

# **Percepção da neuroplasticidade no processo da aprendizagem da linguagem com técnicas de neuroimagem**

Luíza Lima Lattuf

Externato Rio Branco

Escola de Talentos – Instituto Principia

Orientador: Prof. Dr. Rickson Coelho Mesquita

São Bernardo do Campo

2023

## Resumo

O número de pesquisas em neurociência vem aumentando desde a última metade do século passado, buscando melhor compreender o comportamento cerebral, seus mecanismos, métodos de diagnóstico, prevenção e causa de doenças. Dessa maneira, os estudos no campo da neuroplasticidade estão sendo capazes de visualizar seus mecanismos, embora ainda deixem clara a falta de lucidez dos estudiosos no seu funcionamento por serem historicamente recentes. Assim, essa monografia é uma revisão objetiva que visa expor a relevância da plasticidade neural no processo da aprendizagem, exemplificando-a, no caso da linguagem, pelo uso de técnicas de diagnóstico não invasivas, dissertando, brevemente, sobre o funcionamento da Ressonância Magnética (RM). O texto abaixo destaca a importância da continuidade dos estudos no campo da neuroplasticidade, não só para o desenvolvimento de tecnologias que melhor visualizem a reação cerebral, mas também para que, entendendo o seu funcionamento na aprendizagem, possa-se aplicá-lo, futuramente, na área do ensino, aprimorando os métodos educacionais de acordo com as conclusões científicas sobre o tema.

**Palavras-chave:** neuroimagem, neuroplasticidade, aprendizagem, neurofísica

## Introdução

Jean-Baptiste de Lamarck foi um biólogo francês do fim do século XVIII que deu um grande passo inicial para o entendimento do processo evolucionário como se conhece hoje. Apesar de se perceber, agora, devido ao Darwinismo e, posteriormente, ao Neodarwinismo, que as características adquiridas por um indivíduo durante a vida não são transmitidas para seus descendentes, pode-se fazer um análogo da sua lei do uso e desuso com a plasticidade cerebral. Isso porque ela é a resposta, funcional e estrutural, que se altera conforme a exposição a estímulos, estabelecendo-se como uma adaptação neural de curto período.

Inicialmente, filósofos como Aristóteles e Platão<sup>1</sup>, na Grécia Antiga, propuseram e defenderam a teoria do fixismo, na qual as espécies teriam surgido da maneira como são conhecidas hoje, mantendo-se imutáveis. Nesse contexto, os registros fósseis, as semelhanças morfofisiológicas e dados moleculares, que se constituem como evidências da evolução biológica, demonstraram o contrário. Os seres possuíram um ancestral comum e, ao longo do tempo, sofreram modificações que causaram a diversidade de espécies atual, mas também a melhor adaptação ao ambiente.

O conceito de adaptação é a característica que confere maiores taxas de sobrevivência à espécie, porém, na evolução biológica, analisa-se a adaptabilidade gerada por mutações gênicas realizadas, transmitidas e selecionadas por gerações, durante milhares de anos. Dessa maneira, o que permite a sobrevivência, em um curto espaço de tempo, como a duração da vida de um único organismo?

Assim como na teoria fixista, que prevaleceu por anos a fio, mas que, depois, foi substituída, o mesmo ocorreu com a hipótese da maleabilidade cerebral. Durante muitos séculos, acreditou-se que o cérebro era um órgão estático, ou seja, que não se modificava frente a diferentes cenários. Entretanto, já no século XVIII, ideias contrárias surgiram, como as do filósofo Jean-Jacques Rousseau (1712-1778)<sup>2</sup> e as de Charles Bonnet (1720-1793) e Vincenzo Malacarne (1744-1816)<sup>3</sup>, propondo que o desenvolvimento cerebral era afetado pelas experiências do indivíduo e indicando que esse órgão poderia ser alterado, até “treinado”, se diante um reforço, negando sua rigidez.

Apesar delas, só foi a partir da década de 1960 que Rosenzweig e colaboradores demonstraram experimentalmente essa “maleabilidade”. Através de gaiolas-viveiro<sup>4</sup>, eles observaram mudanças específicas no sistema nervoso central (SNC) de ratos pela simples exposição desses a estímulos abundantes e variados, como objetos de formas distintas, atividades e maneiras diferentes de alcançar alimento, além do conviver em grupos, provando o efeito do ambiente na plasticidade cerebral. O termo “plasticidade” é nomeado dessa maneira porque oriunda do grego “*plástikos*”, que indica algo que pode ser delineado/esculpido, na prática, estabelecendo-se como a capacidade do SNC de ser moldado de acordo com as experiências do organismo. Por “experiências”, deve-se entender, o produto entre a exposição e a interação do ser com o ambiente, que causa a plasticidade que é o mecanismo para a aprendizagem.

