forma isolada previamente. Ademais, Lent (2019, p. 51) expõe que

[...] é mais realista concluir que a aprendizagem envolve não apenas neurônios e sinapses isolados, e não apenas circuitos neuroglicais dentro de módulos cerebrais, mas um conjunto de diferentes áreas do cérebro que constituem redes. Áreas cerebrais são conectadas por feixes de substância branca de longa distância, e portanto, se queremos compreender os mecanismos de plasticidade que estão na base de comportamentos complexos, devemos ter em vista a possibilidade de que esse fenômeno ocorra nessas longas vias também, e não apenas dentro dos pequenos módulos [...].

Durante essa seção, será utilizado um exemplo para que possam ser discutidos os aspectos acima mencionados. Tome como base o seguinte exemplo: tem-se a situação que um indivíduo, chamado Gabriel, sai em um dia muito ensolarado de sua residência, sem óculos escuros, e acaba olhando diretamente para o sol, o excesso de claridade, recebido pelas vias sensoriais oculares, e processados pelo córtex visual no lobo occipital, vai causar um determinado incômodo, o que vai reforçar uma conexão neuronal existente ou as sinapses vão criar uma nova informação expressando que não se deve olhar diretamente para o sol, assim em uma próxima situação Gabriel utilizará um óculos de sol, ou não realizará a situação que causa desconforto, pois o cérebro recebeu a informação, interpretou, relacionou com o fator, conhecer o que é um óculos solar, e percebeu uma maneira de resolver este problema.

Reiterando sobre a atenção, ela é o fenômeno que auxilia o sujeito a focar em determinado objeto. Partindo do exemplo, observe que a atenção de Gabriel ao sair de casa foi direcionada ao objeto que mais lhe causou foco, isto é, o sol.

De modo semelhante, para que se aprenda algo é necessário que a atenção seja dirigida àquilo que se deseja aprender, para que os distratores não impeçam a aquisição da informação que posteriormente vai tornar-se memória. Assim, a atenção “Como uma lanterna focalizada, ela ilumina os caminhos do aprendizado, selecionando criticamente o que merece ser gravado na biblioteca da memória” (Gazarini, 2024, p. 57) é fator crucial para o ato de aprender.

Através da motivação, que está relacionada aos interesses do indivíduo, têm-se no exemplo, que Gabriel sofre um incômodo causado pelo excesso de claridade, logo sua motivação de não realizar a ação, olhar para o sol, é intrínseca, pois ninguém lhe motivou a isso, foi uma ação própria, que neste caso, visava seu bem-estar.

Por conseguinte, ao tratar da memória, que é o ato de adquirir, armazenar e posteriormente evocar uma informação, pode-se observar no exemplo que o incômodo vai reforçar uma conexão neuronal existente ou as sinapses vão criar uma nova informação expressando que não se deve olhar diretamente para o sol, assim em uma próxima situação

Gabriel utilizará um óculos de sol, ou não realizará a situação que causa desconforto, pois o cérebro passou pelo processo de aquisição, consolidação e posteriormente de uma evocação da lembrança do que ocorre se Gabriel olhar diretamente para o sol.

Assim, as emoções, neste caso, não foram positivas, pois a ação causou um incômodo. Logo, a carga emocional dessa ação é negativa, o que favorece a formação da memória e do aprendizado, não olhar para o sol diretamente sem proteção solar, pois esse aprendizado auxilia em uma sobrevivência mais amena e agradável.

Sintetizando o exposto, a partir dos conceitos da neurociência explorados até aqui, pode-se dizer que a aprendizagem ocorre durante toda a vida, partindo de processos biológicos e da interação do indivíduo com o meio, a partir da reorganização das sinapses, da plasticidade cerebral e envolve diversas funções no seu processo.

Aprendizagem ocorre a partir da reorganização de sinapses, de circuitos e de redes de neurônios, interconectados e distribuídos por todo o cérebro, o que envolve e também promove o desenvolvimento de funções mentais, tais como atenção, emoção, motivação, memória, linguagem e raciocínio lógico-matemático (Amaral; Guerra, 2020, p. 36).

Portanto, a aprendizagem é um processo complexo do organismo, dependente de diversas áreas do cérebro e de diversos fatores aos quais o professor não dispõe de instrumentos de controle, ou mesmo interação.

3.3 A Cognição Matemática

Este tópico possui como principal embasamento teórico o livro, *Como o cérebro processa a matemática? Ensinos da neurociência para uma pedagogia renovada*, de Almeida e Justino (2020). Nele, os autores apresentam contribuições de diversos pesquisadores, fazem comparações entre os humanos e os animais, entre outros. Os autores abordam questões relacionadas à cognição humana (com as explicações voltadas para matemática), sendo estas as partes que interessam a esta pesquisa. Também faz-se uso das contribuições de Cosenza e Guerra (2011) e de outros pesquisadores.

De acordo com Heyes (2012, s.p.) “Somos animais especializados em pensar e conhecer - em cognição - e nossos extraordinários poderes cognitivos nos permitem realizar coisas notáveis”, isto é, a capacidade cognitiva do homem auxilia no desenvolvimento das sociedades ao longo dos séculos. Corroboram com isso Almeida e Justino (2020) ao dizerem que, baseado nos estudos em neurociências, os humanos, utilizando de componentes inatos,

ao longo da história adquiriram a capacidade de pensar matematicamente. Heys ainda apresenta exemplos que remetem aos aspectos cognitivos.

