

MODELOS MATEMÁTICOS E A DINÂMICA DE FORMAÇÃO DA MEMÓRIA



**Joelma Iamac Nomura
Kelser de Souza Kock**

MODELOS MATEMÁTICOS E A DINÂMICA DE FORMAÇÃO DA MEMÓRIA





AVALIAÇÃO, PARECER E REVISÃO POR PARES

Os textos que compõem esta obra foram avaliados por pares e indicados para publicação.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Bibliotecária responsável: Aline G. S. Benevidez CRB-1/3889

Modelos matemáticos e a dinâmica de formação da
memória [livro eletrônico] / Joelma Iamac Nomura.
Kelsler de Souza Kock. – 1.ed. – Curitiba-PR,
Editora Bagai, 2024, 97p.

E-Book.

Bibliografia.

Acesso em www.editorabagai.com.br

ISBN: 978-65-5368-494-2

1. Modelos matemáticos. 2. Simulação Computacional.
3. Modelos de Memória.

I. Nomura, Joelma Iamac. II. Kock, Kelsler de Souza.

07-2024/74

CDD 519.2

Índice para catálogo sistemático:

1. Modelos Matemáticos 519.2



<https://doi.org/10.37008/978-65-5368-494-2.224.01.24>

Proibida a reprodução total ou parcial desta obra sem autorização prévia da Editora BAGAI por qualquer processo, meio ou forma, especialmente por sistemas gráficos (impressão), fonográficos, microfilmicos, fotográficos, videográficos, reprográficos, entre outros. A violação dos direitos autorais é passível de punição como crime (art. 184 e parágrafos do Código Penal) com pena de multa e prisão, busca e apreensão e indenizações diversas (arts. 101 a 110 da Lei 9.610 de 19.02.1998, Lei dos Direitos Autorais).

Este livro foi composto pela Editora Bagai.



www.editorabagai.com.br



[@editorabagai](https://www.instagram.com/editorabagai)



[/editorabagai](https://www.facebook.com/editorabagai)



[contato@editorabagai.com.br](mailto: contato@editorabagai.com.br)

**Joelma Iamac Nomura
Kelser de Souza Kock**

**MODELOS MATEMÁTICOS
E A DINÂMICA
DE FORMAÇÃO DA MEMÓRIA**



<i>Editor-Chefe</i>	Prof. Dr. Cleber Bianchessi
<i>Revisão</i>	O autor
<i>Capa & Diagramação</i>	Luciano Popadiuk
<i>Imagen de Capa</i>	https://tinyurl.com/imagemcapa
<i>Conselho Editorial</i>	<p>Dr. Adilson Tadeu Basquerote – UNIDAVI Dr. Anderson Luiz Tedesco – UNOESC Dra. Andréa Cristina Marques de Araújo - CESUPA Dra. Andréia de Bem Machado – UFSC Dra. Andressa Grazielle Brandt – IFC - UFSC Dr. Antonio Xavier Tomo - UPM - MOÇAMBIQUE Dra. Camila Cunico – UFPB Dr. Carlos Alberto Ferreira – UTAD - PORTUGAL Dr. Carlos Luís Pereira – UFES Dr. Cláudio Borges – UNIPAGET – CABO VERDE Dr. Cleidone Jacinto de Freitas – UFMS Dra. Clélia Peretti - PUCPR Dra. Daniela Mendes V da Silva – SEEDUCRJ Dr. Deivid Alex dos Santos - UEL Dra. Denise Rocha – UFU Dra. Elisa Maria Pinheiro de Souza – UEPA Dra. Elisângela Rosemeri Martins – UESC Dra. Elnora Maria Gondim Machado Lima - UFPI Dr. Ernane Rosa Martins – IFG Dra. Flávia Gaze Bonfim – UFF Dr. Francisco Javier Cortazar Rodríguez - Universidad Guadalajara – MÉXICO Dr. Francisco Odécio Sales - IFCE Dra. Geuciane Felipe Guerim Fernandes – UENP Dr. Hélder Rodrigues Maiunga - ISCED-HUILA - ANGOLA Dr. Helio Rosa Camilo – UFAC Dra. Helisamar Mota Guedes – UFVJM Dr. Humberto Costa – UFPR Dra. Isabel Maria Esteves da Silva Ferreira – IPPortalegre - PORTUGAL Dr. João Hilton Sayeg de Siqueira – PUC-SP Dr. João Paulo Roberto Junior – UFRR Dr. Joao Roberto de Souza Silva - UPM Dr. Jorge Carvalho Brandão – UFC Dr. Jose Manuel Salum Tome, PhD - UCT - Chile Dr. Juan Eligio López García – UCF-CUBA Dr. Juan Martín Ceballos Almeraya - CUIM-MÉXICO Dr. Juliano Milton Kruger - IFAM Dra. Karina de Araújo Dias – SME/PMF Dra. Larissa Warnavin – UNINTER Dr. Lucas Lenin Resende de Assis - UFLA Dr. Luciana Luz Gonzaga – SEEDUCRJ Dra. Luisa Maria Serrano de Carvalho - Instituto Politécnico de Portalegre/CIEP-UE - POR Dr. Luiz M B Rocha Menezes – IFMT Dr. Magno Alexon Bezerra Seabra - UFPB Dr. Marcel Lohmann – UEL Dr. Márcio de Oliveira – UFAM Dr. Marcos A. da Silveira – UFPR Dra. María Cárdenas Bestard González - UCF-CUBA Dra. María Lucia Costa de Moura – UNIP Dra. Marta Alexandra Gonçalves Nogueira - IPLEIRIA - PORTUGAL Dra. Nadja Regina Sousa Magalhães – FOPPE-UFSC/UFPel Dr. Nicola Andrian - Associação EnARS, ITÁLIA Dra. Patrícia de Oliveira - IF BAIANO Dr. Paulo Roberto Barbosa – FATEC-SP Dr. Porfirio Pinto – CIDH - PORTUGAL Dr. Rogério Makino – UNEMAT Dr. Reiner Hildebrandt-Stramann - Technische Universität Braunschweig - ALEMANHA Dr. Reginaldo Peixoto - UEMS Dr. Ricardo Caetano Ferreira - UNITEL - ANGOLA Dr. Ronaldo Ferreira Maganhotto – UNICENTRO Dra. Rozane Zaionz - SME/SEED Dr. Stelio João Rodrigues - UNIVERSIDAD DE LA HABANA - CUBA Dra. Sueli da Silva Aquino - FIPAR Dr. Tiago Tendai Chingore - UNILICUNGO – MOÇAMBIQUE Dr. Thiago Perez Bernardes de Moraes – UNIANNDRADE/UK-ARGENTINA Dr. Tomás Raul Gómez Hernández – UCLV e CUM – CUBA Dra. Vanessa Freitas de Araújo – UEM Dr. Walmir Fernandes Pereira – FLSHEP - FRANÇA Dr. Willian Douglas Guilherme – UFT Dr. Yoisell López Bestard- SEDUCRS</p>

PREFÁCIO

Caro Leitor,

Este E-book é o resultado de uma pesquisa realizada no curso de Matemática da Universidade do Sul de Santa Catarina. Ao considerarmos a sua relevância para o mundo acadêmico e científico, tomamos o interesse em publicá-lo neste formato. Assim, esperamos que a leitura dos temas apresentados possa abrir portas e levar a diferentes caminhos que incentivem outras investigações. Este é o ponto principal que buscamos alcançar! E toda pesquisa demanda tempo, dedicação, preocupações, ansiedades, motivações e desmotivações, e uma imensa alegria quando chegamos ao fim e somos aprovados com mérito. Não é mesmo?

Percebemos que muito do que é estudado poderia tomar outras formas, além dos artigos científicos publicados em periódicos acadêmicos e congressos e que todos nós devemos valorizar cada rascunho ou anotação que fazemos, todas as experiências que vivenciamos, felicitando cada uma de nossas conquistas. E esse trabalho foi uma delas! Ele é um presente para todos aqueles que fizeram parte dessa jornada e para aqueles que buscam fontes de inspiração para seguirem em frente.

A pesquisa realizada é uma versão bastante simplificada da dimensão que os conhecimentos abordados podem assumir. Nela, buscamos evidenciar diferentes conceitos relacionados à Simulação Computacional, aos Modelos Matemáticos, à Neurociência Cognitiva, aos aspectos de Atenção e Memória e à Aprendizagem. Assim, é um campo interdisciplinar e multidisciplinar que não se esgota.

Deixamos, com este trabalho, a oportunidade para que a pesquisa se aprofunde, que os oriente quantos aos referenciais teóricos e métodos empregados ou mesmo que assuma novos caminhos.

Um grande abraço!

Os Autores

SUMÁRIO

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	7
1.1 TEMA E DELIMITAÇÃO DO TEMA	7	
1.2 PROBLEMATIZAÇÃO	7	
1.3 JUSTIFICATIVAS	9	
1.4 OBJETIVOS	10	
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	10	
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 O SURGIMENTO DA NEUROCIÊNCIA COGNITIVA	13	
2.2 OS MODELOS DE MEMÓRIA DE ATKINSON E SHIFFRIN (1968) E BADDELEY E HITCH (1974)	17	
2.3 MODELOS DE MEMORIZAÇÃO E ESQUECIMENTO	31	
2.4 O PAPEL DO MODELO MATEMÁTICO	37	
3	DELIMITAÇÃO METODOLÓGICA	50
3.1 ABORDAGEM QUANTITATIVA	51	
3.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	53	
3.3 AS EQUAÇÕES DIFERENCIAIS INVESTIGADAS	56	
3.4 OS CENÁRIOS SIMULADOS E O TRATAMENTO DE DADOS	59	
3.5 RESUMO DOS DADOS	71	
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	76
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
REFERÊNCIAS	82	
ANEXOS	84	
SOBRE OS AUTORES	93	
ÍNDICE REMISSIVO	94	

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste livro abordaremos 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 análise dos modelos matemáticos trabalhados e analisados à luz das teorias anteriores será realizada com o auxílio do *software* MATLAB® e do Simulink. Assim, será apresentada a problematização e a justificativa, o objetivo geral e os objetivos específicos, além da estrutura do trabalho que norteia esta pesquisa.

1.1 TEMA E DELIMITAÇÃO DO TEMA

A pesquisa realizada tem como tema evidenciar o papel dos modelos 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.

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

A modelagem matemática consiste na arte de transformar problemas do cotidiano em problemas matemáticos, e resolvê-los de maneira que suas soluções sejam interpretadas na linguagem do mundo real. As vantagens de seu emprego podem estar atreladas aos avanços obtidos nos mais diversos campos do conhecimento científico como Física, Engenharias, Química, Economia ou Ciências Cognitivas.