Respondendo à questão introdutória, a aprendizagem é o que permite a manutenção da vida, posto que é a resposta não programada desencadeada por um ambiente em um curto espaço de tempo, que não depende das mudanças gênicas,

podendo gerar mudança de comportamento ou reforçá-lo, adequando as ações do ser, em um período viável, permitindo a vida. Dessa forma, entende-se que o pensamento de Lamarck não era de todo errado, visto que repetir determinada atividade implica em estimular o uso, ou não, de circuitos específicos, desenvolvendo-os ou os “podando”, o que caracteriza a plasticidade e, conseqüentemente, a aprendizagem.

O estudo desse mecanismo foi revolucionado com a introdução das técnicas de neuroimagem<sup>5</sup>, visto que permitiram a coleta de dados de forma não invasiva e prática, sem uso de radiação ionizante<sup>6</sup>. Além de possibilitar, não somente, uma análise estrutural, mas metabólica do cérebro, obtendo informações instantâneas de diferentes tarefas realizadas<sup>7</sup> – estímulos recebidos – pelos indivíduos. As técnicas de neuroimagem têm auxiliado fortemente a psicologia e a neurociência nas últimas décadas.

O presente trabalho objetiva abordar a neuroplasticidade, expondo sua relação com a aprendizagem que, estando presente durante toda a vivência de um ser, é imprescindível para sua adaptação e desenvolvimento. Procura-se explicar a influência que a interação indivíduo-ambiente tem sobre os circuitos cerebrais, elucidando os meios para sua alteração, e pincelar o que a literatura entende sobre a linguagem, discorrendo os possíveis fatores que permitem sua aquisição, sendo a plasticidade um deles. A partir daí, compreender o papel dela no período crítico dos cérebros infantis, o que explica a facilidade destes em adquirir linguagem. Também comentando que essas conclusões só foram concebidas pelo uso de técnicas de neuroimagem, assim, dissertar-se-á sobre sua importância e, brevemente, sobre seu funcionamento de acordo com um exemplo citado.

## **Plasticidade neural na aprendizagem**

Os indivíduos interagem com o ambiente ao seu redor através dos cinco sentidos. É por meio deles que são recebidos os estímulos que, convertidos em impulsos elétricos, geram respostas que possibilitam a aprendizagem. Dentro disso, o cérebro é o órgão central que controla essas respostas, alterando-as através da neuroplasticidade. Assim, a aprendizagem é o processo de moldagem do sistema nervoso central, de acordo com as experiências, pelo mecanismo da plasticidade, o qual abrange diversos processos que reorganizam estrutural e funcionalmente os neurônios.

Os neurônios são as células básicas constituintes do sistema nervoso, compostos por três partes principais: dendritos, bainhas de mielina e axônios. São responsáveis pela transmissão dos impulsos nervosos, comunicando-se, através das sinapses, pontos de “contato” entre o axônio de um e o dendrito de outro, formando as redes neurais. Dessa maneira, a plasticidade envolve eventos que alteram esse sistema, como a migração de neurônios, a criação de novos neurônios (neurogênese), a formação de sinapses (sinaptogênese) e o fortalecimento ou enfraquecimento delas<sup>8</sup>, abrangendo, não só, os processos que adicionam conexões, mas também os que as eliminam, como a poda neural.

O mecanismo no qual a plasticidade ocorre, no nível neural, se dá através da *Long-Term Potentiation and Depression* – em português, potenciação e depressão de

longo prazo – que é a mudança duradoura na força sináptica dependendo da atividade nesses terminais, podendo ser de aumento ou de diminuição<sup>9</sup>. A primeira ocorre devido à repetição de uma ação<sup>10</sup>, fortalecendo as sinapses pelo crescimento do fluxo do cátion bivalente do cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) na membrana pós-sináptica<sup>11</sup>. Enquanto a segunda é caracterizada pelo enfraquecimento da comunicação nesses terminais, diminuindo a eficiência deles em transmitir o impulso nervoso.

Outros recursos para a plasticidade ainda podem ser citados. Quimicamente, ela pode ocorrer através do aumento da síntese de neurotransmissores – substâncias químicas liberadas nas fendas sinápticas que sinalizam os impulsos nervosos. Estruturalmente, o tamanho do corpo celular e o número de dendritos e axônios (ramificações) podem ser alterados, além de seus volumes<sup>4</sup>. Essas diversas maneiras de se moldar o SNC atuam não somente na aprendizagem. Elas estão presentes na recuperação de lesões, como as causadas por traumatismos cranianos, além de muitos estudos buscarem entender sua influência nas patologias neurológicas. Porém é pela aprendizagem que se percebe sua maior importância, visto que permite o desenvolvimento das funções perceptivas, motoras e cognitivas desde a infância<sup>12</sup>, possibilitando a obtenção da linguagem.

