

## MODELOS MATEMÁTICOS E A DINÂMICA DE FORMAÇÃO DA MEMÓRIA <sup>1</sup>

Joelma Iamac Nomura<sup>2</sup>

Kelser de Souza Kock<sup>3</sup>

**Resumo:** O presente trabalho evidencia a importância de modelos matemáticos relacionados à análise da dinâmica de formação de memória sensorial, memória de curto prazo e memória de longo prazo do cérebro humano nas perspectivas de Atkinson e Shiffrin (1968) e Baddeley e Hitch (1974). Fundamentados nos pressupostos teóricos anteriores, buscamos analisar como os processos de controle como a atenção, a repetição, o ensaio e a recuperação afetam as memórias sensorial, de curto prazo e de longo prazo e como elas estão relacionadas às curvas de esquecimento. A pesquisa é classificada quanto à abordagem como quantitativa, descritiva e exploratória, sendo a análise dos resultados realizada a partir da ferramenta computacional MATLAB® e Simulink. O resultado da investigação evidenciou que processos de controle como a atenção se constitui em fator principal na formação da memória de curto e longo prazo e que a repetição e o ensaio prolongam o tempo que as informações ficam armazenadas na memória de curto prazo, sendo, portanto, fatores primordiais para a construção do conhecimento e da aprendizagem.

**Palavras-chave:** Modelos de Memória. Modelos Matemáticos. Simulação Computacional. Memória de Curto Prazo. Memória de Longo Prazo.

### 1 INTRODUÇÃO

Nesta pesquisa é abordada sobre a importância de modelos matemáticos relacionados à análise da dinâmica da formação de memória sensorial, de curto e longo prazo do cérebro humano. Dentre os modelos teóricos que norteiam esta pesquisa, destacamos os da memória na perspectiva de Atkinson e Shiffrin (1968) e Baddeley e Hitch (1974). A pesquisa realizada tem como tema evidenciar o papel dos modelos

---

<sup>1</sup> Short Paper apresentado à Unidade de Aprendizagem Pesquisa e Monografia em Matemática - Bacharelado, ministrada pelo Prof.ª Ana Regina de Aguiar Dutra, Doutora. 2022.

<sup>2</sup> Acadêmico do curso Joelma Iamac Nomura da Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul. E-mail: joelma.iamac@gmail.com

<sup>3</sup> Orientador do curso Prof. Dr. Kelser de Souza Kock da Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul. E-mail: kelser.kock@animaeducacao.com.br

matemáticos na interpretação e análise da dinâmica de processamento da informação do cérebro humano a partir de modelos teóricos da memória.

Sua delimitação buscou interpretar e analisar o papel dos processos de controle da memória como a atenção, repetição, recuperação, ensaio e esquecimento na constituição da memória de curto e longo prazo a partir do auxílio de ferramentas computacionais como o MATLAB® e Simulink e tem como questões norteadoras: 1) Como os modelos matemáticos contribuem na interpretação e análise do processamento de informação do cérebro humano, em particular da memória de curto e longo prazo? e 2) Qual o papel da atenção, repetição, recuperação, ensaio e esquecimento na constituição da memória de curto e longo prazo?

Quanto à abordagem metodológica, esta pesquisa é classificada como quantitativa pois é descrita pela objetividade, sistematização e quantificação dos conceitos e quanto ao tipo é classificada como descritiva e exploratória, pois identifica relações entre variáveis e a natureza entre elas, assim como buscam identificar os fatores que subjazem à ocorrência de determinado fenômeno.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

Esta pesquisa se fundamenta em bases da Neurociência Cognitiva que tratam do desenvolvimento e armazenamento de memória. De maneira a tratar os aspectos primordiais que norteiam o tema, trouxemos um compilado das principais ideias tratadas em Milner, Squire e Kandel (1998) com o objetivo de fundamentar sobre a Neurociência Cognitiva.