Transformamos nossos hábitos alimentares com a agricultura e a culinária, e transformamos nossos habitats com edifícios, pontes e estradas [...] Somos seres políticos e econômicos, negociando acordos que afetam milhões de pessoas e transacionando instantaneamente moedas raras com completos estranhos anônimos em diferentes fusos horários. Conhecemos o tempo, o compreendemos até certo ponto e podemos medi-lo com precisão. Comunicamo-nos por meio de símbolos — linguagens faladas e escritas — e, utilizando essas linguagens, desenvolvemos um vasto conhecimento de nossa própria história e diversidade, bem como de todos os aspectos dos mundos natural e físico. Nossas vidas são enriquecidas por uma fabulosa gama de objetos belos, intrincados e provocativos — pela arte, arquitetura, música e dança — e, além de desenvolvermos o arsenal do ‘choque e pavor’, praticamos esportes, rituais complexos que canalizam e redirecionam o impulso de lutar (Heys, 2012, s.p.).

Diante do exposto, é possível lembrar que a capacidade humana de raciocinar, de compreender o mundo que o cerca, de desenvolver linguagem, escrita, matemática, são aspectos que diferenciam os *homo sapiens* dos demais animais. Efetivamente, a Matemática possui importância social, histórica e constitucional para a humanidade. Para Gilmore (2023) as habilidades matemáticas se associam a questões como qualidade de vida, bem-estar e profissionalidade.

Além disso, “A Matemática ensina a estruturar o raciocínio lógico – dedutivo, isto é, ensina a pensar, que é uma condição imprescindível para qualquer área do saber” (Almeida; Justino, 2020, p. 5). Logo, a matemática é a ciência racional, pois exige pensamentos racionais, abstrações, deduções lógicas, possui sua linguagem própria, permite a visualização de padrões, entre tantas outras especificidades.

Para Almeida e Justino (2020) a matemática é parte estruturante do pensamento humano. Os autores apresentam quatro habilidades que tornam a cognição humana única, são elas:

[...] 1) a habilidade de combinar e recombinar diferentes tipos de informação e conhecimento para obter novos *insights*; 2) a capacidade de aplicar a mesma ‘regra’ ou solução de um problema a uma situação inteiramente nova em um contexto diferente; 3) a capacidade de criar e facilmente compreender representações simbólicas a partir de inputs sensoriais e computacionais; 4) a habilidade de elaborar raciocínios abstratos a partir de inputs sensoriais e perceptuais brutos (Almeida; Justino, 2020, p. 152).

Assim, segundo os autores, essas habilidades podem ser consideradas matemáticas, pois são elementares ao raciocínio dessa área. Pois, ao combinar e recombinar diferentes informações, o sujeito consegue realizar, por exemplo, uma equação que necessita de uma manipulação algébrica. Ou, ao dividir um retângulo pela diagonal e utilizar a fórmula da área

do triângulo em cada parte dividida para descobrir o valor da área total do retângulo, o indivíduo utiliza da capacidade de aplicar a mesma “regra” a uma situação diferente.

Ao desenhar a figura do retângulo e dividi-lo na diagonal formando dois triângulos e visualizando isso, o indivíduo consegue elaborar e compreender representações simbólicas. Também, ao ser capaz de abstrair as formas geométricas, sem tê-las em mão, a pessoa utiliza da habilidade de elaborar raciocínios abstratos.

Um aspecto apresentado por Almeida e Justino (2020), que é interessante de se destacar, diz respeito à intuição matemática, os autores a comparam com o vento, intangível, mas sabe-se de sua existência. Os autores comentam que a intuição matemática está relacionada à criação e a inventividade, que são inerentes à matemática. Além disso, eles dizem que “Não há uma definição precisa, um conhecimento exato do que seja essa ‘intuição’. Não sabemos se corresponde a uma entidade mental ou a um processo, porém parece atender a três requisitos: é rápida, automática e inacessível à introspecção” (Almeida; Justino, 2020, p. 131).

Em relação ao senso numérico, Cosenza e Guerra (2011) dizem que ele é uma maneira básica de representar objetos no cérebro dos animais. Em consonância, Almeida e Justino (2020) abordam que este senso relaciona-se com a capacidade que o homem tem de guardar dados na memória. Em principal na memória de curto prazo, que permite a lembrança de alguma informação durante seu uso, os autores apresentam o seguinte exemplo:

[...] consideremos a simples adição “ $2+3$ ”, para a efetuarmos necessitamos manter mentalmente “2”, na memória de curto prazo, antes dele ser incrementado por “3”, para obtermos o resultado final “5”. Sem a memória de trabalho, de curto prazo, isso seria impossível (Almeida; Justino, 2020, p. 146).

Por conta do senso numérico, alguns estudos retratam que os bebês conseguem observar alguns conceitos de quantidade, contudo, Almeida e Justino (2020), expressam que raramente esse senso numérico ultrapassa quatro.

[...] o cérebro humano tem características programadas geneticamente que o habilitam a lidar com números. Para isso, ele é capaz de processar, muito precocemente, o conceito de quantidade. Crianças com poucos meses conseguem discriminar quantidades e até mesmo realizar cálculos simples, ao contrário do que se pensava até recentemente (Cosenza; Guerra, 2011, p. 109).

Em relação aos processos fisiológicos, Cosenza e Guerra (2011) apresentam o uso do lobo parietal, quando se trata de comparações de quantidades, mas ressalta-se que não há um centro de processamento matemático no cérebro, pois muitas áreas contribuem para as

atividades matemáticas. Ainda segundo os autores, existem pelo menos três regiões cerebrais que estão relacionadas com os números.

Eles apresentam então o modelo do triplo código, no qual, há três circuitos diferentes de processamento dos números, que são: “[...] : 1) a percepção da magnitude (fileira numérica); 2) a representação visual dos símbolos numéricos (algarismos arábicos); e 3) a representação verbal dos números (quatro, sete, vinte e um, etc.)” (Cosenza; Guerra, 2011, p. 112).

Corroborando com o apresentado, na percepção de magnitude, os números são representados de forma ordenada como quantidades aproximadas. Em relação ao visual, fazendo uso da memória de trabalho, os números são codificados em ordem de dígitos. No verbal, há uma codificação dos números como sequências de palavras (Almeida; Justino, 2020).