## Neuroplasticidade na linguagem

A linguagem não é algo natural. O ser humano não nasce se comunicando, ele adquire essa habilidade com o tempo, o que a caracteriza como uma função de ordem superior, assim como a memória, a atenção e a cognição. Diferentemente das funções primárias, que naturalmente são realizadas por nossos sensores caso não haja nenhuma deficiência física, como a visão, a audição, o tato, o olfato e o paladar, as funções de ordem superior vão além do processo de só receber sensação, não sendo desenvolvidas por todas as espécies, nem por todos os indivíduos de uma mesma espécie.

O linguista estadunidense Daniel Everett apresenta, no documentário *The Grammar of Happiness*<sup>13</sup>, a cultura e língua do povo indígena Pirahã que habita as margens do rio Maici, no estado do Amazonas. O documentário expõe que a comunicação da tribo é realizada por um inventário de sons composto por sete consoantes e três vogais, com ausência de numerais, pronomes quantitativos, nomes para as cores e ausência de orações subordinadas, sendo capazes de assobiar sentenças inteiras, invés de falá-las, como estratégia de caça<sup>14</sup>. Dessa forma, o que eles desenvolveram foi uma língua, não linguagem. A diferença entre elas é que a língua não descreve emoções, não possui pronomes e nem flexão de verbos; sua utilidade é realizar tarefas concretas, como caçar, alimentar-se e se reproduzir, sendo útil para a sobrevivência. O mesmo ocorre com os golfinhos, sua comunicação é efetuada por uma língua utilitária e não uma linguagem.

Cientificamente, não é clara a compreensão da linguagem. Não é negado que outras espécies podem compartilhar capacidades cerebrais com o ser humano, nem que as áreas do cérebro usadas na linguística também podem ser utilizadas por outras atividades cognitivas<sup>15</sup>. Contudo, entende-se que há uma estrutura particular, que combina diversas áreas cerebrais, permitindo a aquisição da linguagem pela propagação

da informação por circuitos neurais ajustados desde o desenvolvimento infantil ou calendário de maturação<sup>15</sup>, que envolve a neuroplasticidade após o nascimento, em torno do primeiro ano de vida.

Assim, não há uma conclusão do porquê de só a espécie humana possuir linguagem, se é que só ela possui. O que se pode afirmar é que existem indícios que facilitam sua aquisição: os primatas possuem regiões auditivas organizadas em estruturas paralelas e hierárquicas que processam diferentes aspectos do som<sup>16</sup> (timbre, familiaridade, intensidade e fonte), as quais já são possíveis de serem visualizadas nas regiões perisilvianas das crianças<sup>15</sup>. O lobo temporal superior e a região frontal inferior também já são funcionalmente conectados, reagindo a uma troca de fonema consonantal (/ga/ vs. /ba/) e de voz (feminina vs. masculina)<sup>15</sup>. Como um discurso é composto, principalmente, por “quem fala” (emissor), “sobre o que/quem se fala” (mensagem) e “para quem se fala” (receptor), decodificar a linguagem consiste em compreender os dois primeiros elementos, posto que, aqui, o ouvinte é o próprio indivíduo, portanto as capacidades de distinguir vozes e sons, desde o início da vida, podem ser categorizadas como indícios que permitem essa aquisição.

No estudo da linguagem, é interessante analisar recém-nascidos, porque são capazes de dominar uma língua falada ou de sinais em somente poucos anos<sup>15</sup>, obtêm-na mais facilmente do que adultos adquirindo a segunda ou, até a primeira, em exceções nas quais houve o isolamento de surdos que foram obtê-la somente mais tarde<sup>17</sup>. Ademais, estão iniciando esse aprendizado, assim, se expostos a diferentes estímulos, e os resultados comparados, seria possível compreender melhor quais fatores influenciam o processo. Foi esse o raciocínio usado para sanar a dúvida: como bebês prematuros estão expostos à fala aérea, no caso, 3 meses antes dos de gestação completa, eles apresentam uma aceleração na obtenção da linguagem?<sup>15</sup>

O objetivo aqui era testar o fator do tempo de exposição ao som. Para isso uma mudança de consoante foi introduzida a partir de várias repetições da mesma sílaba. Então, através de eletroencefalografia, foi apresentado que a incompatibilidade para a mudança consonantal que cruzasse um limite fonético não nativo, em falantes de família espanhola, desaparecia após a criança de gestação completa atingir 12 meses de idade, ou seja, idade em que é melhorado o desempenho em discriminar contrastes fonéticos não nativos. Enquanto, para os prematuros – cujas gestações duraram 6 meses – que atingiam os 12 meses de idade a resposta incompatível permanecia, desaparecendo somente aos 15 meses<sup>18</sup> (12 após o período de uma gestação completa, mesmo que contabilizados os três fora do útero).