Partindo do pressuposto que todas as ciências são fundamentadas em bases empíricas e teóricas, os modelos matemáticos se mostram

relevantes na formulação de problemas e ensaios de hipóteses a serem testadas e avaliadas. Dessa maneira, a modelagem matemática alia teoria e prática, e vem em auxílio às demais ciências, sempre em busca de resposta a determinado fato ou situação real (Bassanezi, 2014).

Ainda segundo Bassanezi (2014), a importância do modelo matemático consiste em se ter uma linguagem concisa que expresse nossas ideias de maneira clara e sem ambiguidades, além de nos fornecer um arsenal enorme de resultados que propiciam a análise de soluções numéricas a partir de métodos computacionais.

Mas por que relacionar modelos matemáticos à formação da memória de curto e longo prazo?

A memória é o coração de funcionamento intelectual humano que nos capacita às mais simples situações do cotidiano e da vida social. A cada momento estamos expostos a muitas informações que serão percebidas por nossos sentidos. No entanto, é comum não direcionarmos nossa atenção a maior parte delas. Diante desse contexto, faz-se necessário entender os processos de controle como a repetição de informação, a codificação adequada da informação para a memória de longo prazo, as decisões que tomamos quanto à importância dessa informação e as estratégias de recuperação que auxiliarão na lembrança da informação. Para tanto, nossa pesquisa será norteada nos pressupostos teóricos dos modelos de memória de trabalho de Atkinson e Shiffrin (1968) e Baddeley e Hitch (1974). Atkinson e Shiffrin (1968) dividem a memória em três armazenadores: a memória sensorial, a memória de curto prazo ou primária e a memória de longo prazo ou secundária e seu modelo teórico compreende a memória segundo a perspectiva da teoria do Processamento da Informação. Já Baddeley e Hitch (1974) propõem o modelo de memória de trabalho chamado de memória operacional. Este novo modelo veio substituir o conceito de memória de curto prazo proposto por Atkinson e Shiffrin (1968) que a limitava a um armazenador temporário de informação. Segundo Baddeley e Hitch (1974) a memória de trabalho corresponde a um processador ativo formado por subsistemas capazes de manipular um conjunto de informações em um conjunto limitado de tempo e ultrapassam a simples ideia de armazenamento.

Dessa maneira, fundamentando-nos nos pressupostos teóricos anteriores, foram formuladas as seguintes questões de pesquisa:

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?

1.3 JUSTIFICATIVAS

A escolha do tema é justificada pela importância iminente de se compreender a dinâmica de processamento da informação do cérebro humano a partir de diferentes modelos teóricos da memória. Tais modelos de memória correspondem a modelos úteis para investigar o desenvolvimento de processos cognitivos, podendo contribuir com pesquisas associadas aos processos de aprendizagem e com o desenvolvimento de estratégias e técnicas que auxiliem na descrição de pacientes com doenças neuropsiquiátricas.

Frente a este cenário, torna-se necessária a construção de modelos físicos do processo de memorização que é formado por ganhos e perdas contínuas de informações em um intervalo de tempo. Este processo pode ser expresso por uma equação dinâmica com diferentes parâmetros que quantificam a capacidade do cérebro em relação às habilidades de memorização. Assim, torna-se necessário investigar os diferentes parâmetros dos modelos a partir de experimentos numéricos que auxiliem na compreensão da formação da memória de curto e longo prazo e que podem influenciar de maneira significativa o processo de aprendizagem. Tais experimentos numéricos estão associados às teorias de memória de Atkinson e Shiffrin (1968) e Baddeley e Hitch (1974) e são expressos por equações diferenciais que mostram a dinâmica da relação entre as variáveis de estado e os parâmetros. Tendo em vista os avanços significativos em relação às simulações computacionais de cenários do processamento da informação no déficit de atenção, déficit cognitivo, distúrbios de memória e aspectos do aprendizado, a análise de resultados foi realizada com o auxílio do *software* MATLAB® que nos auxiliou na análise quantitativa e na visualização dos dados.

Dessa maneira, consideramos que este estudo se constitui em fator importante para estabelecer a relação entre modelos matemáticos associados à investigação de processos de memória podendo trazer contribuições significativas para pesquisas que considerem este tema.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Estudar a dinâmica de processamento da informação do cérebro humano a partir do modelo teórico da memória na perspectiva de Atkinson e Shiffrin (1968) e Baddeley e Hitch (1974).

1.4.2 Objetivos Específicos

- Apresentar os diferentes modelos de processamento de informação na constituição do registro sensório, memória de curto prazo e memória de longo prazo postulados por Atkinson e Shiffrin (1968) e Baddeley e Hitch (1974).
- Discutir os diferentes tipos de memória: memória sensorial, memória de curto prazo e memória de longo prazo.
- Discutir o efeito da atenção, da repetição, da recuperação/ensaio e do esquecimento na formação da memória de curto e longo prazo.
- Estudar os modelos matemáticos simulando computacionalmente cenários do processamento da informação nos distúrbios de memória e maior capacidade de memorização.
- Interpretar a analisar os parâmetros e as variáveis presentes nos modelos de memória a partir do *software* MATLAB®.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este livro está dividido em cinco capítulos: no Capítulo 1 são apresentadas a problematização e as questões de pesquisa que norteiam este trabalho, a justificativa da escolha do tema proposto, evidenciando razões de ordem teórica e prática que tornam importante a realização da pesquisa, o objetivo geral e os objetivos específicos, além da estrutura de todo o trabalho. No Capítulo 2 são apresentados os pressupostos teóricos que fundamentam os estudos sobre a memória sensorial, de curto e de longo prazo, os modelos matemáticos constituídos por um sistema de equações diferenciais e uma função de potência utilizados em

nossa pesquisa e como eles podem contribuir na construção de processos cognitivos da memória. No Capítulo 3, são apresentadas a delimitação metodológica da pesquisa, a abordagem da pesquisa, além do papel do *software* MATLAB® e Simulink junto à análise dos dados dos modelos matemáticos propostos. No Capítulo 4 é apresentado o ensaio sobre os modelos matemáticos com o auxílio do *software* MATLAB® e Simulink e a discussão dos resultados numéricos alcançados à luz dos pressupostos teóricos de Atkinson e Shiffrin (1968) e Baddeley e Hitch (1974).

No Capítulo 5, são apresentadas as Considerações Finais são incluídos não apenas os resultados em relação ao tema proposto, como também algumas possibilidades de futuras investigações e, por fim, as Referências que nortearam a construção de toda a pesquisa.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta pesquisa tem como fundamento as bases da Neurociência Cognitiva no desenvolvimento e armazenamento de memória. De maneira a tratar os aspectos primordiais que norteiam o tema, traremos um compilado das principais ideias tratadas em Milner, Squire e Kandel (1998) com o objetivo de fundamentar as principais ideias que norteiam 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. Essa evolução trouxe uma nova concepção a respeito da estrutura molecular que abrange não apenas as células nervosas, mas também todas as células do corpo. Além disso, a abrangência em uma única disciplina denominada Neurociência Cognitiva agregou o que antes era apresentado em diferentes disciplinas, provendo uma nova estrutura para o estudo da memória, percepção, ação, linguagem e, talvez, até mesmo da consciência.

No artigo, os autores consideram os aspectos da Neurociência Cognitiva relacionados aos progressos recentes na pesquisa da memória. Além disso, acrescentam algumas questões relevantes como: até que ponto essas duas áreas independentes e díspares – Neurobiologia Molecular e Neurociência Cognitiva – podem estar unidas? A Biologia Molecular pode esclarecer o estudo de processos cognitivos como o aprendizado e a memória como ocorre em outras áreas da biologia relacionadas ao desenvolvimento? Por sua vez, a Neurociência Cognitiva pode definir novos fenômenos que levarão a um conjunto completamente novo de mecanismos moleculares e novos *insights*?

A seguir, traremos alguns conceitos tratados pelos autores que nortearão nossa pesquisa e poderão responder, ao menos em parte, as questões anteriormente apontadas.

2.1 O SURGIMENTO DA NEUROCIÊNCIA COGNITIVA

De acordo com Milner, Squire e Kandel (1998), a Neurociência Cognitiva tem origem na psicologia e nos sistemas neurobiológicos. No campo da psicologia, a Neurociência Cognitiva busca compreender os rigorosos métodos relacionados ao comportamento e à cognição e no campo dos sistemas neurobiológicos, o esforço se concentra em compreender a estrutura e a função dos circuitos neuronais do sistema sensório-motor cerebral. Nesse sentido, a junção desses dois campos foi coerentemente integrada pela Neurociência que buscou estabelecer 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.

Além disso, Milner, Squire e Kandel (1998) consideram que após a expansão de experimentos que investigam o comportamento de pacientes após sofrerem lesões em regiões específicas do cérebro foi possível explicar determinadas déficits cognitivos. Tais experimentos a respeito de lesões no cérebro proveram ricas informações sobre sua organização e anatomia relacionadas às funções superiores, incluindo a memória. Os estudos sobre lesões levaram à compreensão de que a cognição está relacionada a vários sistemas cognitivos, cada um com módulos independentes de processamento.

Os sistemas computacionais contribuíram de maneira significativa para a Neurociência Cognitiva pois possibilitaram modelar a atividade de uma vasta população de neurônios e iniciar testes a respeito de como os componentes específicos do cérebro contribuem para determinados processos cognitivos. Dessa maneira, os sistemas computacionais auxiliaram na caracterização do sistema cerebral como um todo, possibilitando encontrar descrições formais sobre suas funcionalidades e determinar como seus elementos constituintes interagem com suas propriedades.

A primeira parte do artigo dos autores supracitados analisa sobre o que é a memória, onde ela é armazenada e quais sistemas cerebrais estão envolvidos. Este corresponde ao problema dos sistemas de memória. A segunda parte do mesmo artigo analisa como a memória é armazenada, sendo este denominado de problema molecular da memória.

A questão sobre **onde a memória é armazenada** surgiu no início do século XIX como parte de uma questão mais ampla: em que nível qualquer processo mental pode ser localizado no cérebro?

A primeira pessoa a buscar respostas a esta questão foi Franz Joseph Gall que, fundamentado em estudos da anatomia do cérebro, argumentou que o cérebro é o órgão da mente. Em um segundo momento ele apreciou que o córtex cerebral não é homogêneo porém contém diferentes regiões que controlam funções mentais específicas. Gall além de propor a ideia de localização cortical afirmou que o cérebro não atua como um órgão unitário, mas sim dividido em 27 faculdades (outras vieram mais tarde), cada um correspondendo a uma faculdade mental específica.