Segundo os autores, a Neurociência se desenvolveu bastante na última metade do século XX sobretudo em decorrência da biologia molecular que transformou a neurobiologia celular, trazendo uma nova concepção a respeito da estrutura molecular relacionadas às células nervosas e à todas as células do corpo. Em seu estudo, há um enfoque interdisciplinar ao sistema nervoso, no sentido de encorajar a ideia de que técnicas e conceitos da neurobiologia e sistemas da Neurociência podem ser normalmente aplicados na análise da cognição.

Nesse sentido, buscamos estudar os modelos de memória elaborados por Atkinson e Shiffrin (1968) e Baddeley e Hitch (1974) retratando os conceitos primordiais

relacionados à constituição do registro sensorial, da memória de curto prazo e da memória de longo prazo, além dos processos de controle que norteiam os mecanismos de armazenamento das memórias como a atenção, o ensaio, a repetição, a recuperação e o esquecimento.

Para os primeiros autores, a estrutura do sistema de memória é dividida em três componentes básicos, a saber: registro sensório, armazenamento de curto prazo e armazenamento de longo prazo e o início para a constituição da memória se dá quando um estímulo é apresentado e registrado dentro das dimensões sensoriais apropriadas como o registro visual. Conforme os autores explicam, no armazenamento de curto prazo as informações decaem e desaparecem completamente e armazenamento de longo prazo, as informações não decaem ou se perdem da mesma maneira que no registro sensorial ou no armazenamento de curto prazo, sendo consideradas relativamente permanentes. Também são descritos os processos de controle que são a atenção, o ensaio, a repetição, e o esquecimento, mecanismos que garantem manter estrita a relação entre o armazenamento de curto e longo prazo.

Já em Baddeley e Hitch (1974), a memória de trabalho deixa de ser um armazenador temporário como é visto na perspectiva de Atkinson e Shiffrin (1968) e passa a ser considerado como um processador ativo que manipula um conjunto de informações por um período de tempo, cujos componentes estão envolvidos em atividades cognitivas relacionadas à aprendizagem, leitura, linguagem, aritmética, resolução de problemas ou a própria consciência.

### **3 DELIMITAÇÃO METODOLÓGICA**

Esta pesquisa é classificada como quantitativa pois favorece a descrição precisa e sistemática do conteúdo manifesto da comunicação, sendo resultado de toda informação numérica, tendo seus resultados evidenciados por quadros, tabelas e medidas. A partir da pesquisa quantitativa é possível explicar e prever os fenômenos pesquisados, de maneira a encontrar regularidades e relações causais entre os elementos. A pesquisa também foi classificada de acordo com seus objetivos como descritiva que tem como objetivo descrever identificar relações entre as variáveis e a natureza dessas relações. Elas se aproximam das pesquisas explicativas que têm por finalidade identificar os fatores que

subjazem à ocorrência de determinado fenômeno. Nesse sentido, esta pesquisa é classificada quanto à abordagem e ao tipo como: quantitativa, descritiva e explicativa.

Para responder as questões que norteiam este trabalho, a simulação computacional foi realizada com o auxílio do *software* MATLAB® que conforme descreve Gilat (2012), corresponde a uma poderosa linguagem em termos de computação técnica e que tem como base operacional o estudo de matrizes. Dentre suas ferramentas, encontra-se o *Simulink* que foi desenvolvido para modelar sistemas complexos e processos que são difíceis de serem modelados a partir de um simples conjunto de equações diferenciais. Além disso, sua interface gráfica com o usuário permite a criação de um sistema dinâmico, ou seja, um sistema modelado por equações diferenciais, ou equações de diferenças, que têm o tempo como variável independente.