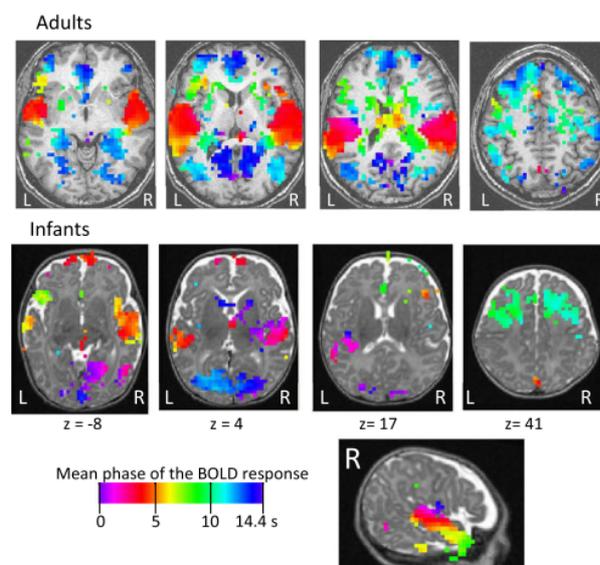
Desse experimento duas conclusões podem ser tiradas. Primeiramente, há um problema na contagem de tempo, no referencial tomado, visto que, no Ocidente, a idade é quantificada a partir do parto e não da fecundação. O que impede uma mesma comparação das fases do desenvolvimento, posto que, para as duas categorias de crianças analisadas, a incompatibilidade desaparece aos 21 meses, somente, se o tempo for contabilizado desde o mesmo referencial: a fecundação. Em segundo, entende-se que a codificação da fonética nativa só pode começar depois de um certo período de maturação, ou seja, de um tempo específico, independentemente da quantificação temporal escolhida, a fim de que uma estruturação mínima seja construída<sup>19</sup>, a qual é finalizada

em torno do primeiro ano de vida<sup>20</sup> (os 21 meses), permitindo o desaparecimento da resposta incompatível.

Com a ampliação das pesquisas na área, compreendeu-se que os recém-nascidos possuem o chamado período crítico (PC) ou sensível, fase na qual a plasticidade ocorre em maior grau, a fim de suportar, não somente o aprendizado, mas toda a percepção do ambiente que os cerca.

Mesmo após os nove meses de gestação, o ser humano não nasce pronto; o desenvolvimento, principalmente cerebral, continua. Assim o PC constitui a etapa pré e pós-natal da formação do SNC que habilita sua consolidação funcional e estrutural<sup>21</sup>. Porque processos como neurogênese, sinaptogênese, lateralização – migração dos neurônios para áreas específicas, sendo benéfica para a aproximação das células nervosas que atuarão em mesmas funções, facilitando sua comunicação – e formação da mielina – estrutura lipídica que dificulta a perda de corrente – são mais constantes<sup>22</sup>, sendo mais comuns do que em cérebros adultos<sup>8</sup>. O que explica a facilidade deles em adquirir linguagem, visto que os estímulos recebidos alteram diretamente a formação das redes e conexões, invés de somente alterá-las na aprendizagem enquanto mais velhos.

Dessa maneira, os recém-nascidos possuem essas janelas de tempo nas quais a plasticidade é máxima<sup>12</sup>, mas, ao mesmo tempo, a maturação que se constitui como o processo de finalização do PC, ou seja, a maior estruturação e diminuição da taxa de plasticidade, que determina a condição para algumas ações, como a do desaparecimento da resposta incompatível depois de um ano. Fatos que não diminuem a característica dos cérebros maduros de possuírem também um considerável grau de plasticidade<sup>23</sup>, fundamental para a promoção de melhores chances de sobrevivência e sucesso reprodutivo sob mudanças ambientais<sup>24</sup> – pela aprendizagem.



**Fig 1.** Organização hierárquica das regiões Perisilvianas em adultos e bebês de 3 meses em resposta a exposição de uma única sentença<sup>15</sup>, representada pelas diferentes fases da resposta do sinal BOLD (em inglês, Blood-oxygen-level-dependent) medida com RM, e exposta em segundos desde o início da estimulação. As imagens superiores expõem o corte axial dos adultos e as inferiores, quatro com corte axial e uma com corte sagital do hemisfério direito, das crianças.

De uma perspectiva mais prática, através da comparação da atividade neuronal de crianças e adultos pelo uso de imagem de ressonância magnética (RM), pode-se visualizar a diferença estrutural e/ou metabólica, resultante de uma interação ambiental, explicada pelo processo da maturação não ter terminado. Na Figura 1 é possível perceber a ativação de áreas semelhantes para o mesmo estímulo aplicado, todavia, ainda diferentes devido aos neurônios não terem atingido seu local final de migração e ao número de ramificações dendríticas ainda ser escasso<sup>15</sup>.