Estudos experimentais a respeito das faculdades mentais sucederam e aprimoraram as análises realizadas por Gall, dentre eles, Pierre Flourens no final de 1820. Flourens propôs que qualquer parte do hemisfério cerebral é capaz de executar todas as funções do hemisfério. No entanto, uma região específica do hemisfério cerebral irá afetar igualmente todas as funções de alto nível. Também é possível citar as contribuições de Broca e Wernicke a respeito da localização da linguagem, seguido do debate entre localização cortical e equipotencialidade na função cognitiva. Este último estudo dominou o pensamento sobre os processos mentais como os da memória na primeira metade do século XIX.

Em 1949, Donald Hebb influenciou muitas pesquisas sobre a organização do comportamento, convencendo vários estudiosos que é possível pensar seriamente a respeito dos processos subjacentes à memória. Ele desenvolveu propostas concretas baseadas em fatores biológicos, considerando o circuito neuronal que contribui para o armazenamento de memória.

Assim, Hebb sugeriu que conjuntos de células trabalham para representar a informação e que esses conjuntos estão distribuídos por amplas regiões do córtex. Ele acrescentou que um número suficiente de interconexões celulares sobreviverá a memória das lesões para garantir que as informações sejam representadas. Assim, a ideia de um armazenamento de memória distribuído foi bem vislumbrada, consolidando a evidência de que várias partes do sistema nervoso participam na representação de cada evento.

Dentre os principais nomes científicos que buscaram as contribuições de Donald Hebb como referência encontra-se Brenda Milner que em 1957 deu início às suas pesquisas com o paciente H.M. Conforme descrito, o paciente H.M. sofreu uma remoção bilateral das estruturas mediais do lobo temporal em 1953 para aliviar a epilepsia causada após um acidente de bicicleta. Foi percebido que após a cirurgia H.M. apresentou um profundo comprometimento da memória recente, ou seja, não conseguia armazenar conhecimento, apesar de não ter perda aparente de qualquer outra atividade intelectual. Ele não podia lembrar o que tinha no café da manhã e também não podia encontrar seu caminho no hospital ou reconhecer funcionários que trabalhassem no local. No entanto, as memórias de sua infância foram preservadas e sua capacidade de sustentar a atenção também era notável. Assim, Milner mostrou que ele podia reter o número 584 por, pelo menos, 15 minutos por ensaio contínuo, combinando e recombinando os dígitos de acordo com um elaborado esquema mnemônico, porém no momento que sua atenção era desviada para outro assunto, todo o evento era esquecido.

Dentre as conclusões obtidas nas pesquisas subsequentes de Milner, foi possível afirmar que o paciente H.M. registrava as informações perceptivas normalmente, mas que deixam de estar disponíveis para ele em cerca de 30 a 40 segundos. Em consonância com os estudos realizados pela pesquisadora em 1972, Milner sugeriu a distinção entre o processo de memória primária com um rápido decaimento e um processo secundário pelo qual o armazenamento das informações a longo prazo é alcançado.

E o que se pode pensar a respeito da existência de **múltiplos sistemas de memória** no cérebro?

A demonstração do aprendizado de habilidades motoras intactas do paciente H.M. marcou o início do período do trabalho experimental que eventualmente estabeleceu a realidade biológica de múltiplos sistemas de memória.

As capacidades de memória poupadadas do paciente H.M. e outros pacientes com amnésia que tiveram lesões bilaterais do lobo temporal medial não se limitam às habilidades motoras. Segundo Milner, Squire e Kandel (1998), as habilidades motoras constituem um subconjunto de uma ampla coleção de aprendizado e habilidades de memória, sendo

todas poupadadas da amnésia e independentes do lobo temporal medial. Durante a realização de alguns experimentos, o efeito de longo prazo de uma experiência visual anterior aplicado no paciente H.M., denominada por Milner, de “aprendizagem perceptiva”, constitui uma forma distinta da habilidade motora e que, neste caso, provavelmente, é mediada por áreas corticais visuais superiores.

Ainda no trabalho dos autores, eles descrevem a respeito de sistemas de memória declarativa e não declarativa. Em 1960, Neal Cohen e Larry Squire trouxeram resultados a partir da realização de experimentos em pacientes com amnésia, sugerindo uma distinção fundamental no modo como processamos e armazenamos informação sobre determinada palavra. Quanto à distinção entre memória declarativa e memória não declarativa, Milner, Squire e Kandel (1998), explicam que a memória declarativa é o que se entende normalmente por memória, depende da integridade do lobo temporal medial e oferece a capacidade de lembranças conscientes sobre fatos e eventos sendo, portanto, proposicional, podendo ser verdadeira ou falsa. Já a memória não declarativa é a forma inconsciente de memória, não sendo verdadeira, nem falsa. Esta memória está relacionada às mudanças de comportamento e na capacidade de responder, apropriadamente, a estímulos por meio da prática, como resultado de condicionamento ou aprendizado de hábitos. Nela, o desempenho muda sem fornecer acesso consciente a quaisquer episódios anteriores.

Estudos comportamentais proveram um compilado de evidências que o sistema humano de memória declarativa é criticamente dependente da região do lobo temporal medial. No entanto, ainda há muito a aprender a respeito da interação entre as estruturas específicas do cérebro e demais áreas relacionadas aos processos de memória.

Outro assunto destacado no trabalho dos autores, se refere a abordagem da **biologia molecular do armazenamento de memória**. Assim, eles questionam: Como podemos pensar sobre os mecanismos celular e molecular do armazenamento de memória? De maneira a responder essa questão, no final do século XIX, biólogos perceberam que as células nervosas maduras perdem sua capacidade de divisão. É o

que pôde ser evidenciado na pesquisa de Santiago Ramón e Cajal¹ que propuseram que o aprendizado resulta do crescimento, ramificação e fortalecimento de ramificações das células nervosas existentes e não da proliferação de novas células.

Dentre as questões a serem investigadas, encontra-se: a memória envolve mudanças persistentes na força sináptica? Se sim, quais são as sustentações moleculares para tais mudanças? Outra questão que decorre da primeira é: como as mudanças sinápticas de curto prazo diferem das mudanças de longo prazo? Elas ocorrem em locais diferentes, ou pode o mesmo neurônio armazenar a informação para ambas – memória de curto prazo e memória de longo prazo? É possível afirmar que as memórias declarativas e o conjunto de memórias não-declarativas usam diferentes mecanismos moleculares de armazenamento ou mecanismos similares?

Com o intuito de responder, ao menos em parte, as questões levantadas, muitos pesquisadores passaram a investigar a base celular e molecular das mudanças sinápticas responsáveis pelo armazenamento de memória. Resultados de investigações apontaram que o armazenamento da memória não declarativa não depende dos neurônios de memória especializados ou sistemas de neurônios de função única de armazenamento e não de processamento. Os estudos revelaram que o armazenamento da memória não declarativa é diferente da memória declarativa (memória não consciente e memória consciente), sendo o lobo temporal medial atuante na lembrança de acontecimentos passados em ambas as memórias. Outra conclusão a ser destacada se refere aos princípios relacionados à plasticidade sináptica dos neurônios do hipocampo no armazenamento da memória e aprendizagem.

2.2 OS MODELOS DE MEMÓRIA DE ATKINSON E SHIFFRIN (1968) E BADDELEY E HITCH (1974)

Nosso referencial teórico é fundamentado nos modelos de memória elaborados por Atkinson e Shiffrin (1968) e Baddeley e Hitch (1974). Em busca de pesquisas que retratem ambos os modelos, nos deparamos

¹ Santiago Felipe Ramón e Cajal é conhecido mundialmente por suas enormes contribuições no campo da Neurociência, sobretudo nos múltiplos aspectos relacionados ao tecido nervoso e, especificamente, aos neurônios. É considerado o pai da “doutrina neuronal”. Sua biografia é detalhada em Santiago Ramón e Cajal, neurocientífico e pintor, disponível em: <http://www.scielo.org.co/pdf/anco/v31n4/v31n4a15.pdf>.

primeiramente com o trabalho de Malmberg, Raajmakers e Shiffrin (2019) que homenageia os 50 anos do artigo de Atkinson e Shiffrin (1968) intitulado Memória Humana: um sistema proposto e seus processos de controle². Neste mesmo trabalho os autores discutem cuidadosamente o papel dos processos de controle em todos os sistemas de memória para armazenamento e recuperação da memória de curto e longo prazo. Segundo Malmberg, Raajmakers e Shiffrin (2019), uma revisão desses modelos corresponde ao estado da arte que leva os atuais pesquisadores a realizarem novos testes e verificar os processos fundamentais do ensaio, armazenamento e recuperação da memória. Dessa maneira, buscamos no trabalho original de Atkinson e Shiffrin (1968) encontrar 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. Outro trabalho que norteou nossa pesquisa foi o de Baddeley e Hitch (1974). Nesta pesquisa objetiva-se relacionar ambos os pressupostos teóricos em busca de respostas comuns ou divergentes que possam responder às questões de pesquisa: 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 qual é o papel da atenção, repetição, recuperação, ensaio e esquecimento na constituição da memória de curto e longo prazo?

Em um primeiro momento, é apresentado um panorama geral dos principais conceitos tratados por Atkinson e Shiffrin (1968) e por Baddeley e Hitch (1974). Em seguida, são apresentados os modelos matemáticos usados para relacionar os parâmetros (atenção, ensaio, repetição, recuperação e esquecimento) na análise da memória de curto e longo prazo.

2.2.1 A Pesquisa de Atkinson e Shiffrin (1968)

O trabalho de Atkinson e Shiffrin (1968) é dividido em duas partes, sendo a primeira dedicada a ferramenta relacionada a memória humana e a segunda dedicada a descrever os resultados de experimentos desenhados

²Tradução de *Human Memory: a proposed system and its control processes*.

para testar modelos específicos que podem ser derivados dos estudos iniciais. Nesta pesquisa, nos dedicamos a expor os principais conceitos relacionados a primeira parte do trabalho dos autores supracitados.

O referencial teórico categoriza o sistema de memória em duas dimensões principais que são as características permanentes e estruturais do sistema e os processos de controle que podem ser modificados ou reprogramados pelo indivíduo. As características permanentes e estruturais do sistema também são chamadas de estruturas de memória que inclui não só o sistema físico como também os processos construídos que são invariáveis e fixos mesmo em diferentes situações. Já os processos de controle são selecionados e construídos pelo indivíduo e podem variar de uma tarefa para outra, embora em determinadas situações muitas tarefas pareçam semelhantes. Dessa maneira, os processos de controle dependem da natureza das instruções, o significado da informação, além da história individual do sujeito. Nesse sentido, é possível considerar que as principais diferenças entre a estrutura de memória e os processos de controle estão no fato de que a primeira não pode ser modificada pelo indivíduo e são análogas às características estruturais, incluindo os armazenamentos básicos de memória. Já os processos de controle permitem que uma entrada de estímulo seja processada conforme as características individuais em busca de procedimentos de codificação, de operações de ensaio e de atuais ou novas estratégias de resposta a determinado problema.