### 3.1 AS EQUAÇÕES DIFERENCIAIS INVESTIGADAS

As equações diferenciais trabalhadas nesta pesquisa são fundamentadas pelo trabalho de Samuel *et al.* (2016), sendo elas:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= I(t) - (\alpha + \tau)S \\ \frac{dMCP}{dt} &= \alpha \cdot S + (\rho - \beta - \tau_{MCP}) \cdot MCP + \mu \cdot MLP \\ \frac{dMLP}{dt} &= \beta \cdot MCP - (\mu + \tau_{MLP}) \cdot MLP\end{aligned}$$

em que:  $I(t)$ : taxa de entrada de estímulos na memória sensorial no tempo  $t$ ;  $S$ : registro sensorial;  $MCP$ : memória de curto prazo e  $MLP$ : memória de longo prazo, são as **variáveis** e

$\alpha$ : coeficiente de atenção;  $\tau$ : coeficiente de esquecimento do registro sensorial;  $\tau_{MCP}$ : coeficiente de esquecimento da MCP;  $\tau_{MLP}$ : coeficiente de esquecimento da MLP;  $\rho$ : coeficiente de repetição;  $\mu$ : coeficiente de recuperação;  $\beta$ : coeficiente de prática/ensaio são os **parâmetros iniciais**.

Além das equações diferenciais anteriores, a análise também considerou a função de potência que avalia o padrão do esquecimento das informações aprendidas na perspectiva de Radvansky *et al.* (2022) e que é expressa pela relação:

$$M = a \cdot t^b$$

sendo, M: desempenho de memória; a: constante; t: tempo; b: expoente que captura a taxa de esquecimento das informações aprendidas.

#### 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS

Considerando a pesquisa de Samuel *et al.* (2015) que utiliza um sistema de equações diferenciais como modelo matemático de processamento das informações de memória e a pesquisa de Radvansky *et al.* (2022) que utiliza uma função de potência para avaliar o padrão de retenção e esquecimento das informações aprendidas e os dados apresentados em suas respectivas pesquisas, foram simulados quatro diferentes cenários, intitulados: Referência (Cenário 1), Maior capacidade de memorização (Cenário 2), Menor capacidade de memorização (Cenário 3) e Amnésia anterógrada (Cenário 4). Em um primeiro momento são estabelecidos os coeficientes iniciais e após simulação computacional são estabelecidos os dados de referência que foram considerados nos cenários sucessivos.

As tabelas 1 e 2 apresentam os dados utilizados na construção dos diferentes cenários:

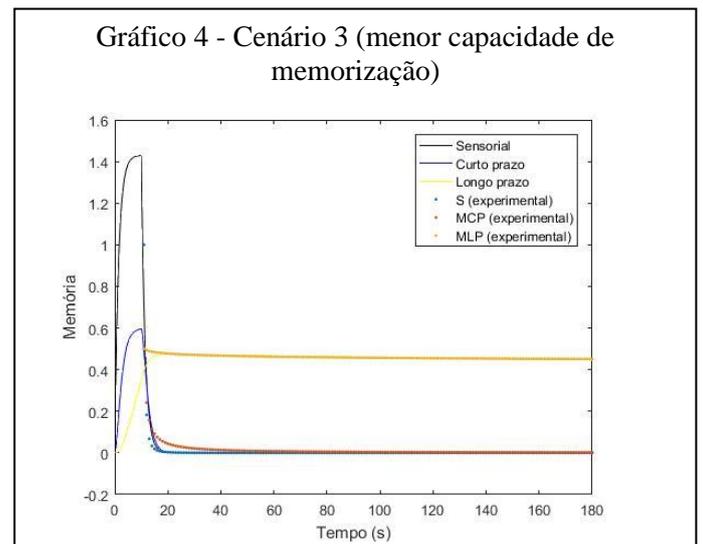
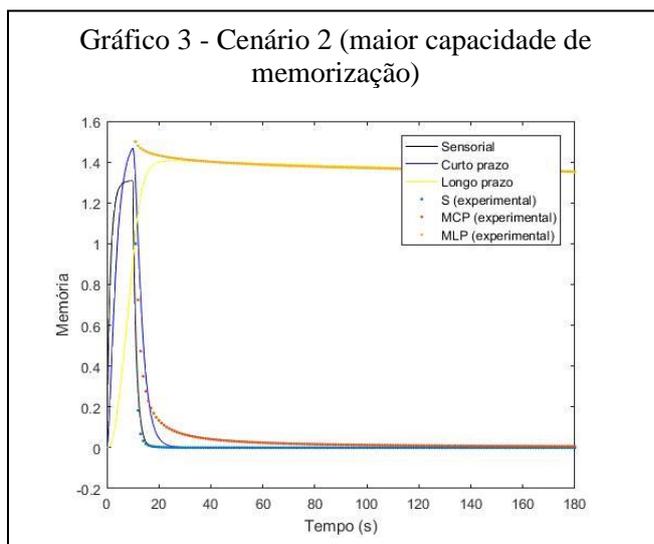
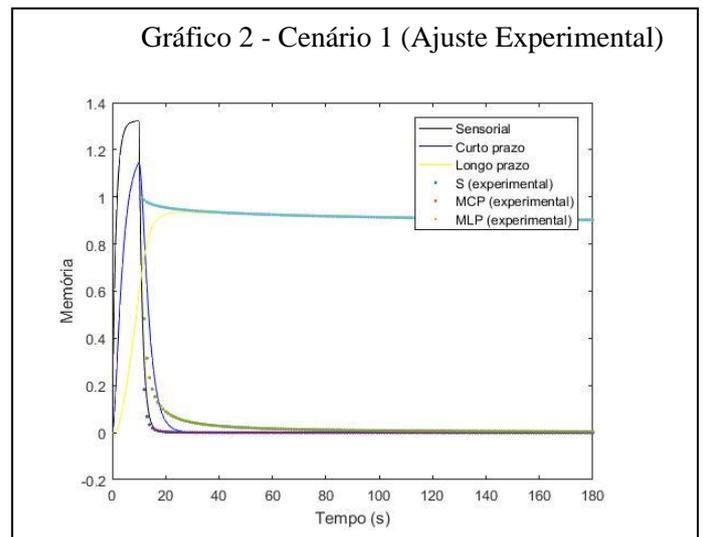
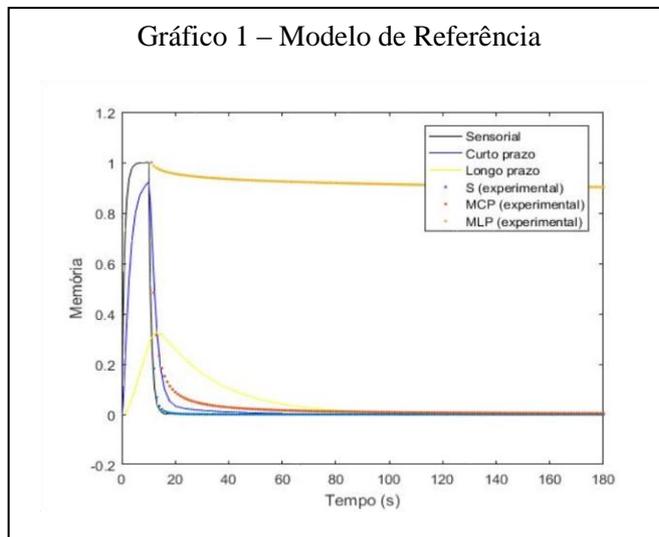
Tabela 1: Valores de referência, Maior capacidade de memorização, Menor capacidade de memorização e Amnésia anterógrada