## Medição

Do mesmo modo que a análise anterior foi feita utilizando RM, muitos outros estudos também são baseados em neuroimagem funcional. Existem diversas tecnologias que objetivam coletar dados sobre o tecido biológico interno. A RM só é uma delas. Uma outra técnica que tem sido bastante utilizada para estudar bebês e crianças é a NIRS (Near-Infrared Spectroscopy) – em português, Espectroscopia no Infravermelho Próximo. Tanto a RM quanto a NIRS são técnicas que exploram características físicas diferentes do material biológico, a primeira utilizando a aplicação de campos magnéticos para obtenção da informação e a segunda, espectro da luz.

Desde o surgimento delas – da RM, precisamente, a partir da década de 70 do século passado<sup>25</sup> – o modo direto e a excelente resolução anatômica<sup>6</sup> que vêm trazendo para a ciência somado à realização da varredura cerebral em segundos<sup>26</sup>, sem uso de radiação ionizante e injeção de contraste<sup>27</sup>, permitindo a repetição dos testes em um mesmo indivíduo, mesmo que observando diferentes estímulos, são pontos que contribuíram profundamente para o desenvolvimento da neurociência. Visto que propiciaram o melhor conhecimento das funções cerebrais, transtornos mentais e alterações nas vias neuroquímicas, após o uso de fármacos<sup>28</sup>, resumidamente, aumentando a compreensão dos processos interativos inerentes à atividade cerebral humana<sup>26</sup>, o que expõe sua importância.

Ambas as técnicas citadas acima se baseiam na ideia de que a ativação de áreas cerebrais ocorre através da intensificação do metabolismo. Isto é, para que as células realizem os processos químicos que as mantêm vivas, necessitam de energia e obtêm-na por meio da respiração celular, responsável pela produção de ATP (adenosina trifosfato), molécula que, na quebra de suas ligações, libera energia.

Essa síntese decorre de uma sequência de eventos efetuados fora (citoplasma) e dentro da mitocôndria, porém, na última, o oxigênio (O<sub>2</sub>) se faz necessário, principalmente, na fosforilação oxidativa, onde há maior formação de ATP. Assim, quanto maior o metabolismo celular, maior a necessidade dessa molécula e, conseqüentemente, de oxigênio. Portanto, como as técnicas de neuroimagem foram desenvolvidas para monitorar a intensificação da atividade cerebral, seu funcionamento é baseado em propriedades físicas que buscam observar o aumento desse gás nos tecidos e as formas como isso é realizado é que as diferenciam.

A imagem por ressonância magnética funcional (RMf) – funcional, porque verifica o funcionamento do metabolismo – faz uso de uma propriedade do núcleo do átomo de hidrogênio (próton), chamada momento de dipolo magnético, que permite

compreendê-lo como um pequeno ímã, podendo interagir com campos magnéticos – ele também possui outra propriedade conhecida como spin, que é um movimento angular. Dessa maneira, a RMf consiste em se aplicar um elevado campo magnético em torno do paciente, a fim de que os núcleos – que, em estado normal, giram com spins em orientações aleatórias – alinhem-se na direção desse campo<sup>6</sup>.

Após essa orientação, o aparelho emite energia na forma de um pulso de radiofrequência (RF) que é absorvido pelos núcleos, tornando-os instáveis. Ao retornar ao estado de pré-excitação, eles liberam essa energia por ondas eletromagnéticas na faixa das ondas de rádio, que são detectadas, variando no espaço e na intensidade, formando a imagem<sup>6</sup>.

Vale ressaltar que o hidrogênio é o átomo observado pelo fato de ser abundante no organismo humano, sobretudo, na molécula da água, e pela sua maior facilidade em se alinhar com o campo, devido ao seu menor momento magnético que age como uma menor resistência. Nesse contexto, a questão metabólica pode ser medida, porque o oxigênio é transportado na corrente sanguínea pela molécula de hemoglobina (Hb), que possui ferro, o qual perturbará o campo da região. Assim, quanto maior a demanda de oxigênio, maior será a presença do ferro, perturbando áreas diferentes com intensidades distintas. Essa variação espacial que é observada pelo dispositivo, gerando a imagem.