Os autores apontam que os processos de controle dividem a memória em três componentes estruturais, sendo eles: o registro sensorial, o armazenamento de curto prazo e o armazenamento de longo prazo. Conforme explicam, o registro sensorial armazena em muito breve intervalo de tempo os registros sensoriais que logo serão perdidos. Já o armazenamento de curto prazo é a memória de trabalho construída a partir de informações tanto dos registros sensoriais como do armazenamento de longo prazo. No entanto, as informações de curto prazo decaem rapidamente e são perdidas em um intervalo de 30 segundos. Os autores explicam que parte dessa memória pode ser armazenada por um processo de controle chamado de ensaio que está diretamente relacionado ao interesse e desejo do indivíduo. E, por fim, existem as informações armazenadas na memória de longo prazo que

são construídas a partir da transferência do armazenamento de curto prazo. Uma importante observação apontada pelos autores se refere ao termo **transferência**. Conforme destacam, o termo transferência não significa que as informações sejam deslocadas e assim perdidas do local original de armazenamento, mas sim copiadas, de um lugar para outro.

Para a apresentação da fundamentação teórica dos autores, eles consideram, em um primeiro momento, as características estruturais do sistema e, em seguida, os processos de controle usados, e organizam as discussões ou ambos os momentos em torno do registro sensorial, depois dos armazenamentos de curto e longo prazo que possibilitam a análise de uma ampla variedade de fenômenos da memória.

A seguir, descreveremos sobre as características estruturais do sistema de memória na perspectiva de Atkinson e Shiffrin (1968).

2.2.1.1 Características estruturais do sistema de memória

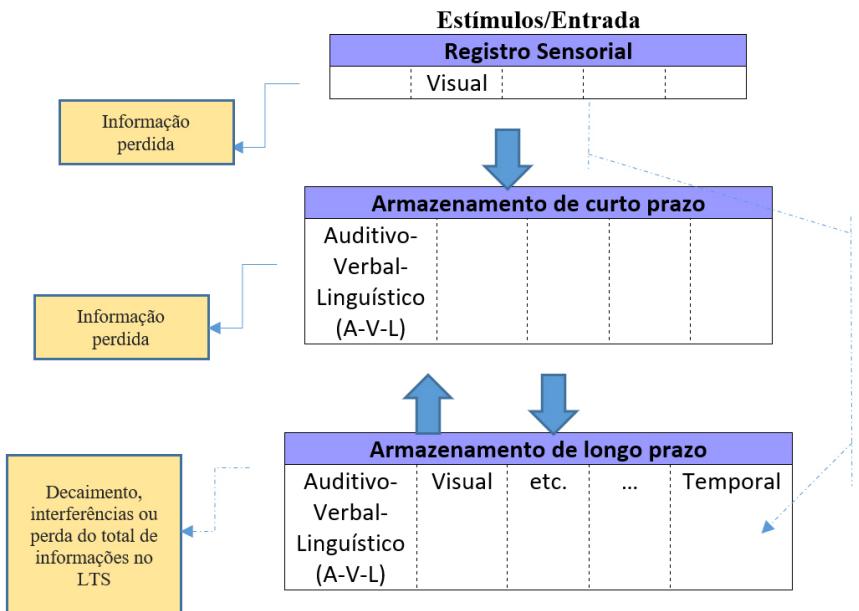
Segundo Atkinson e Shiffrin (1968), a estrutura do sistema de memória é dividida em três componentes básicos, a saber: registro sensorio, armazenamento de curto prazo e armazenamento de longo prazo. Tudo se inicia quando um estímulo é apresentado e registrado dentro das dimensões sensoriais apropriadas, sendo que um dos principais estímulos é o registro visual. Embora existam estímulos associados a outros sentidos ainda não está claro se esses estímulos têm um período de decadência apreciável ou quais são os recursos que nos permitem nos referir a eles como componentes de memória.

Outro componente básico que constitui o sistema de memória é o armazenamento de curto prazo também denominado de memória de trabalho. As informações presentes na memória de curto prazo decaem e desaparecem completamente. No entanto, o tempo necessário para que a informação seja completamente perdida é consideravelmente mais longo do que o tempo de decadência da informação necessário no registro sensorial. Além disso, a informação de curto prazo não depende, necessariamente, da forma de entrada sensorial. Como exemplo, os autores citam que uma palavra apresentada visualmente pode ser codificada a partir de um registro sensorial visual que é armazenado por um curto período. Já o sistema auditivo desempenha um importante papel dentro

dos registros sensoriais, sendo bastante difícil separar as três funções, auditiva-verbal-lingüística (a-v-l). Estudos apontam que a informação representada por essas três funções decaí e é perdida em um período de 15 a 30 segundos, sendo bastante complicado medir as características estruturais desse processo de decadência e perdas de informações. Já a taxa de decaimento de informações no armazenamento de curto prazo é bastante difícil de estimar pois está diretamente influenciada por processos que podem ser controlados pelo indivíduo.

O último componente se refere ao armazenamento de longo prazo. O diferencial apontado pelos autores é que as informações não decaem ou se perdem da mesma maneira que no registro sensorial ou no armazenamento de curto prazo, sendo consideradas relativamente permanentes embora possam ser temporariamente irrecuperáveis conforme o resultado de outras informações recebidas.

Figura 1: Estrutura do sistema de memória segundo Atkinson e Shiffrin (1968)



Fonte: Adaptado de Atkinson e Shiffrin (1968)

Um aspecto importante a ser destacado é que o fluxo de informações entre os três componentes é em grande parte controlado pelo indivíduo. A entrada inicial do fluxo de informações do sistema é iniciada com o registro sensorial. A partir daí há uma seleção de informações que serão armazenadas a longo prazo. Os autores ressaltam que os processos de armazenamento de longo prazo ocorrem em todo o período em que a informação reside no armazenamento de curto prazo, embora a quantidade e a forma das informações transferidas sejam marcadamente influenciadas por processos de controle. No entanto, existe a possibilidade de a informação ser diretamente transferida do registro sensorial para o armazenamento de longo prazo. É o que mostra a linha tracejada da Figura 1. Outro aspecto relevante é que há constante transferência do armazenamento de longo prazo para o de curto prazo, principalmente, sob controle individual do sujeito, fato que pode ser percebido na resolução de problemas, teste de hipóteses ou outros pensamentos em geral. Os autores, no entanto, destacam que este breve encapsulamento levanta mais questões do que respostas pois ainda existem muitas dúvidas sobre quais são as características individuais que levam a decadência ou perda em cada armazenamento de memória e como ocorrem as transferências entre os diferentes componentes: sensorial, de curto prazo e de longo prazo.

2.2.1.1.1 Registro sensorial

De maneira a detalhar os componentes estruturais da memória, Atkinson e Shiffrin (1968) destacam alguns experimentos realizados que buscam evidenciar o papel do registro sensorial no armazenamento de memória. Os autores apontam que o principal exemplo de registro sensorial é o de imagem visual, investigação realizada por Sperling (1960, 1963), Averbach e Coriell (1961), Estes e Taylor (1964, 1966) e outros. O experimento citado apresenta uma matriz de letras, em que o sujeito é instigado a escrever o maior número possível delas. Em média, dentre o conjunto de letras apresentado, o indivíduo escreve seis delas, com uma defasagem de 30 segundos entre a apresentação das mesmas e o relatório, fato que não causa um decréscimo no desempenho. É notável que os sujeitos ensaiam e vocalizam as letras, indicando que as confusões estão baseadas mais na audição do que nas semelhanças

visuais, indicando que há forte influência dos demais registros sensoriais da audição, verbal e linguística de curto prazo. Portanto, os indivíduos escaneiam a imagem visual e transferem um número de informações para a memória de curto prazo e que estão relacionadas aos registros sensórios para entrada e saída. Ainda sobre o experimento, os autores relatam que após a apresentação de uma matriz 3 x 4 formada por letras e números, o indivíduo recebe o sinal para ler uma determinada linha. Se o sinal for dado quase que imediatamente após a compensação do estímulo, as informações são relatadas com boa precisão, porém é notável a perda considerável da imagem visual em curto período. Outro fato relevante destacado pelos autores é que a estimulação visual sucessiva pode, além de modificar, apagar a estimulação anterior. Em resumo, ao usar vários métodos diferentes, os experimentos citados provaram que o período de decaimento da imagem visual pode levar várias centenas de milissegundos, ou um pouco mais, e que a informação visual não pode ser recuperada depois desse período. Assim, considera-se que um estímulo visual deixa um vestígio fotográfico que se decompõe em algumas centenas de milissegundos e está sujeito a mascaramento e substituição por estimulação sucessiva. Atkinson e Shiffrin (1968) afirmam que este é um assunto ainda em estudo e que não há muito a ser dito sobre as demais modalidades de registro sensorial, além da visual.

A respeito da transferência de informações para sistemas de ordem superior, no caso da imagem visual para o armazenamento de curto prazo auditivo, verbal e linguístico parece haver uma varredura seletiva feita pelo indivíduo, além de uma certa correspondência com determinadas informações armazenadas a longo prazo que são recuperadas e alimentam a memória de curto prazo.

2.2.1.1.2 Memória de Curto Prazo

Ao discorrer sobre as características do armazenamento da memória de curto prazo, Atkinson e Shiffrin (1968) citam ser difícil distinguir entre os aspectos auditivo, verbal e linguístico, por isso, consideram os três aspectos conjuntamente em suas discussões. Para se referir ao armazenamento de memória de curto prazo usam a sigla STS (*Short-Term-Store*) e ao armazenamento de memória de longo prazo a sigla LTS (*Long-Term-*

-Store). Acrescentam que esses termos não devem ser confundidos com as siglas de memória de curto prazo (STM) e memória de longo prazo (LTM) comuns na literatura da psicologia para descrever experimentos com durações curtas ou longas ou ensaios únicos. Conforme apontam, tanto o STS quanto o LTS são ativos nos experimentos STM e LTM.

Tendo conhecido os termos anteriores, nos baseamos nestas mesmas siglas para nos referir, no decorrer de toda esta pesquisa, ao armazenamento de curto prazo e armazenamento de longo prazo como STS e LTS.

A respeito da transferência de STS para LTS, os autores relatam que a quantidade e a forma das informações transferidas estão ligadas aos processos de controle. Estudos apontam que a aprendizagem ocorre mesmo que não haja a intenção do sujeito em armazenar a informação a longo prazo (Hebb, 1961 e Melton, 1963). Além disso, os autores destacam que a forma de transferência STS-LTS pode ser probabilística, contínua ou alguma combinação de ambas, contudo ainda não há uma base já consolidada na literatura sobre esse assunto.