De acordo com Cosenza e Guerra (2011), o primeiro circuito está localizado no córtex do lobo parietal, o segundo no córtex na junção occipito-temporal, e o terceiro em partes das regiões temporo-parietais. Isto é, faz-se uso de diversas áreas do cérebro para o processamento matemático.

Outro aspecto a ser abordado são os neurônios numéricos, que são os neurônios que respondem a estímulos numéricos variados, além disso, eles apresentam números “favoritos”, pois acabam respondendo mais fortemente aos estímulos desses números, e mais fracamente aos que não consideram favoritos (Almeida; Justino, 2020). Recorda-se que os neurônios trabalham em redes neuronais/circuitos neuronais, ou seja, um neurônio sozinho não determina uma preferência, mas a maioria daquele circuito, sim.

No que se refere a outro aspecto, Almeida e Justino (2020) sustentam que a Linguagem e a Matemática são duas disciplinas fundamentais para a construção da humanidade: a Linguagem, pois permite a comunicação, e a Matemática, pois ensina a pensar e a raciocinar logicamente. Além do mais, a linguagem/leitura e a matemática estão correlacionadas, segundo Almeida e Justino (2020) diferentes regiões da matéria cinza estão comprometidas com a matemática ou com a leitura. Endossa que linguagem e matemática relacionam-se Gilmore, quando diz que

[...] as habilidades linguísticas das crianças (incluindo vocabulário e habilidades fonológicas) estão relacionadas às habilidades numéricas iniciais em crianças pré-escolares (Cahoon et al., 2021 ; LeFevre et al., 2010 ; Purpura et al., 2011). Em crianças em idade escolar, as habilidades linguísticas estão associadas às habilidades aritméticas (Träff et al., 2018 ; Vukovic & Lesaux, 2013), e a compreensão da

linguagem está associada à resolução de problemas com palavras (Fuchs et al., 2006) (Gilmore, 2023, s.p.).

Assim, não se pode dissociar linguagem e matemática, isso é evidenciado por Almoammer *et al.* (2013) ao dizerem que se associa ao conhecimento numérico a aprendizagem de uma lista verbal de contagem, além do fato de que ter uma lista verbal mais robusta auxilia na representação de quantidades maiores, isto é, em grande parte da civilização, a linguagem possui papel central na aquisição e uso dos numerais, além do desenvolvimento inicial matemática.

Na sequência da análise, Gilmore (2023) trata um pouco sobre três níveis de cognição matemática, o primeiro relacionado ao desenvolvimento geral do aluno, o qual inclui raciocínio lógico e resolução de problemas. O segundo, relaciona-se com a proficiência em componentes específicos da matemática, as habilidades que o sujeito tem para realizar o que precisa em matemática. O terceiro nível são os processos matemáticos básicos, que não são fáceis de caracterizar, mas sustentam os processos anteriores, exemplos deles são, comparação, ordenamento, associações espaço-numéricas, intuição geométrica e compreensão do valor posicional, esses processos são desenvolvidos ao longo da aprendizagem.

Em suma, a cognição matemática ainda não se apresenta bem definida, mas é fato que a matemática possui caráter essencial no progresso da humanidade. Auxiliando no desenvolvimento do pensamento lógico-racional, a cognição humana relaciona-se com a capacidade de combinar e recombinar informações, usar uma mesma ferramenta em contextos distintos, elaborar e compreender diferentes símbolos e, não mesmo importante, habilidade de valer-se das capacidades de abstração.

A intuição matemática impulsiona o homem, já segundo os indícios, o senso numérico, capacidade de representar objetos na mente, pode ser algo inato, recordando-se que dificilmente esse senso ultrapassa quatro elementos. Outrossim, o lobo parietal possui relevância no processamento de comparações, mas diversas áreas contribuem para a assimilação matemática. Também associam-se a linguagem e matemática, isto é, o capital intelectual proporcionado pela linguagem, pode vir a favorecer a compreensão matemática. Assim, a matemática é parte fundamental do desenvolvimento humano e das capacidades lógicas racionais.

4 SISTEMATIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS CONCEITOS ABORDADOS

Neste capítulo, será realizada uma sistematização dos principais conceitos abordados anteriormente, com o objetivo de, a partir do exposto acima, responder à pergunta problema deste trabalho. Assim sendo, reitera-se a importância do docente conhecer os aspectos que permeiam a aprendizagem e a cognição matemática.

Dessa maneira, recorda-se sobre as estruturas corpóreas/cerebrais apresentadas no segundo capítulo e sua relação com a organização, codificação, interpretação, consolidação e evocação das informações, soma-se a isso, as funções que exercem para todo o corpo. Dada a densidade de informações que precisam ser consideradas, parece útil e também didático propor uma sistematização a partir de um fluxograma, denominado por Complexidade Neurobiológica da Aprendizagem e Cognição. A tarefa inicia-se recordando que no segundo capítulo descreve-se o Sistema Nervoso, o qual é constituído pelo sistema nervoso central e periférico; neurônio; sinapse; cérebro; córtex cerebral; lobos frontal, occipital, parietal, temporal e da ínsula; diencéfalo; tálamo; hipotálamo; vias sensoriais; giro do cíngulo; sistema límbico; hipocampo e amígdala; cerebelo; neuroplasticidade.

Ao se abordar a aprendizagem e a cognição matemática, no terceiro capítulo, foi necessário tratar sobre as funções nervosas superiores, atenção, memória, motivação e emoções, pois elas estão relacionadas com questões diárias, consequentemente, com o ato de aprender e mais especificamente, quando se aprende matemática, com a cognição matemática, pois os processos são interligados, e uma coisa está condicionada a outra, de maneira mais explícita ou menos. Por isso, as funções nervosas superiores também são apresentadas no fluxograma Complexidade Neurobiológica da Aprendizagem e Cognição.