## **Conclusão**

Conclui-se, portanto, que a plasticidade cerebral são as mudanças causadas no SNC pela interação indivíduo-ambiente, sendo o uso ou desuso determinantes para o fortalecimento ou enfraquecimento das conexões sinápticas e organização das redes neurais. Entende-se que ela ocorre durante toda a vida do organismo – contudo em taxas e esforços diferentes dependendo da idade – visto que o ser está constantemente em um processo de recebimento de estímulos através dos cinco sentidos, resignificando interpretação frente à situação ou perpetuando comportamento, o que caracteriza a aprendizagem. Compreende-se que a aprendizagem é a ferramenta imprescindível para a adaptação – permitindo a manutenção da vida em um curto espaço de tempo – mas também para a aquisição da linguagem. Conclui-se que, nos cérebros infantis, a linguagem é adquirida mais facilmente pela alta taxa de plasticidade, mas também depende de uma estruturação mínima para exercer determinados comportamentos. Entende-se, também, a importância do uso de neuroimagens para o desenvolvimento da ciência, possibilitando a visualização da neuroplasticidade. Por fim, percebe-se que muitas questões ainda não estão esclarecidas, assim, faz-se necessária a continuidade das pesquisas no âmbito.

## **Agradecimentos**

Meu profundo agradecimento ao Instituto Principia e todos seus mantenedores e participantes: Marcelo Moraes Guzzo, Ricardo D'Elia Matheus, Leonardo de Lima, Fabrício Marques, Norma Reggiani, Gerson Francisco, Welington Barbosa e Rafael Stark. Obrigada pelo apoio, durante o curso, mas, principalmente, por terem me aceitado

na Escola de Talentos. Permitindo que eu, não só, estudasse mais a fundo coisas incríveis e curiosas, como sempre tive vontade, mas também aprendesse meu potencial. O que me fez entender que para esforço e dedicação sempre há oportunidade.

Queria agradecer, ainda aos mesmos, pela chance de conhecer pessoas que admiram a ciência tanto quanto eu, formando amizades para o resto da vida, pelas conversas com cientistas de alto nível que eu não imaginava conhecer até os 30, pelas experiências de como ler, pesquisar e aprender conteúdos cotidianos com toda a explicação científica que os causam. Obrigada pelas risadas e conversas existencialistas, mas, de novo, pela chance de perceber quem eu posso ser.

A Escola de Talentos não estava nos meus planos, mas tendo feito parte dela, posso dizer, que não incrementou só o meu currículo, mas a minha visão de mundo. Espero que vocês continuem influenciando as mentes brilhantes de muitos outros jovens, assim como fizeram comigo. E, quem sabe, quando eu adentrar mais a fundo o mundo acadêmico, possa retribuir de alguma forma.

Em especial, gostaria de agradecer ao Rickson Coelho Mesquita. Posso afirmar que você foi um dos melhores professores que já tive, tanto na didática, quanto na comunicação conosco. Sempre reformulando frases em que tivemos dúvida, desenhando, indicando vídeos complementares, bons canais de YouTube e sites de pesquisa, auxiliando na leitura de livros e artigos, contando casos anteriores, baixando nossa ansiedade, acreditando em nós e ajudando-nos a evoluir, perguntando as soluções, indicando o caminho para encontrá-las, sem antes entregar as respostas.

Obrigada pelas críticas construtivas e pelas explicações verdadeiras, buscando formas claras de transmitir o conteúdo, mesmo que não tivéssemos uma base para entendê-lo ainda. Agradeço por me introduzir o mundo fascinante da neurociência e biofísica, além de ser um grande exemplo para quando eu for professora. Independente dos meus próximos passos, vou lembrar do que você nos ensinou.

Aos meus professores do Rio Branco: Angélica Biscaia Teixeira, Bárbara Gumiero, Camila Santa Clara Yakabe, Diego Medeiros, Igor Miura Ramos, Keyde Cristina Martins de Melo, Lúcia Helena Mimoso De Paula, Luciana Cavalaro de Oliveira, Luiz Gustavo dos Santos, Roseli Regina De Azevedo Marques, Wagner Giubilato Gonçalves, Walter Giubilato Gonçalves e Andréa Schadeck, eu agradeço o suporte e o carinho, por terem feito parte de quem eu sou hoje, ensinando-me a amar estudar e ensinar. Vocês me instigaram a querer, um dia, inspirar pessoas como fizeram comigo.

A todos que eu não citei, mas, cotidianamente, fazem meus dias mais leves e alegres, obrigada.

Aos meus colegas de classe do RB, obrigada por acreditarem em mim.

Particularmente, gostaria de agradecer a (o): Alanis Manfrinato do Nascimento, Beatriz Dal Ré de Souza Vigato, Bianca Motta Silva, Camila Batista Wada, Carolina Mallmann, Isabella Rossoni Ribeiro, Julia Kindlain Dias Campos, Júlia Tapi Carretero, Karina Ellen Balbino Alexandre, Laura Maeda Shida, Maria Eduarda Bittar Costa, Maria Eduarda Lameza Trepap, Maria Fernanda Cortejano Galego, Murilo de Sá Santos,

Pedro Antônio Pinho Antunes, Sophia Nogueira Rupp, Victor Sadao Aiabe e Vitor Seraphim Lucci. Obrigada pela torcida em todos os desafios, por ouvirem meus surtos sobre esse trabalho, por não me deixarem desistir, por estarem sempre aqui por mim, mas, principalmente, por me fazerem ver que eu sou capaz.