2.2.1.1.3 Memória de Longo Prazo

A respeito da memória de longo prazo é possível afirmar que ela existe em cada uma das modalidades sensoriais, fato que pode ser evidenciado na capacidade do indivíduo em reconhecer cheiros ou gostos. No entanto, os autores afirmam que outras informações de longo prazo que não estejam associadas a qualquer modalidade sensorial pode ser armazenadas. Outro termo apresentado pelos autores se refere a **interferência** que é usado para se referir a uma característica estrutural do sistema de longo prazo que não está sob controle do indivíduo e que podem surgir de diferentes maneiras. Conforme explicam, as informações podem ser destruídas, substituídas ou diminuir de valor devido as informações subsequentes apresentadas em um intervalo de tempo. As informações nunca serão destruídas, no entanto, podem se tornar irrecuperáveis, temporariamente ou permanentemente.

2.2.1.2 Processos de controle no registro sensorial, no armazenamento de curto prazo e no armazenamento de longo prazo

A função primária dos processos de controle no registro sensório é a seleção de partes específicas de informações que serão transferidas para o armazenamento de curto prazo. Assim, em experimentos com várias entradas simultâneas e com vários canais sensoriais, o indivíduo poderá relatar prontamente informações a respeito de uma certa modalidade de sentido antes que haja perda ou decaimento das informações. Dentre os processos principais de controle está a **atenção**³ que se relaciona a transferência de uma parte das informações dentro da modalidade sensorial para o STS.

Quanto aos processos de controle em armazenamento de curto prazo, os autores apontam que uma vez que as informações no STS decaem rapidamente é necessário haver uma busca de uma determinada informação em particular de maneira rápida e eficiente. Assim, eles consideram que um método indireto é examinar o processo de busca que consiste em comparar os resultados de experimentos no reconhecimento e recordação em que o STS desempenha o papel principal. No entanto, um dos problemas apontados neste método é que o processo de busca de informações no STS só é eficaz caso a recuperação seja realizada ainda no período de ensaio. Essa recuperação depende de uma série de fatores que podem, ou não, estar sob controle do indivíduo ou outros fatores que estejam relacionados às características de decaimento ou perda no STS. Caso o decaimento seja parcial, então é possível considerar que o rastreamento contém apenas parte de toda a informação a ser usada para gerar uma resposta válida. Portanto, é bastante provável que o indivíduo busque no LTS as informações que irão completar essa resposta. Conforme os autores explicam, embora as informações decaiam de maneira parcial, a capacidade de **ensaio** pode manter um conjunto selecionado de itens em um estado de disponibilidade imediata de **recuperação** da informação. Nesse sentido, o ensaio é um dos fatores mais importantes em experimentos que consideram a memória humana.

³ Deixamos em negrito para destacar o papel dos processos de controle: atenção, ensaio, repetição e recuperação como coeficientes das equações diferenciais a serem trabalhadas nesta pesquisa.

Exemplos como lembrar o número de telefone ou a pontuação do tênis de mesa servem para ilustrar o objetivo principal do ensaio. Quando queremos lembrar permanentemente de um número de telefone, muitas vezes, ensaiamos ele várias vezes, aumentando a força acumulada das informações no LTS, a partir do aumento do tempo de permanência no STS, da codificação e da operação de outros processos. Além do processo de **repetição** no prolongamento da duração da informação no STS, qualquer tipo de operação (como a codificação) em uma série de informações pode ser vista como uma forma de ensaio. No entanto, não podemos afirmar que todo o conjunto de informações disponíveis no STS, imediatamente após a apresentação, será regenerada e mantida a cada ensaio, pois somente uma pequena proporção do conjunto inicial de informações selecionadas pelo indivíduo será mantida.

Outro aspecto importante a ser tratado é a respeito dos processos de codificação e transferência entre STS e LTS. Os autores apontam que há uma estrita relação entre o armazenamento de curto e longo prazo, sendo que as informações que entram no STS vêm diretamente do LTS e apenas indiretamente do registro sensorial. Como exemplo, é possível citar o caso de uma palavra apresentada visualmente que não pode ser inserida no STS como unidade auditiva-verbal até que uma correspondência ou pesquisa no LTS traga um reconhecimento ou uma identificação de representação verbal da imagem visual. Em caso de palavra familiares, a busca pode ser realizada no LTS rapidamente, porém no caso de estímulos desconhecidos é necessária uma busca mais aprofundada para trazer uma representação verbal adequada ao STS. Além disso, qualquer informação no STS é transferida para o LTS em algum grau, sendo essa transferência considerada um recurso permanente de memória. Os autores acrescentam que na transferência há grande variação na quantidade e forma de informações transferidas que podem ser induzidas por processos de controle. Dessa maneira, consideram que o processo de codificação é uma alteração selecionada e/ou a adição de informações no armazenamento de curto-prazo como resultado de uma pesquisa no armazenamento de longo prazo que é realizada por meio de associações preexistentes armazenadas na memória de longo prazo.

Portanto, os experimentos passam a ser classificados de acordo com as operações de controle que o indivíduo usará. Como exemplo é

possível citar que problemas que envolvam a formação de conceito que requer uma solução clara levará o sujeito à seleção de estratégias e testes de hipóteses. Já quando a tarefa envolve muitos itens codificados, mas não requer a solução de problemas, o indivíduo gastará seus esforços na codificação de operações de longo prazo. Finalmente, experimentos em que a memória é necessária, mas a memória de longo prazo não se mostra eficaz, levará o indivíduo a adotar estratégias que mantém as informações somente no intervalo de tempo necessário para a realização da tarefa.

Dessa maneira, os processos de controle no armazenamento de longo prazo são divididos em duas categorias, em que a primeira se relaciona a transferência entre o armazenamento de curto prazo e o armazenamento de longo prazo e a segunda se relaciona a busca e recuperação de informações no LTS, em que ambas são influenciadas pelos interesses individuais.

Outro referencial teórico que norteou este trabalho é Baddeley e Shiffrin (1974). A seguir, é apresentado este referencial teórico que também norteou a construção deste trabalho.

2.2.2 A Pesquisa de Baddeley e Hitch (1974)

O termo memória de trabalho ou memória operacional se refere ao armazenamento temporário da informação em conexão com outras tarefas cognitivas como leitura, resolução de problemas ou aprendizagem. Diferentemente da teoria apresentada em Atkinson e Shiffrin (1968), a memória de trabalho deixa de ser um armazenador temporário para ser um processador ativo que manipula um conjunto de informações por um período.

No decorrer dos anos, este modelo de memória sofreu alterações. O modelo inicial era composto por três componentes: o executivo central, atuante como controlador da atenção e outros dois subsistemas responsáveis pelo processamento e manipulação da quantidade de informações específicas, além da alça fonológica e o esboço visuoespacial.

Em 2000, Baddeley aprimorou este modelo, acrescentando um quarto componente, o retentor episódico. Segundo o autor, este componente é responsável pela integração das informações que estão temporariamente na memória de trabalho com as que estão na memória de longo prazo.

Juntos, os quatro componentes, estão envolvidos em atividades cognitivas relacionadas à aprendizagem, leitura, linguagem, aritmética, resolução de problemas ou a própria consciência.

A seguir, detalharemos o modelo de memória atual, formado por quatro componentes, sendo o primeiro, o executivo central. Dentre suas funções, temos: (i) atenção seletiva; consiste na habilidade de focar a atenção em informações relevantes e desconsiderar as distratoras; (ii) flexibilidade mental: consiste na capacidade de coordenar várias atividades cognitivas ao mesmo tempo; (iii) seleção e execução de planos e estratégias; (iv) capacidade de alocar recursos em outras partes da memória.

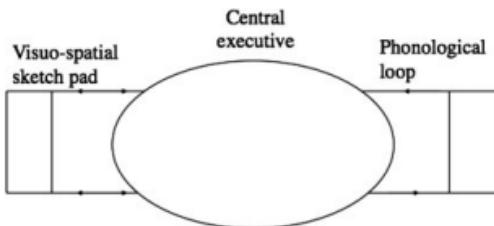
Além do componente executivo central, também há o que os autores denominam de alça fonológica. Este componente é responsável em armazenar e processar as informações codificadas verbalmente e que são originais de vias auditivas ou visuais. A alça fonológica é formada por dois subsistemas: o armazenamento fonológico ou memória fonológica de curto prazo que armazena as informações verbais, escritas ou faladas, e um mecanismo de reverberação responsável em resgatar informações verbais em declínio, mantendo-as na memória de trabalho. Conforme os autores explicam, a alça fonológica permite identificar as propriedades acústica, temporal e sequencial do estímulo verbal formando códigos fonológicos que serão, posteriormente combinados com outros códigos armazenados na memória de longo prazo formando fonemas e palavras.

O componente esboço-visual corresponde ao terceiro deles. Ele é responsável pelo processamento e manutenção de informações visuais e espaciais, sendo imprescindível para a formação e manipulação de imagens mentais (Baddeley, 2012). É formado por um armazenador temporário que permite reconhecer as características físicas dos objetos e por um componente da memória de trabalho formado por um mecanismo espacial que permite que o indivíduo se localize e planeje movimentos.

E por último, o quarto componente denominado de retentor episódico foi adicionado por Baddeley (2012) com o intuito de prover uma interface entre a memória de trabalho e a memória de longo prazo. Para Baddeley (2012), o componente retentor episódico é um componente de armazenamento temporário, de capacidade limitada que dialoga de maneira integrada com a memória de longo prazo episódica. Dessa maneira, o retentor episódico permite que uma grande quantidade de

informação seja gerenciada, ultrapassando a capacidade de armazenamento fonológico e visuoespacial e não dependa do componente executivo central (Baddeley, 2012).

Figura 2: Representação simplificada do modelo de memória de trabalho de Baddeley e Hitch(1974)



Fonte: Baddeley (2012, p. 6)

O trabalho original de Baddeley e Hitch (1974) inicia-se com uma discussão a respeito do real papel da memória de curto prazo (STM) no processamento de informações humanas. Relatam que dentre diversas pesquisas que tratam do tema (ATKINSON e SHIFFRIN, 1968; HUNTER, 1964; RUMELHART, LINDSAY e NORMAN, 1972 e WAUGH e NORMAN, 1965) a de Atkinson e Shiffrin (1968) parece ser a mais convincente por tratar sobre a importância central do STS no processamento de informação pois o atribuem como o sistema executivo controlador responsável por coordenar e monitorar as inúmeras e complexas sub-rotinas responsáveis tanto pela aquisição de novas informações quanto na recuperação de antigas. No entanto, a evidência empírica ao considerar o STS o papel da memória operacional ou de trabalho, ainda não está muito bem consolidada. Como ponto comum entre as pesquisas, os autores evidenciam que o papel do indivíduo é fator preponderante no processo de aprendizagem, na recuperação e retificação das informações necessárias para o cumprimento de determinada tarefa.