No que concerne à aprendizagem tem-se que o cérebro é seu motor; que as sinapses são os locais onde ela floresce; que ela necessita da formação e consolidação de circuitos neurais, da neuroplasticidade; possui dependência na relação do indivíduo com o mundo; ela utiliza diversas áreas e regiões do cérebro e possui como par dialético a memória. Didaticamente, pode-se dizer que ela possui um ciclo, onde há a captação da informação pelas vias sensoriais, a codificação e transmissão pelos circuitos neurais, a interpretação pelo córtex cerebral, a travessia pelos processos da memória (aquisição, consolidação e evocação), propriamente as alterações sinápticas e por fim sua evocação. Isso é descrito no fluxograma.

Já para a cognição matemática, o ser humano, ao pensar e conhecer, faz uso também dos caminhos da aprendizagem, e como visto anteriormente as capacidades cognitivas matemáticas estão relacionadas ao desenvolvimento da humanidade, tal qual a capacidade de

aprender. A cognição matemática está associada com o raciocínio lógico-dedutivo, com capacidades de combinar e recombinações informações, de aplicações de um mesmo conceito a diferentes situações, com representações simbólicas e a capacidade de abstração, do senso numérico, da intuição matemática, da conexão entre linguagem e matemática, também relaciona-se com resolução de problemas, habilidades matemáticas e os processamentos básicos que sustentam todas as ações dessa perspectiva. Por isso, esses aspectos são descritos no fluxograma Complexidade Neurobiológica da Aprendizagem e Cognição.

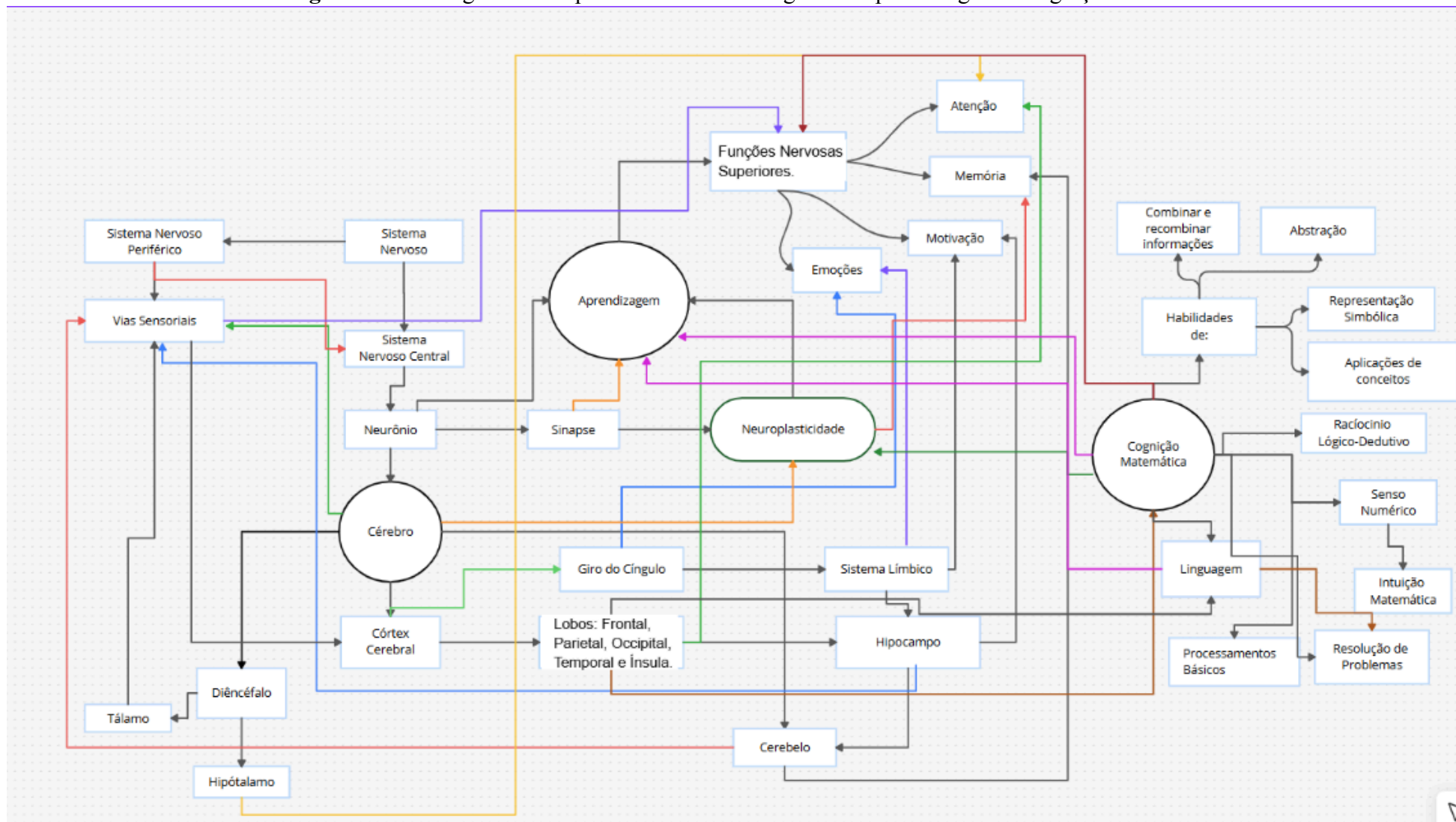
Diante do exposto durante todo o trabalho, e antes de prosseguir para o fluxograma Complexidade Neurobiológica da Aprendizagem e Cognição, é oportuno responder a pergunta norteadora desta pesquisa: *Como correlacionar aprendizagem e cognição matemática, de forma a compreender a interdependência desses processos?*

Para esta autora, aprendizagem e cognição matemática são indissociáveis ao tratar da disciplina de matemática. A aprendizagem faz parte dos recursos cotidianos da vida do ser humano para que ele continue em constante evolução, tanto pessoal, quanto da espécie. Já especificamente, ao tratar da cognição matemática, é possível observar que ela se vale dos aspectos da aprendizagem, tendo em vista suas especificidades, mas o indivíduo ao utilizar dessa cognição, atravessa o campo dos seus conhecimentos matemáticos, apreendidos no decorrer da vida, também modifica aquilo que sabe e aumenta seu repertório a partir do raciocínio lógico, além de utilizar das habilidades de comparação e das outras vistas anteriormente.