A minha família, obrigada por todo amor e incentivo para estudar, mas sempre balanceando a vida acadêmica e o lazer.

Separadamente, agradeço aos meus pais e irmã. Obrigada por aturarem minha rotina peculiar, por me levarem para todos os eventos acadêmicos e esportivos, por apoiarem minhas decisões, por sempre serem sinceros comigo, pela paciência, mas, sobretudo, pelo exemplo de como ser feliz com as pequenas coisas e como ser uma boa pessoa. Não seria quem sou e nem atingiria o que atingi sem vocês.

Todos citados, de alguma forma, influenciaram minhas decisões, inevitavelmente, permitiram-me concluir esse trabalho, portanto, obrigada.

Em especial, obrigada a Beatriz Rodrigues Amaral por me ensinar o que é viver.

## Referências

1. M. C. R. Manzano, *Fixismo*. InfoEscola, 2016. Disponível em: <https://www.infoescola.com/biologia/fixismo/> acesso em 07 de Julho de 2023.
2. S. Novi Júnior, *Investigation of functional neuroplasticity in the human brain with near-infrared spectroscopy*. Universidade Estadual de Campinas, SP: Biblioteca Virtual da FAPESP, 2022; apud N. Doidge, *The brain that changes itself: stories of personal triumph from the frontiers of brain science*. New York, NY: Penguin Books, 2007; e Jean-Jacques Rousseau, *Emile: Or On Education, translated by Allan Bloom*. New York, NY: Basic Books, 1979.
3. E. Ferrari *et al*, *Plasticidade neural: relações com o comportamento e abordagens experimentais*. Universidade Estadual de Campinas, SP: SciELO - Scientific Electronic Library Online, 2001; apud M. Rosenzweig, *Aspects of the search for neural mechanisms of memory*. University of California, Berkeley: Annual Review of Psychology, 1996.
4. E. Ferrari *et al*, *Plasticidade neural: relações com o comportamento e abordagens experimentais*. Universidade Estadual de Campinas, SP: SciELO - Scientific Electronic Library Online, 2001.
5. D. Ventura, *Um retrato da área de Neurociência e comportamento no Brasil*. Universidade de São Paulo, SP: SciELO - Scientific Electronic Library Online, 2010.
6. E L. Madureira *et al*, *Importância da imagem por ressonância magnética nos estudos dos processos interativos dos órgãos e sistemas*. Universidade Federal da Bahia, MG: Revista de Ciências Médicas e Biológicas, 2010.
7. E. Ferrari, M. Toyoda, L. Faleiros e S. Cerutti, *Plasticidade neural: relações com o comportamento e abordagens experimentais*. Universidade Estadual de Campinas e Universidade São Francisco, SP: SciELO - Scientific Electronic Library Online, 2000.