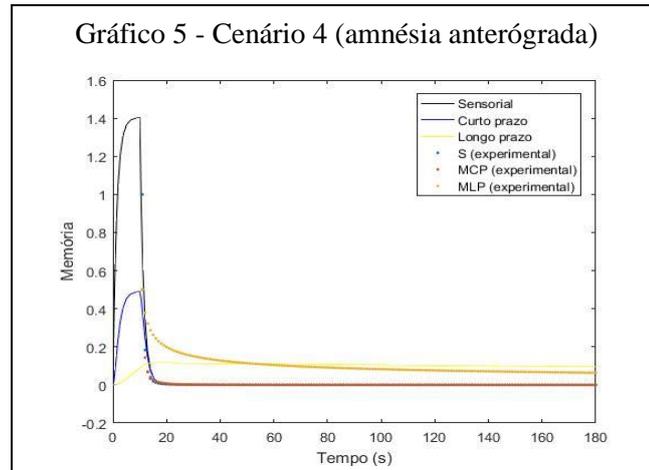
	Iniciais	Referência (Cenário 1)	Maior capacidade de memorização (Cenário 2)	Menor capacidade de memorização (Cenário 3)	Amnésia anterógrada (Cenário 4)
$\alpha$ : coeficiente de atenção	0,5	0,35623	0,49882	0,34064	0,36104
$\beta$ : coeficiente de prática/ensaio	0,05	0,078721	0,093354	0,079553	0,023912
$\mu$ : coeficiente de recuperação	0,05	0,00033656	0,00035978	0,00040901	0,0012648
$\rho$ : coeficiente de repetição	0,5	0,21847	0,45768	0,42775	0,16966
$\tau$ : coeficiente de esquecimento do registro sensorial	0,5	0,39984	0,26584	0,3587	0,35133
$\tau_{MCP}$ : coeficiente de esquecimento da MCP	1	0,53442	0,79498	1,1632	1,1785
$\tau_{MLP}$ : coeficiente de esquecimento da MLP	0,001	$1,9701 \cdot 10^{-7}$	$1,3344 \cdot 10^{-8}$	$8,8467 \cdot 10^{-6}$	$7,3393 \cdot 10^{-7}$

Tabela 2: Valores da constante a e expoente b (expoente que captura a taxa de esquecimento das informações aprendidas) da função de potência  $M = a \cdot t^b$

	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4	
Registro sensorial	a=1	b=-2,45	a=1	b=-2,45	a=1	b=-2,45	a=1	b=-2,45
Memória de curto prazo	a=1	b=-1,05	a=1,5	b=-1,05	a=0,5	b=-1,05	a=0,5	b=-1,8
Memória de longo prazo	a=1	b=-0,02	a=1,5	b=-0,02	a=0,5	b=-0,02	a=0,5	b=-0,4

Os próximos gráficos ilustram as memórias sensorial, de curto prazo e de longo prazo segundo as equações diferenciais e as curvas de esquecimento dadas pela função de potência em cada um dos cenários.





Em resumo, consideramos como resultado desta análise que a atenção se constitui em fator principal na formação da memória de curto e longo prazo, estando em consonância com o estudo dos referenciais teóricos que nortearam esta pesquisa. O mesmo pode ser afirmado quanto ao papel da atenção sobre os resultados alcançados no estudo da amnésia anterógrada, contudo ainda há dados inconclusivos a respeito dos demais componentes dos processos de controle. Quanto à constituição da memória de longo prazo, além da atenção, podemos destacar o papel da repetição e do ensaio que atuam ativamente na retenção de informações e consolidação das informações.

Nesta análise, também validamos as ideias de Radvansky *et al.* (2022) quanto ao padrão de esquecimento que não pode ser explicado por uma única função e que variam em diferentes períodos de tempo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como fundamento as bases da Neurociência Cognitiva no desenvolvimento e armazenamento de memória e buscou investigar como os modelos matemáticos contribuem na interpretação e análise do processamento de informação do cérebro humano, em particular da memória de curto e longo prazo. Além disso, pudemos identificar a respeito da atuação dos processos de controle da memória como a atenção, repetição, ensaio e recuperação na constituição dessas memórias à luz dos teóricos Atkinson e Shiffrin (1968) e Baddeley e Hitch (1974).