Em determinados experimentos realizados pelos autores, existem duas questões comuns com as demais pesquisas, que são: há alguma evidência de que as tarefas de raciocínio, compreensão e aprendizagem compartilham um sistema de memória de trabalho comum? E a segunda: se tal sistema existe, como ele se correlaciona com a concepção atual de STM?

Nesse sentido, não é objetivo dos autores apresentar uma nova visão a respeito do STM, mas sim apresentar um corpo de novas evidências experimentais que assegurem a base já existente sobre a memória de trabalho. Os autores relatam que há lacunas entre os trabalhos existentes e que novas pesquisas devem ser realizadas de maneira a impactar, em maior ou menor grau, a posição teórica e ainda provisória dos autores.

Os experimentos relatados pelos autores descrevem o papel da linguagem e aprendizagem, sendo que o objetivo em aplicar técnicas comparáveis nos diversos experimentos possibilitam encontrar um padrão comum entre eles. Mas uma questão fundamental que ainda persiste em sua pesquisa é: O que se entende por STS? A grande dúvida reflete o pouco consenso entre as pesquisas já realizadas que, no entanto, apontam para uma característica comum: a sua capacidade limitada.

Em Baddeley (2012), o termo memória de trabalho se refere ao sistema do cérebro que provê armazenamento temporário e manipulação de informação necessária para a realização de tarefas cognitivas complexas como a compreensão da linguagem, leitura e aprendizagem. Segundo ele, por muitos anos, houve acúmulo de dúvidas sobre a dicotomia entre a memória de curto prazo e a memória de longo prazo em grande parte por falta de evidências neuropsicológicas que apoiassem os experimentos.

Neste mesmo trabalho, o autor expõe que o conceito antigo de memória de trabalho vem sendo, gradativamente, substituído por um sistema capaz de armazenar e manipular informações e onde são elaboradas tarefas que combinam processamento e armazenamento de informações relacionadas a habilidades cognitivas como leitura, compreensão e raciocínio. Dessa maneira, a nova visão sobre a memória de trabalho torna, em parte, obsoleta o modelo de Atkinson e Shiffrin (1968) quanto ao pressuposto de que a memória de trabalho de curto prazo é um reservatório passivo de informações que seriam transferidas para a memória de longo prazo ou recuperadas dela. Essa visão provê um aspecto dinâmico e transformacional da memória de trabalho nos modelos atuais.

Mascarello (2018) complementa os conceitos expostos em Baddeley e Hitch (1974) a respeito do papel da memória de trabalho na aprendizagem. Segundo ele, a memória de trabalho desempenha um

papel crucial tanto no apoio à aprendizagem quanto na manutenção de comportamento específico em situações concretas. Além disso, o autor descreve que indivíduos com baixos índices de memória de trabalho apresentam comprometimentos nas atividades cotidianas como, por exemplo, no progresso acadêmico, sobretudo em leitura e matemática.

No entanto, Mascarello (2018) defende que os índices da memória de curto prazo podem ser impulsionados por um período intenso de atividades práticas e específicas. Ele nos explica que a memória de trabalho nos mantém focados no que desejamos realizar, bloqueando distrações e mantendo-nos conscientes e atualizados ao mesmo tempo.

Segundo o autor, na idade pré-escolar, a memória de trabalho é fundamental para a criança aprender o alfabeto, nos anos iniciais do ensino fundamental a memória de trabalho se faz necessária para que a criança leia e compreenda o conteúdo, entenda aritmética, interaja em atividades em grupo e consiga seguir regras de jogos. Nos anos finais do ensino fundamental, a memória de trabalho é importante para que o jovem se torne independente nas tarefas, planeje suas atividades, participe de esportes e resolva problemas matemáticos mais complexos. Já no ensino médio, a memória de trabalho é fundamental para que o jovem seja capaz de seguir regras e compreenda os sinais sociais e no ensino superior ela é percebida quando o jovem adulto é capaz de manter o foco em uma conversa ou discussão.

2.3 MODELOS DE MEMORIZAÇÃO E ESQUECIMENTO

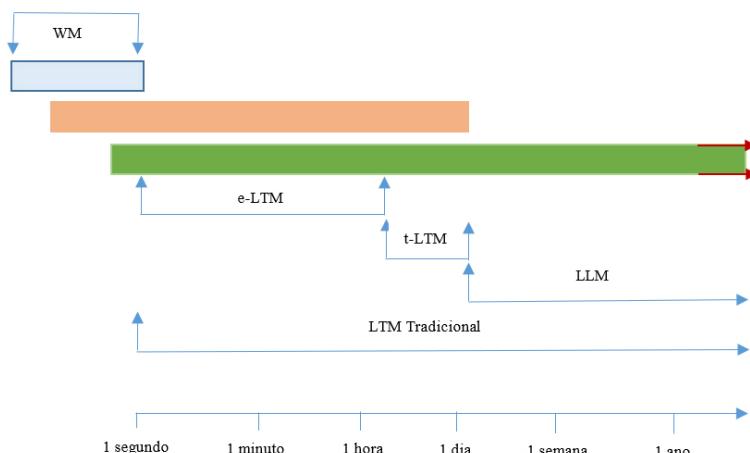
Outra pesquisa que norteou a análise dos resultados investigados foi a de Radvansky *et al.* (2022). Estes autores apresentam outro modelo de memória expresso por uma função de potência que é dividido por fases paralelas associadas à memória neurológica do indivíduo.

Os autores iniciam a discussão do seu trabalho apresentando a curva de esquecimento que é uma das descobertas mais conhecidas e estabelecidas na pesquisa de memória. Conforme os autores explicam, conhecer padrões de mudança de memória ao longo do tempo podem fornecer informações sobre os mecanismos cognitivos subjacentes e, para tanto, são estabelecidos modelos matemáticos que auxiliam na análise desses mecanismos.

Inicialmente, definiu-se uma função de potência para expressar o padrão de comportamento pois era entendido que o esquecimento segue uma função de aceleração negativa contínua. No entanto, Radvansky *et al.* (2022), com base em pesquisas bibliográficas, relataram que diferentes padrões de esquecimento variam em diferentes períodos. Dentre suas descobertas, eles destacaram que há evidências de que complexas memórias, como aquelas derivadas da cognição de eventos, têm padrões diferentes, como o esquecimento linear, levando a conclusão de que o esquecimento não pode ser explicado por uma única função contínua.

Radvansky *et al.* (2022) propõem que o progresso da memória é dividido em fases paralelas às mudanças associadas à consolidação da memória neurológica, sendo essas fases divididas em: (a) memória de trabalho (WM)⁴ que ocorre no primeiro minuto de retenção; (b) memória de longo prazo inicial (e-LTM): esta memória ocorre durante as 12 horas após a codificação; (c) período de memória transitória de longo prazo (t-LTM): esta memória ocorre durante a semana seguinte; (d) memória de longa duração (LLM): permanece por semanas, meses ou anos.

Figura 3: O progresso hipotético da retenção de memória a partir das quatro fases



Fonte: Adaptado de Radvansky (2022, p.14)

⁴ Memória de trabalho - Tradução de Working Memory (WM); Memória de longo prazo inicial (e-LTM) - Tradução de Early-Long Term Memory; Memória Transitória de Longa Duração – Tradução de Transitory-Long Term Memory (t-LTM); Memória de Longa Duração – tradução de Long Term Memory (LTM). Outra abreviatura apresentada é LLM que se refere a memória de longa duração que, em geral, ocorre após 7 dias.

Radvansky *et al.* (2022) explicam que a primeira fase corresponde à memória de trabalho (WM) que tem, em média, a duração de 60 segundos de retenção. A segunda fase, denominada de primeira memória de longo prazo (e-LTM) tem duração de 60 segundos a 12 horas. Esta fase envolve processos hipocampais (representado em rosa) e processos corticais (representado em verde) que começam a se envolver durante todo o processo de retenção de memória. Em seguida, vem a memória de longo prazo transicional (t-LTM) que tem a duração de 12 horas a 7 dias. Nesta fase, o papel do hipocampo diminui e o do córtex passa a ser o primordial na retenção da memória. Após 7 dias, temos a memória de longa duração (LLM) que é conduzida pelos processos corticais.

Conforme apontam os autores, tais descobertas estão relacionadas a retenção e esquecimento da memória, além de manipulações comportamentais ou neurocientíficas que visem estudar a memória por longos períodos quando diferentes processos estão envolvidos.

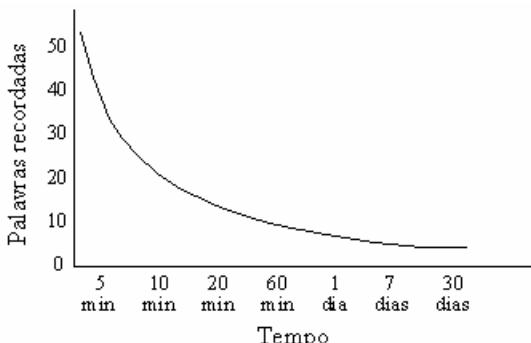
Nesse sentido, os autores acrescentam que a ciência da memória deve ser preditiva, ou seja, é possível prever quanto tempo, em média, vários tipos de memória durarão antes que elas sejam esquecidas. Em decorrência do trabalho de Ebbinghaus (1885)⁵, atualmente, é possível afirmar que a acessibilidade de memória muda ao longo do tempo de maneira sistemática, porém, ainda não é possível prever quantitativamente essas mudanças. No mesmo artigo de Radvansky *et al.* (2022), os autores delineiam novos princípios que devem ser considerados em relação aos padrões de retenção e esquecimento ao longo do tempo, sendo relatada, com base em modelos cognitivos de memória, a importância do fator tempo em que os processos de memória e esquecimento variam.

Assim, a curva de retenção e esquecimento explicada por Ebbinghaus (1885) evidenciou os princípios básicos das mudanças de memória ao longo do tempo. A Figura 4 ilustra a captura do esquecimento que, apesar do nome, evidencia a quantidade de informações armazenadas ao longo do tempo. Nesse sentido, entendem que a melhor denominação é retenção da memória. A curva clássica apresentada por

⁵ Hermann Ebbinghaus (1850-1909) foi um psicólogo alemão, pioneiro no estudo da memória. Sua contribuição mais conhecida é atribuída à curva de esquecimento. Nessa curva ele representa que a maior parte do esquecimento ocorre no primeiro momento, logo após a aprendizagem.

Ebbinghaus (1885) é uma curva expressa por uma função de aceleração negativa que pode ser atribuída por uma função logarítmica, ou alguma outra função curvilínea, enquanto estiver acelerando negativamente.