Desse modo, não é possível separar cognição matemática e aprendizagem, porque uma influencia a outra, e ambas se encontram presentes no cotidiano das pessoas, se relacionando de maneira que seja mais eficaz para aquela situação que o indivíduo está vivendo, ou melhor dizendo, para a atividade que ele está desenvolvendo. E quando uma se desenvolve a outra também pode vir a usufruir desse desenvolvimento.

Agora, para colaborar com a compreensão e auxiliar na complementação da resposta do problema, faz-se uso do fluxograma Complexidade Neurobiológica da Aprendizagem e Cognição. Nele, pode-se realizar uma divisão de sua composição em três partes: parte fisiológica, parte da aprendizagem, parte da cognição. Note que, mesmo fazendo uma divisão, é possível perceber suas conexões e relações.

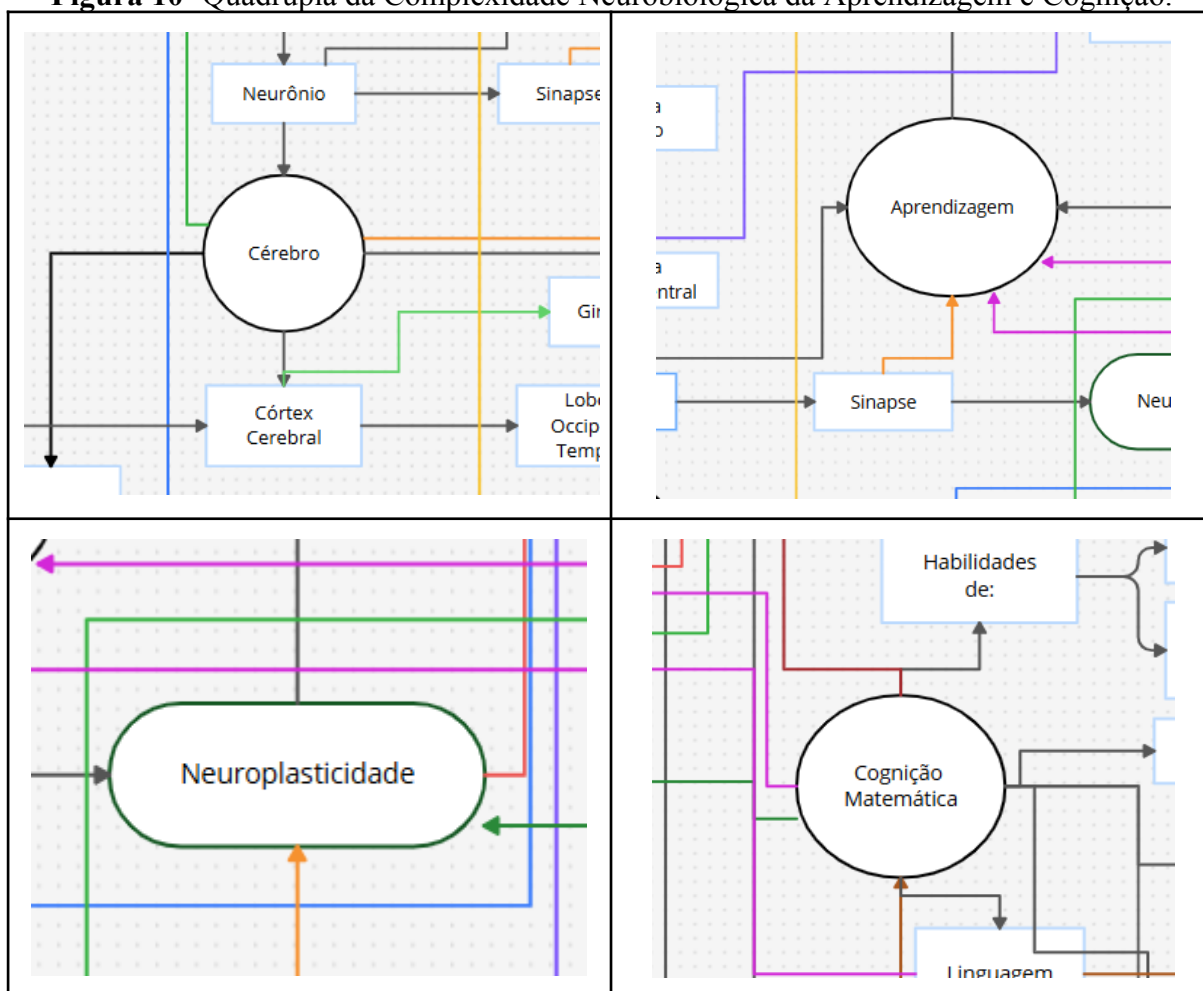
Figura 09- Fluxograma Complexidade Neurobiológica da Aprendizagem e Cognição.



Fonte: Elaboração da autora, 2026.

Observe o Fluxograma exposto na figura 09, ele foi elaborado com a finalidade de revisitar parte do que foi discutido durante a pesquisa e mostrar algumas das conexões que existem entre os diferentes aspectos abordados. Então, há três figuras circulares, contendo os termos cérebro, aprendizagem e cognição matemática, havendo ainda uma figura no formato de elipse que contém o termo neuroplasticidade. Note que, o cérebro é o motor da aprendizagem, logo aprendizagem e cérebro estão conectados, também a neuroplasticidade, como capacidade que o cérebro tem de se organizar e reorganizar, relaciona-se tanto com a aprendizagem, quanto com a cognição matemática, e cognição matemática se relaciona também com a aprendizagem, e neuroplasticidade, gerando assim uma quádrupla, que possui diversas ramificações e muitas delas explicitamente interligadas. Assim, dado o fluxograma acima apresentado, é possível verificar a quádrupla central da representação:

Figura 10- Quádrupla da Complexidade Neurobiológica da Aprendizagem e Cognição.