Como resultado desta investigação, foi identificado que os modelos matemáticos trabalhados expressam a relação entre os parâmetros e as variáveis em estudo. Além disso, a validação desses modelos se constitui na atividade mais importante quando se trabalha com modelagem, pois além de explicar os resultados é possível prever novos resultados ou situações que possam, ou não, condizer com o esperado.

O uso da ferramenta computacional MATLAB® e Simulink possibilitou que a análise dos dados fosse feita de maneira segura e ágil. Além disso, a interface gráfica pôde expressar as relações entre os parâmetros estudados e o impacto desses parâmetros na constituição do registro sensorio, na memória de curto prazo e na memória de longo prazo.

Fundamentados pelos teóricos anteriores, foi possível considerar que a atenção se constitui em fator principal na formação da memória de curto e longo prazo e que a repetição e o ensaio prolongam o tempo que as informações ficam armazenadas na memória de curto prazo, sendo, portanto, fatores primordiais para a construção do conhecimento e da aprendizagem.

Foram vislumbradas diferentes possibilidades para futuras de investigações na área de doenças neuropsiquiátricas, de fármacos e de déficits cognitivos e de aprendizagem a partir de modelos matemáticos que tratem dos temas anteriores e que possam contribuir com a análise das relações existentes entre os diferentes tipos de memória.

## REFERÊNCIAS

ATKINSON, R. C. e SHIFFRIN, R. M. **Human Memory: a proposed system and its control processes**. Disponível em:

<https://cogs.siteshost.iu.edu/FestschriftForRichShiffrin/pubs/1968%20Human%20Memory.%20Atkinson,%20Shiffrin.pdf>. Acesso em 08 de maio de 2022.

BADDELEY, A. D., HITCH, G. **Working memory: Recent Advances in Learning and Motivation**. G.A. Bower. Vol. 8 New York : Academic Press, 1974. pp. 47-90.

Disponível em:

<https://app.nova.edu/toolbox/instructionalproducts/edd8124/fall11/1974-Baddeley-and-Hitch.pdf>. Acesso em: 08 de maio de 2022.

BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia**. 4ª. Edição. São Paulo: Editora Contexto, 2014. Disponível em:

<https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/35252/epub/0?code=saaPoQ9M1DBGhG2qyAZRqr/410NXG4dTKzuZkkPXNxYcbzSVkKdh0P2oEmxcNGjXQwgHaRytXf94F5JtFEIhRQ==>. Acesso em 08 de maio de 2022.

GILAT, A. **MATLAB com aplicações em engenharia**/Tradução: Rafael Silva Alípio; revisão técnica: Antonio Pertence Júnior – 4ª. Edição – Porto Alegre: Bookman, 2012.

MILNER, B., SQUIRE, L. e KANDEL, E. R. Cognitive Neuroscience and the Study of Memory. **Neuron**, vol. 20, 445-468, 1998. Disponível em:

[http://whoville.ucsd.edu/PDFs/286\\_Milner\\_et\\_al\\_Neuron1998.pdf](http://whoville.ucsd.edu/PDFs/286_Milner_et_al_Neuron1998.pdf). Acesso em: 07 de maio de 2002.

RADVANSKY, G. A. et al.. A New Look at Memory Retention and Forgetting.

**Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition**. Advance online publication. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1037/xlm0001110>. Acesso em: 07 de maio de 2022.

SAMUEL, S. *et al.* A Mathematical Model to Study the Human Brain Information Processing Dynamics. **American Journal of Applied mathematics**. 2015; 3(5): p. 233-242. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/284196954\\_A\\_Mathematical\\_Model\\_to\\_Study\\_the\\_Human\\_Brain\\_Information\\_Processing\\_Dynamics](https://www.researchgate.net/publication/284196954_A_Mathematical_Model_to_Study_the_Human_Brain_Information_Processing_Dynamics). Acesso em: 08 de maio de 2022.