Figura 4: Curva do esquecimento de Ebbinghaus



Fonte: Perghe e Stein (2003, p.2)

Conforme os autores explicam, a função de aceleração é negativa pois a maior parte dos esquecimentos ocorre logo após a informação ser obtida. No entanto, uma visão mais moderna mostra que os traços de memória individuais podem ser esquecidos em uma escala exponencial e que a média entre esses mesmos traços de memória podem ser ajustados por uma função de potência que melhor representa o padrão de esquecimento. Esta função é expressa pela relação:

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

em que, M: desempenho da memória;

a: constante;

t: tempo;

b: expoente que captura a taxa de esquecimento ao longo do tempo.

Assim, o estudo de Radvansky *et al.* (2022), utiliza uma função de potência para avaliar o padrão de retenção e esquecimento das informações aprendidas.

Dentre os possíveis estudos que merecem futuras investigações, os autores citam: estimar a memória em algum momento futuro, conhecer a taxa de perda para determinada informação na ausência de interven-

ção, estimar quanto um conjunto de informações será lembrado em um período, dado o quanto é lembrado em outro momento, como é lembrado imediatamente depois de aprender. Diferentemente dos estudos de memória de longo prazo que, em sua maioria, são concentrados em intervalos inferiores a uma hora, há evidências que essas memórias persistem ao longo de dias, semanas, meses e anos e que pode haver diferentes tipos de memória operando em diferentes períodos.

No mesmo trabalho, Radvansky *et al.* (2022) apresentam que memórias mais complexas podem exibir padrões bem diferentes dos apresentados pela função de aceleração negativa como, por exemplo, o esquecimento linear. Outra suposição evidenciada é que a consolidação da memória continua para proteger memórias por anos após o aprendizado e quanto mais tempo passa é mais provável que as memórias se tornem mais resistentes ao esquecimento. Esta explicação é atribuída ao gradiente de Ribot⁶ que enfatiza a crescente probabilidade de reter as informações de maneira que ela permaneça após anos ou décadas após aprender. Tal evidência pode ser atribuída em decorrência dos estudos relacionados a amnésia retrógrada em que memórias recentes são mais afetadas do que as memórias mais antigas.

Radvansky *et al.* (2022) acrescentam algumas importantes definições relacionadas ao estudo da memória, que são:

- a. **retenção:** se refere à manutenção de memória ao longo do tempo de maneira utilizável;
- b. **esquecimento:** se refere a perda da capacidade de usar informações em uma determinada tarefa de memória, ou seja, é a incapacidade de acessar informações na memória, não necessariamente uma ausência de disponibilidade de memória;
- c. **consolidação:** este termo pode ser usado no sentido de consolidação de um traço de memória. Em um nível neurobiológico, a consolidação da codificação é suportada pela plasticidade sináptica no hipocampo e, em menor grau, em áreas corticais, de maneira que há um fortalecimento nas conexões entre

⁶ O gradiente de Ribot foi criado por Théodule-Armand Ribot (1839-1916) que foi um filósofo e psicólogo francês conhecido como o fundador da psicologia científica na França. Ele deu seu nome à Lei de Ribot sobre amnésia retrógrada. Dentre suas principais obras, temos: As doenças da memória (1881), As doenças da vontade (1883) e as doenças da personalidade (1885).

as células que forem recentemente ativadas. No entanto, as investigações sobre a consolidação de memória da codificação ainda são controversas.

A respeito da importância da retenção da informação ao longo do tempo, os autores afirmam que é possível ajustar uma função de potência aos dados de maneira a prever qual é a memória em um tempo futuro, a partir do momento final de coleta de dados. Nesse aspecto, em decorrência do trabalho de Ebbinghaus (1885), os autores concluem que a lição mais importante obtida é que a memória muda com o tempo.

Outra conclusão a ser estabelecida é que diferentemente do padrão anterior de retenção e esquecimento é que esses padrões não são estáveis, contínuos e sempre negativamente acelerados.

Radvansky *et al.* (2022) afirmam que diferentemente dos estudos de Ebbinghaus (1885), há mudanças nos processos neurobiológicos subjacentes relacionados à retenção. Também afirmam que há fases para a retenção das informações e que modelos de esquecimento devem levar em consideração tais mudanças para fornecer uma previsão mais detalhada do desempenho futuro da memória.

Outro resultado apresenta que as memórias de longo prazo passam por um processo de consolidação, sendo provado que pessoas com amnésia tiveram as memórias de curto prazo mais afetada do que as de longo prazo. Esse fato consolida a ideia de que, quando as memórias voltam, as memórias mais antigas são as que voltam primeiro, seguidas pelas memórias recentes. Assim, entende-se que quanto mais memórias se consolidarem, mais resistentes elas se tornarão e estarão menos propensas de serem perdidas por forças que agem sobre as memórias não consolidadas. Portanto, a previsão é que a taxa de esquecimento deve desacelerar com o passar do tempo e as memórias mais antigas parecem se tornar mais resistentes depois de semanas, meses ou anos, mesmo havendo perda de informação ao longo do tempo.

Além disso, Radvansky *et al.* (2022) afirmam que as memórias que as pessoas tendem a reter por longos períodos também são aquelas com maiores índices de ensaios, sejam eles explícitos ou implícitos.

Também concluíram que o desempenho da memória não é capturado por uma única função e que existem diferentes fases de retenção

de memória e de esquecimento, cada uma delas com características específicas. Nesse sentido, Radvansky *et al.* (2022) se apoiaram em teorias neurocientíficas e dados comportamentais que sustentassem suas análises.

A seguir, apresentamos o modelo matemático investigado nesta pesquisa.

2.4 O PAPEL DO MODELO MATEMÁTICO

Segundo Bassanezi (2014), a obtenção de um modelo matemático pressupõe a existência de um dicionário que interpreta os símbolos e operações de uma teoria matemática em termos de linguagem em relação a determinado problema e vice-versa.

Nesse sentido, o modelo matemático passa a ser tratado por suas teorias e técnicas próprias de maneira a obter os resultados dos estudos na linguagem original daquilo que origina o problema. O autor acrescenta que este processo de intermediação entre o problema original de pesquisa e o modelo matemático que o representa constitui em atividade típica da matemática aplicada que exigirá uma avaliação crítica tanto do problema original quanto de seu correspondente modelo matemático. Dessa maneira, Bassanezi (2014) considera que a comprovação da validade, ou não, do modelo matemático constitui na atividade mais importante quando se trabalha com modelagem.

Ele explica que a modelagem é o processo de criação de modelos em que são definidas as estratégias de ação do indivíduo sobre a realidade, ampliando sua forma de pensar e agir. Nesse sentido, o autor apresenta que a modelagem matemática é simplesmente uma estratégia utilizada para obter uma explicação ou entendimento de determinadas situações reais. Para tanto, devem ser selecionados os argumentos essenciais cujas relações serão evidenciadas a partir dos modelos matemáticos.

Além disso, o mesmo autor destaca que o primeiro passo na formulação do modelo é encontrar os dados experimentais e/ou inferências que tenham sido relatadas por especialistas no tema investigado. Para tanto, deve-se buscar o modelo matemático que expresse efetivamente a relação entre as variáveis, sendo que, muitas vezes, esses modelos são dados pela solução de sistemas variacionais que buscam investigar as variáveis envolvidas no fenômeno a ser pesquisado.

Outra etapa apresentada no processo de modelagem está relacionada à validação do modelo que será aceito ou rejeitado. Tal análise está condicionada a vários fatores e dentre um deles está o confronto dos dados reais com os valores do modelo. Segundo Bassanezi (2014), um modelo ideal é aquele que não só explica os resultados como também é capaz de prever novos resultados ou situações que não condizem com o esperado.

Segundo Boyce e DiPrima (2013) para a construção de um modelo matemático satisfatório é útil listar alguns passos que constituem parte do processo:

1. Identificar a variável independente e a variável dependente, atribuindo letras para representá-las.
2. Escolher as unidades de medida para cada variável.
3. Usar o princípio básico subjacente ou a lei que rege o problema a ser investigado. Essa etapa exige familiaridade com o campo de aplicação ao qual o problema se originou.
4. Expressar o princípio ou a lei em função das variáveis escolhidas. Para tanto, devem ser conhecidas as constantes físicas ou parâmetros, além de determinar os valores apropriados para eles. Esse processo pode envolver o uso de variáveis auxiliares, ou intermediárias, que estarão relacionadas com as variáveis primárias.
5. Todas as equações devem estar na mesma medida física de maneira a garantir a consistência do ponto de vista dimensional.
6. O resultado da lei que expressa a relação entre as variáveis é uma única equação diferencial que constitui o modelo matemático desejado. Em caso de problemas mais complexos, o modelo matemático poderá ser representado por um sistema com várias equações diferenciais.

Nesse sentido, deve-se conhecer o modelo para que se entenda melhor o problema e possam ser identificadas quais características dos fenômenos deverão ser consideradas ou descartadas. Em muitos casos, o modelo precisa ser reformulado a partir de modificações nas variáveis ou nas leis de formação previamente estabelecidas.

Para Monteiro (2011), a adequação de um modelo depende de sua finalidade e da precisão com que se pretende trabalhar.

Ele explica que um sistema pode ser de tempo contínuo ou de tempo discreto. Um sistema é de tempo contínuo se o tempo t é um número real e, em geral, assume que t é um número real não negativo. Já num modelo de tempo contínuo, a variável x pode variar em determinado intervalo de tempo tão pequeno quanto se queira, ou seja, infinitesimal. No entanto, o fato de o tempo t variar continuamente não significa que a função $f(t)$ é uma função contínua. Em geral, a tarefa de encontrar soluções analíticas não é fácil, porém encontrar soluções numéricas é uma tarefa mais fácil quando se pode usar um computador. A evolução de um sistema de tempo contínuo é governada por uma ou mais equações diferenciais.

Já num sistema à variável temporal de tempo discreto, o tempo t é um número inteiro, sendo esse modelo usado quando se deseja esperar um intervalo de tempo finito para que a variável x possa variar. Monteiro (2011) ainda explica que o fato de t variar discretamente não implica que $x(t)$ seja quantificado, isto é, que $x(t)$ só possa assumir determinados valores.

Os parâmetros de um modelo são quantidades que influenciam no comportamento do sistema, podendo ser parâmetros fixos ou variáveis no tempo.

No modelo a parâmetros fixos, os coeficientes $a_i(t)$ são constantes e o tempo aparece explicitamente na função de entrada $F(t)$. São exemplos de equações diferenciais a parâmetros fixos:

$$\begin{aligned}\frac{dx(t)}{dt}(t) - 4x &= 0 \\ \frac{d^5x(t)}{dt^5} + \left(\frac{dx(t)}{dt}\right)^2 - (x(t))^3 &= 0\end{aligned}$$

Em sistemas físicos reais não existem parâmetros constantes, mas sim, parâmetros variáveis com uma ou mais coeficientes $a_i(t)$ que são funções explícitas do tempo t . É exemplo de equação diferencial a parâmetros variáveis:

$$\frac{d^3x(t)}{dt^3} + \operatorname{tgh}(\pi t)x(t) - 5t^2 = 0$$

Com base nos conceitos anteriormente expostos, apresentaremos o modelo matemático que norteou a análise desta pesquisa.