Fonte: Elaboração da autora, 2026.

De acordo com o exposto durante a pesquisa, o cérebro é o motor da aprendizagem, o local de processamento de todas as informações que perpassam o homem, por tal motivo, ele

é o primeiro tópico de destaque do fluxograma, a partir dele os demais aspectos se manifestam.

A neuroplasticidade tem destaque, pois, sendo a capacidade que o cérebro tem de organizar e reorganizar os circuitos neuronais, ela se torna fator fundamental para a aprendizagem e o desenvolvimento cognitivo.

A aprendizagem torna-se relevante pois ela é objeto central do estudo, observe que diversas setas chegam ou partem desse elemento, isto é, a aprendizagem não é um processo isolado e independente, ela necessita de vários componentes para que possa ocorrer.

Por fim, a cognição matemática, que também é objeto central da pesquisa, apresenta algumas características próprias, e se inclui no emaranhado de componentes apresentados, pois para seu desenvolvimento relaciona-se com a aprendizagem, com neuroplasticidade e, como esperado, com o cérebro.

Consequentemente, o fluxograma é um aparato visual para a elucidação de como aprendizagem e cognição matemática se relacionam, além de, naturalmente reforçar que os processos, áreas e atividades cerebrais estão interconectadas. Assim, a correlação entre aprendizagem e cognição matemática dá-se pelo fato de que, sendo a aprendizagem resultante de mudanças químicas e físicas das estruturas do cérebro, além de estar associada a diversas funções, como as funções nervosas superiores. E a cognição matemática relacionada ao raciocínio lógico-dedutivo, as capacidades de combinar e recombina informações, de aplicações de um mesmo conceito a diferentes situações, uso de representações simbólicas e a capacidade de abstração, do senso numérico, da intuição matemática, entre outras, torna-se também dependente daquilo que é apreendido ao longo da vida do sujeito. Isso corrobora para o desenvolvimento dos dois aspectos, aprendizagem e cognição matemáticas, pois ao utilizar das habilidades matemáticas pré-existentes para resolver um problema o indivíduo reforça um circuito neural, o que pode gerar/fortalecer um aprendizado, isto é, ambas estão presentes no cotidiano do indivíduo.

4.1 Exemplificando

Buscando exemplificar o que o teor desta pesquisa engajou-se em discutir, optou-se pela elucidação de um exemplo. Então, observe a seguinte exemplificação.

Uma estudante do curso de Licenciatura em Matemática, de uma Universidade Federal, está cursando a disciplina de Cálculo I, mais precisamente, contemplando o assunto

“Limites”. Sua professora utilizou da definição apresentada por Stewart (2013), que é a seguinte:

Figura 11- Definição de Limite.

1 Definição Suponha que $f(x)$ seja definido quando está próximo ao número a . (Isso significa que f é definido em algum intervalo aberto que contenha a , exceto possivelmente no próprio a .) Então escrevemos

$$\lim_{x \rightarrow a} f(x) = L$$

e dizemos “o limite de $f(x)$, quando x tende a a , é igual a L ”

se pudermos tornar os valores de $f(x)$ arbitrariamente próximos de L (tão próximos de L quanto quisermos), tornando x suficientemente próximo de a (por ambos os lados de a), mas não igual a a .

Fonte: Stewart, 2013, p. 81

Então, tendo à sua disposição a capacidade neuroplástica do cérebro e conhecimentos prévios sobre funções e outros elementos matemáticos, a estudante compreendeu que definido um $f(x)$ tão próximo quanto se queria de um valor “ a ”, que não seja “ a ”, é possível determinar seu limite. Contudo, após alguns casos utilizando substituição direta, a discente se depara com os casos em que não é possível aplicar substituição direta, necessitando assim de artifícios matemáticos.

A professora disponibilizou uma lista de questões e a aluna deparou-se com o seguinte exercício⁵:

Encontre o Limite:

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x^2 - 1}{x - 1}.$$

A estudante observou que não seria possível encontrar esse limite por substituição direta.

Descrevendo o processo neurobiológico até aqui: A estudante é apresentada a um novo conceito, Limite, através da sua capacidade cognitiva e de todos os aparatos da aprendizagem, ela compreende este novo conceito.

Contudo, após um tempo, surge um novo desafio, resolver o problema de uma maneira que não seja direta. Então, a partir da via sensorial da visão, ela visualiza o problema. Este problema, enviado pelas vias sensoriais através de circuitos neuronais, é processado no córtex

⁵ Exemplo 3 do livro “Cálculo” de James Stewart (2013, p. 94).

cerebral, sendo identificado como algo que até então ela não tem conhecimento de como proceder para a resolução.

Então seu foco atencional se direciona para a resolução do limite, ela está motivada a conseguir compreender o exercício, suas emoções variam entre a frustração de não conseguir resolver de antemão, mas também a animação da busca por superar um desafio. Em um primeiro momento, a motivação foi externa, pois a professora disponibilizou a lista de questões, contudo, essa motivação se tornou intrínseca, pois a aluna sentiu necessidade e vontade de resolver o limite, o que está favorecendo sua aprendizagem.

Após pensar um pouco, percebeu que se tratava de uma manipulação algébrica, isto é, que poderia ser resolvida utilizando um produto notável ao fatorar o numerador como uma diferença de quadrados.

$\frac{x^2-1}{x-1} = \frac{(x+1)(x-1)}{(x-1)}$ Depois desse passo, a estudante notou que o numerador e o denominador possuíam um fator em comum, $x-1$, o que possibilitaria a divisão de $x-1$ por $x-1$. Chegando a seguinte etapa:

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x^2-1}{x-1} = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{(x+1)(x-1)}{(x-1)} = \lim_{x \rightarrow 1} x+1 = 1+1=2.$$

Concluindo que o limite de x ao quadrado menos um, tudo isso dividido por x menos um, com x tendendo a um tem como resultado dois.