8. M. Nayak *et al*, *Epigenetic signature in neural plasticity: the journey so far and journey ahead*. Utkal University, Odisha: Heliyon, 2022.
9. M. Nayak *et al*, *Epigenetic signature in neural plasticity: the journey so far and journey ahead*. Utkal University, Odisha: Heliyon, 2022; apud Y. Yang *et al*, *Presynaptic long-term plasticity*. Stanford University School of Medicine, California: Frontiers, 2013.
10. M. Nayak *et al*, *Epigenetic signature in neural plasticity: the journey so far and journey ahead*. Utkal University, Odisha: Heliyon, 2022; apud A. Mohammad Ibrahim *et al*, *Brain-Derived Neurotropic Factor in Neurodegenerative Disorders*. Imam Abdul Rahman Bin Faisal University, Dammam: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2022.
11. M. Nayak *et al*, *Epigenetic signature in neural plasticity: the journey so far and journey ahead*. Utkal University, Odisha: Heliyon, 2022; apud C. Lusher *et al*, *NMDA receptor-dependent long-term potentiation and long-term depression*. Cold Spring Harbor Perspect. Biol, 2012.
12. J. M. Cisneros-Franco *et al*, *Critical periods of brain development*. Montreal Neurological Institute, Montreal: Elsevier, 2020
13. F. L. F. Mesquita, *O caso do Pirahã*. Blog Unicamp, 2016. Disponível em: <https://www.blogs.unicamp.br/linguistica/2016/09/09/o-caso-do-piraha/>, acesso em 06 de Junho de 2023; apud The grammar of happiness. Direção: Michael O'Neil, Randall Wood. Produção: Michael O'Neil, Chris Hilton. Roteiro: Michael O'Neil, Christopher Thorburn. Narração: Linda Cropper. Sydney: Essential Media and Entertainment, 2012. Disponível em: <http://www.imdb.com/title/tt2145426/>.
14. F. L. F. Mesquita, *O caso do Pirahã*. Blog Unicamp, 2016. Disponível em: <https://www.blogs.unicamp.br/linguistica/2016/09/09/o-caso-do-piraha/>, acesso em 06 de Junho de 2023; apud D. L. Everett *Cultural constraints on grammar and cognition in pirahã*. Current Anthropology, 2005.
15. G. Dehaene-Lambertz, *The human infant brain: A neural architecture able to learn language*. Université Paris-Saclay, Paris: Psychonomic Bulletin and Review.
16. G. Dehaene-Lambertz, *The human infant brain: A neural architecture able to learn language*. Université Paris-Saclay, Paris: Psychonomic Bulletin and Review; apud J. H. Kaas *et al*, *Subdivisions of auditory cortex and processing streams in primates*. Vanderbilt University, Nashville: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2000.
17. G. Dehaene-Lambertz, *The human infant brain: A neural architecture able to learn language*. Université Paris-Saclay, Paris: Psychonomic Bulletin and Review; apud G. M. Grimshaw *et al*, *First-language acquisition in adolescence: Evidence for a critical period for verbal language development*. University of Waterloo, Ontario: Brain and language, 1998.
18. G. Dehaene-Lambertz, *The human infant brain: A neural architecture able to learn language*. Université Paris-Saclay, Paris: Psychonomic Bulletin and Review; apud M. Penã *et al*, *Earlier speech exposure does not accelerate speech acquisition*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago: Journal of Neuroscience, 2012.

19. G. Dehaene-Lambertz, *The human infant brain: A neural architecture able to learn language*. Université Paris-Saclay, Paris: Psychonomic Bulletin and Review; apud J. F. Werker *et al*, *Critical periods in speech perception: New directions*. University of British Columbia, Vancouver: Annual Review of Psychology, 2015.
20. G. Dehaene-Lambertz, *The human infant brain: A neural architecture able to learn language*. Université Paris-Saclay, Paris: Psychonomic Bulletin and Review; apud J. F. Werker *et al*, *Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life*. Infant Behavior and Development, 1984.
21. F. Y. Ismail *et al*, *Cerebral plasticity: Windows of opportunity in the developing brain*. Kennedy Krieger Institute, Baltimore: European Journal of Paediatric Neurology, 2017.
22. B. Kolb *et al*, *Brain plasticity and behaviour in the developing brain*. Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 2011.
23. M. Hubener *et al*, *Neural Plasticity: Beyond the Critical Period*. Max Planck Institute of Neurobiology, Martinsried: Elsevier, 2014.
24. Z. Hochberg, *Developmental Plasticity in Child Growth and Maturation*. Israel Institute of Technology, Haifa: Frontiers in Endocrinology, 2011.
25. L. C. A. Madureira *et al*, *Importância da imagem por ressonância magnética nos estudos dos processos interativos dos órgãos e sistemas*. Universidade Federal da Bahia, Salvador: Revista de Ciências Médicas e Biológicas, 2010; apud E. Engelhardt *et al*, *A substância branca cerebral: localização dos principais feixes com anisotropia fracionada direcional*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: Revista Brasileira de Neurologia, 2008.
26. L. C. A. Madureira *et al*, *Importância da imagem por ressonância magnética nos estudos dos processos interativos dos órgãos e sistemas*. Universidade Federal da Bahia, Salvador: Revista de Ciências Médicas e Biológicas, 2010; apud E. Pagani *et al*, *Basic concepts of advanced MRI techniques*. University Ospedale San Raffaele, Milan: Neurological Sciences, 2008.
27. L. C. A. Madureira *et al*, *Importância da imagem por ressonância magnética nos estudos dos processos interativos dos órgãos e sistemas*. Universidade Federal da Bahia, Salvador: Revista de Ciências Médicas e Biológicas, 2010; apud M. Ríos-Lago, *Neuropsicología y ressonância magnética funcional: conceptos generales*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid: Radiología, 2008.
28. L. C. A. Madureira *et al*, *Importância da imagem por ressonância magnética nos estudos dos processos interativos dos órgãos e sistemas*. Universidade Federal da Bahia, Salvador: Revista de Ciências Médicas e Biológicas, 2010; apud G. Busatto Filho *et al*, *Apresentação: Neuroimagem em psiquiatria*. Universidade de São Paulo, São Paulo: Revista Brasileira de Psiquiatria, 2001.