Ou seja, para essa etapa, a partir do processo de evocação da memória, ela fez uso de seus conhecimentos prévios e de habilidades cognitivas como: a capacidade de compreender as representações simbólicas, juntamente com o raciocínio lógico, perceber que poderia aplicar o conceito de diferença de quadrados para recombina as informações da maneira que fosse mais conveniente para a resolução do exercício, e por fim utilizar dos processamentos básicos que já possuía em seu acervo mental para chegar no resultado desejado.

Além disso, os circuitos neuronais que respondem à suas aprendizagens sobre Cálculo I foram fortalecidos e adquiriram uma nova capacidade, resolução a partir das manipulações usando produtos notáveis, então se ela realizar mais alguns exercícios com este padrão, sua capacidade de aquisição será reforçada e a memória consolidada, gerando de fato a aprendizagem.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, cada capítulo de desenvolvimento deste trabalho esteve relacionado a um objetivo específico. Diante disso, o capítulo dois relaciona-se com o objetivo de discorrer sobre a estrutura e o funcionamento básico do Sistema Nervoso Central (SNC), para isso, foram apresentadas as principais estruturas que o compõem, com ênfase nas regiões do cérebro, por serem fundamentais para os processos de aprendizagem.

No decorrer do trabalho, foi possível observar que determinadas regiões do cérebro têm predisposição para desempenhar certas funções, mas que, de maneira geral, as áreas são interconectadas e, à sua maneira, dependentes de outras estruturas. Outrossim, verificou-se que a capacidade neuroplástica do cérebro possui suma importância para a aprendizagem e para a cognição matemática.

O capítulo seguinte esteve associado ao objetivo de descrever a aprendizagem e a cognição matemática a partir da neurociência, para tanto, iniciou-se tratando das funções nervosas superiores: atenção, memória, motivação, emoções e as funções executivas. Após isso, foi abordado sobre a aprendizagem que, em uma perspectiva neurobiológica, é a formação e consolidação de ligações entre células nervosas, ou seja, a modificação de circuitos neurais. Já a cognição matemática, refere-se ao conjunto de processos cognitivos envolvidos na compreensão, no raciocínio e na resolução de problemas matemáticos. Envolve algumas habilidades, mas de modo geral é fundamental para o desenvolvimento do pensamento lógico-matemático.

Ambas, aprendizagem e cognição matemática, apesar de serem fenômenos distintos, cumprem a função de auxiliar no desenvolvimento do indivíduo, utilizam de funções nervosas superiores e de características próprias de cada uma, mas, em última instância, se correlacionam quando o assunto é o aprender matemática.

Por fim, o capítulo quatro, possui relação com o objetivo de elucidar as relações existentes entre a aprendizagem e os processos de cognição matemática, suas interdependências de acordo com a neurociência. Diante disso, foi elaborado um fluxograma que permite a visualização dessa conexão entre o cérebro, a neuroplasticidade, a aprendizagem e a cognição matemática, além da exemplificação da relação entre esses processos.

A partir do apresentado durante a pesquisa, e dada a construção dos capítulos, conclui-se que o objetivo de perscrutar os aspectos que envolvem a aprendizagem e a cognição matemática, a fim de promover a compreensão desses processos, foi alcançado ao final da pesquisa. Pois, a partir das descrições dos aspectos relacionados à aprendizagem e a cognição matemática, e com o auxílio do fluxograma foi possível permitir um aparato visual dessa correlação. Como por exemplo: as relações entre sistema nervoso central, o neurônio, as sinapses, o cérebro, o córtex cerebral e os lobos; Ou as sinapses relacionando-se com os neurônios, com a neuroplasticidade, com a aprendizagem e, por conseguinte, a aprendizagem com as funções nervosas superiores; Além da cognição matemática, relacionada com o raciocínio lógico dedutivo, com a linguagem, com as funções nervosas superiores, com a neuroplasticidade e com a aprendizagem. De maneira geral, os processos são inter-relacionados, cada qual com seu objetivo e função, mas dependentes entre si.

Também foi possível perceber a necessidade de mais pesquisas nesta temática, que visem apresentar os processos neurobiológicos de maneira que os docentes consigam compreender e possam se valer dos estudos realizados. Pois, o cérebro é o motor da aprendizagem, e, o professor tendo como objetivo o ensino, necessita conhecer como seus alunos aprendem. Assim sendo, encerra-se a pesquisa com a seguinte reflexão: os processos mentais são muitos, as capacidades de aprendizagem também, cabe a cada qual compreender suas motivações para tal.

REFERÊNCIAS

- AFONSO JR., A. do S.; ALVES, A. C.; BEZERRA, C. H. O.; CARREIRO, L. R. R.; BECKER, N. Introdução à neuroanatomia e à neurofisiologia. **Cadernos de Pós-Graduação em Distúrbios do Desenvolvimento**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 84–107, jul./dez. 2022. DOI: 10.5935/cadernosdisturbios.v22n2p84-107.
- ALMEIDA, M. C.; JUSTINO, E. J. R. **Como o cérebro processa a matemática? Ensinaamentos da neurociência para uma pedagogia renovada**. 1. ed. Curitiba: Copyright. 2020.
- ALMOAMMER, U.; SULLIVAN, J.; DONLAN, C.; MARUŠIČ, F.; ŽAUCER, R.; O'DONNELL, T.; BARNER, D. Morfologia gramatical como fonte de significados iniciais de palavras numéricas. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, n. 46, p. 18448–18453, 2013. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1313652110>. Acesso em: 6 maio 2026.
- BRASIL. Secretaria de Estado de Educação de Mato Grosso. **Apresentação do Aprova Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www3.seduc.mt.gov.br/documents/8125245/28611352/1.+Apresenta%C3%A7%C3%A3o+do+Aprova+Brasil.pdf>. Acesso em: 10 maio 2025.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2002.
- 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**, v. 28, e280010, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbedu/a/ZPmWbM6n7JN5vbfj8hfbyfK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 jan. 2026.
- DIAS, N. M.; SEABRA, A. G. **Funções executivas: desenvolvimento e intervenção**. Temas sobre Desenvolvimento, v. 19, n. 107, p. 206-212, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Natalia-Dias-13/publication/281177320_funcoes_executivas_desenvolvimento_e_intervencao/links/5604497408ae8e08c089ac7f/funcoes-executivas-desenvolvimento-e-intervencao.pdf. Acesso em: 15 jan. 2026.
- EDRAWMAX. Infinite canvas. Disponível em: <https://www.edrawmax.com/online/pt/infinite/aMu4TYmQBk5Pt8YNypMEDqpPuSGBA1pr>. Acesso em: 11 maio 2026.
- GAZARINI, L. **Neurociência e aprendizagem**. Campo Grande, MS: Ed. UFMS, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/8714>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- GILMORE, C. Understanding the complexities of mathematical cognition: a multi-level framework. **Quarterly Journal of Experimental Psychology**, [S.l.], v. 76, n. 9, p. 1953–1972, set. 2023. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37129432/>.

GUERRA, A. de L. e R.; STROPARO, T. R.; COSTA, M. da; CASTRO JÚNIOR, F. P. de; LACERDA JÚNIOR, O. da S.; BRASIL, M. M.; CAMBA, M. **Pesquisa qualitativa e seus fundamentos na investigação científica**. Revista de Gestão e Secretariado, [S. l.], v. 15, n. 7, p. e4019, 2024. DOI: 10.7769/gesec.v15i7.4019. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/4019>. Acesso em: 10 jul. 2026.

GUERRA, L. B. O diálogo entre a neurociência e a educação: da euforia aos desafios e possibilidades. **Revista Interlocução**, v. 4, n. 4, p. 3–12, 2011. Disponível em: https://www2.icb.ufmg.br/neuroeduca/arquivo/texto_teste.pdf. Acesso em: 29 jan. 2026.

HALL, J. E. **Tratado de fisiologia médica**. 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. Disponível em: <https://perfusaobrasil.com.br/wp-content/uploads/2024/09/guyton-e-hall-tratado-de-fisiol-john-e-hall-13-ed-4.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2026.

HEYES, C. New thinking: the evolution of human cognition. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, [S.l.], v. 367, n. 1599, p. 2091–2096, ago. 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22734052/>. Acesso em: 19 jan. 2026.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2010.

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

LIMA, T. C. S. ; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista Katálisis**, Florianópolis, v. 10, n. esp., p. 37–45, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rk/a/HSF5Ns7dkTNjQVpRyvvhc8RR/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 15 jan. 2026.

LIMA, K. R.; GARCIA, A.; FILIPIN G. E.; VARGAS, L. S.; MELLO-CARPES, P. B. Trabalhando conceitos da neurociência na escola: saúde do cérebro e plasticidade cerebral. **Revista Ciência em Extensão**, v. 13, n. 2, p. 71–82, 2017. Disponível em: https://ojs.unesp.br/index.php/revista_proex/article/view/1437. Acesso em: 10 jan. 2026.

LOMBARDI, G. H.; LOMBARDI, L. A. **Atlas de neuroanatomia humana**. Uberaba, MG: Ed. dos Autores, 2024. Disponível em: <https://anatomia-papel-e-caneta.com/wp-content/uploads/2025/01/Atlas-Neuroanatomia-Anatomia-Papel-e-Caneta.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2026.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MATIAS, P. de T. A.; ASSIS, S. V. M.; SOUZA, J. V. B.; MENDONÇA, G. F.; DIAS, M. R. P.; MARTINS, I. S. M.; SANTANA NETO, S. A.; ALVES, A. de A.; COUTINHO, R. B.; MOREIRA, I. F.; CAIRES, D. O.; CAMPOS, H. M. SENTIDOS ESPECIAIS: ASPECTOS NEUROFISIOLÓGICOS SENSORIAIS. **REVISTA FOCO**, [S. l.], v. 17, n. 7, p. e5684, 2024. DOI: 10.54751/revistafoco.v17n7-079. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/5684>. Acesso em: 10 fev. 2026.

PANTANO, T.; ZORZI, J L.. **Neurociência aplicada à aprendizagem**. São José dos Campos: Pulso, 2009.

SANTOS, Rylson Saturnino dos; COUTINHO, Diogenes José Gusmão. NEUROCIÊNCIA, CONCEITOS E TEORIAS. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S. l.], v. 10, n. 5, p. 2611–2617, 2024. DOI: 10.51891/rease.v10i5.14048. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/14048>.

Serviço Social da Indústria. Departamento Nacional. **Neurociência e educação: olhando para o futuro da aprendizagem** / Serviço Social da Indústria, Ana Luiza Neiva Amaral, Leonor Bezerra Guerra. Brasília :SESI/DN, 2020. Acesso em: 28 jan. 2026.

STEWART, J. **Cálculo**: volume 1. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2021.

TÁVOLA, A.. **A quem educa....** Canteiros, 19 mar. 2012. Disponível em: <https://canteirosre.blogspot.com/2012/03/quem-educa.html>. Acesso em: 14 fev. 2026.

UEHARA, E.; CHARCHAT-FICHMAN, H.; LANDEIRA-FERNANDEZ, J. Funções executivas: um retrato integrativo dos principais modelos e teorias desse conceito. **Neuropsicologia Latinoamericana**, Bogotá, v. 5, n. 3, p. 25-37, 2013. Disponível em: https://neuropsicolatina.org/index.php/Neuropsicologia_Latinoamericana/article/view/145/119. Acesso em: 16 mar. 2026.

VIGOTSKI, L. S. **Psicologia pedagógica**. 3. ed. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2010.