2.4.1 Equações Diferenciais

Conforme explica Zill (2013), as palavras diferencial e equações obviamente sugerem a resolução de algum tipo de equação envolvendo derivadas, sendo as equações diferenciais o suporte matemático para descrever sistemas físicos em termos matemáticos de áreas da ciência e da engenharia.

A seguir, apresentamos a definição atribuída pelo autor a respeito das equações diferenciais:

Uma equação que contém as derivadas ou diferenciais de uma ou mais variáveis dependentes, em relação a uma ou mais variáveis independentes é chamada de equação diferencial (ED) (Zill, 2013, p.2).

A respeito dos modelos matemáticos, o autor descreve que é muito comum em ciências, engenharia, economia ou psicologia o uso de modelos matemáticos que descrevam o comportamento de algum fenômeno. O primeiro passo é a definição das variáveis que são responsáveis pela mudança do sistema e o segundo é a definição do conjunto de hipóteses razoáveis sobre o sistema, que incluem algumas leis empíricas que são aplicáveis ao mesmo. Assim, as equações diferenciais do sistema deverão descrever de maneira consistente seu comportamento.

Para Stewart (2014), a formulação de um modelo matemático de um problema real é realizada por meio do raciocínio intuitivo sobre o fenômeno ou por meio de uma lei física fundamentada em evidência experimental e exige, frequentemente, uma equação diferencial que descreva esse mesmo fenômeno. Em um problema real, normalmente notamos que mudanças ocorrem e queremos predizer o comportamento futuro com base na maneira como os valores presentes variam.

Zill (2013) acrescenta que um modelo matemático de um sistema físico, em geral, envolve a variável tempo (t) e sua solução representa o estado do sistema, ou seja, para valores apropriados da variável t , os valores da variável dependente (ou variáveis) descrevem o sistema no passado, presente e futuro.

As equações lineares podem ser classificadas quanto ao tipo: ordinária ou parcial, quanto à ordem e quanto à linearidade: linear ou não-linear.

Nesta pesquisa, as equações diferenciais são classificadas como ordinárias. Segundo Zill (2013), as equações diferenciais ordinárias apresentam uma ou mais variáveis dependentes, com relação a uma única variável dependente. Assim, no contexto de nossa pesquisa, temos que a variável independente é o tempo e as variáveis dependentes são x_1 , y_1 e z_1 , respectivamente, o total de informação na memória sensorial no tempo, o total de informação na memória de curto prazo no tempo e o total de informação na memória de longo prazo no tempo.

Segundo Boyce e DiPrima (2018), outra classificação de equações diferenciais depende do número de funções desconhecidas. Quando uma única função deve ser determinada, então uma única equação é suficiente, no entanto, para o caso de duas ou mais funções serem determinadas, é necessário um sistema de equações que pode conter centenas ou até milhares de equações. Um exemplo apresentado pelos mesmos autores citados se refere às equações de Lokta-Volterra, ou predador-presa, usadas na modelagem ecológica. Essas equações são expressas pela relação:

$$\frac{dx}{dt} = ax - \alpha xy$$

$$\frac{dy}{dt} = -cy + \gamma xy ,$$

em que, $x(t)$ e $y(t)$ são as populações respectivas das espécies presa e predador. As constantes a , α , c e γ são baseadas em observações empíricas e estão relacionadas às espécies pesquisadas.

Já a ordem de uma equação diferencial corresponde à ordem da derivada de maior ordem que aparece na equação, sendo as equações de Lokta-Volterra anteriores de primeira ordem. De maneira geral, a equação

$$F\left[t, y(t), y'(t), \dots, y^{(n)}(t)\right] = 0$$

A equação anterior expressa a relação entre uma equação diferencial ordinária de ordem n , cuja variável independente é t , os valores da função u e suas primeiras derivadas, $u'(t)$, $u''(t)$, ..., $u^{(n)}(t)$. Conforme explicam Boyce e DiPrima (2018) é comum que a substituição das

variáveis por outras letras que serão usadas no lugar do t ou y para as variáveis independentes e dependentes, sendo que o seu significado deve ficar claro para o leitor dependendo do contexto.

Outra classificação de suma importância é se elas são lineares ou não-lineares.

Na equação $F = (t, y, y', \dots, y^{(n)}) = 0$ é dita uma equação diferencial linear, se F for uma função linear das variáveis y, y', y'', ..., y⁽ⁿ⁾. Assim, a equação diferencial ordinária linear geral é expressa pela relação:

$$a_0(t)y^{(n)} + a_1(t)y^{(n-1)} + \dots + a_n(t)y = g(t)$$

Uma equação que não atende à forma geral anterior é dita uma equação diferencial não linear como, por exemplo, a equação $y \dots + 2e^t y' + yy' = t^4$ que é não linear devido a yy' . Da mesma maneira, as equações de Lotka-Volterra também não são lineares devido as expressões envolvendo o produto xy .

Os autores explicam que a teoria matemática e os métodos pra resolver as equações diferenciais lineares são bastante desenvolvidos, porém, o mesmo não pode ser dito a respeito dos métodos para resolver as equações diferenciais não lineares. Nesse sentido, muitos problemas consideram apenas as equações diferenciais ordinárias lineares ou podem ser aproximados por equações lineares, método conhecido por linearização. Salientamos que em nosso contexto de pesquisa, serão tratadas apenas equações diferenciais ordinárias não lineares.

Boyce e DiPrima (2018) explicam que existem muitos problemas físicos que envolvem diversos elementos separados associados de alguma maneira. Para essa situação, o problema matemático deve estar associado a um sistema de duas ou mais equações diferenciais que serão escritas como equações de primeira ordem. Assim, esses sistemas de equações diferenciais ordinárias simultâneas aparecem em situações que envolvam diversas variáveis dependentes em que cada uma delas é função da mesma variável independente única. A variável independente é, geralmente, denotada por t (variável independente) e as variáveis dependentes por x_1, x_2, x_3, \dots

Os autores explicam que a solução de sistemas na forma

$$x_1 = F_1(t, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

$$x_2 = F_2(t, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

$$x_3 = F_3(t, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

...

$$x_n = F_n(t, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

No intervalo $I: \alpha < t < \beta$ é um conjunto de n funções $x_1 = \mathcal{O}_1(t), x_2 = \mathcal{O}_2(t), \dots,$

$x_n = \mathcal{O}_n(t)$ diferenciáveis em todos os pontos do intervalo I e que satisfaz o sistema de equações anteriormente apresentado em todos os pontos desse intervalo. Além do sistema de equações diferenciais também é comum informar as condições iniciais da forma

$x_1(t_0) = x_1^0, x_2(t_0) = x_2^0, \dots, x_n(t_0) = x_n^0$, em que t_0 é um valor especificado de t e x_1^0, \dots, x_n^0 são números dados. As condições iniciais e as equações diferenciais do sistema formam um problema de valor inicial.

2.4.2 Um modelo matemático para estudar a memória do cérebro humano

Samuel *et al.* (2015) estudam a dinâmica de processamento de informações do cérebro humano baseada na análise do modelo de memória elaborado por Atkinson e Shiffrin (1968), a partir de modelos matemáticos determinísticos. Na pesquisa dos mesmos autores foram apresentados dois modelos matemáticos denominados de processamento de baixo para cima (*Bottom-up*) e processamento de cima para baixo (*Top-down*), sendo que o primeiro é orientado por dados estimulados pelos registros sensórios e o segundo é acionado por experiência ou conhecimento prévio. Na análise de ambos os modelos são usados tanto métodos analíticos quanto os métodos numéricos de maneira a investigar a existência e estabilidade de estados de equilíbrio deles, além dos valores limite de determinados parâmetros presentes nos modelos. Dessa maneira, a pesquisa investiga o efeito desses parâmetros no processamento de informações do cérebro humano a partir de dados hipotéticos. Como resultado, a pesquisa revela que os parâmetros: atenção, repetição e ensaio desempenham um papel fundamental no processo de aprendizagem e que a repetição e o ensaio são recomendados para

reter informações. Um outro ponto destacado pelos autores é sobre o sentimento de segurança física ou psicológica necessário em qualquer ambiente para que o aluno tenha uma atenção adequada.

O trabalho de Samuel *et al.* (2015), retrata o papel dos órgãos dos sentidos responsáveis pela recepção das informações externas oriundos de estímulos. Conforme explicam, as memórias são formadas por um grupo de neurônios que é estimulado a formar um padrão de respostas e da mesma maneira que os músculos melhoram com o exercício, o cérebro parece melhorar com o uso em decorrência do aumento de células cerebrais que ampliam em número de ramificações. Para os autores, existe uma hierarquia que favorece a atenção do indivíduo em determinada questão, sendo ela: a necessidade de sobrevivência, os eventos que afetam as emoções e aqueles que contribuem para a aprendizagem. Tendo por base essa hierarquia, fica claro que o indivíduo precisa se sentir física e psicologicamente seguros em qualquer ambiente para prestar atenção. De maneira a considerar a atenção como fator principal na análise da formação de memória de curto e longo prazo, os autores apresentam dois modelos matemáticos que têm como pressuposto teórico o trabalho de Atkinson e Shiffrin (1968) e que são formados por três componentes: memória sensorial (SSM), memória de curto prazo (STM) e memória de longo prazo (LTM)⁷. Segundo os autores, a crença na interação de novas informações com a informação armazenada é um terceiro ponto-chave do estudo cognitivo. O primeiro modelo matemático desenvolvido por Samuel *et al.* (2015) baseia-se na crença de que a nova informação é vista como um iniciador e que o cérebro a partir dele tenta combinar com os conceitos existentes para definir atributos e características, sendo denominado de modelo de baixo para cima (*Bottom-up*). No segundo modelo, a memória existente é o iniciador e representações de memórias são avaliadas e combinadas com os estímulos. Ele é denominado de modelo de cima para baixo (*Top-down*). Um fator comum entre ambos os modelos é que a memória sensorial representa o estágio inicial dos estímulos da percepção e está associada aos sentidos.

Segundo os autores, a transferência de novas informações rapidamente para o próximo estágio de processamento é de importância

⁷Ressaltamos as diferenças já apontadas durante esta pesquisa a respeito das siglas STM, STS, LTM e LTS adotados por Atkinson e Shiffrin (1968).

crítica. Este estágio corresponde à transferência de informações para a memória de curto prazo, caracterizada como uma memória limitada e temporária que decai rapidamente se não for transferida para o próximo estágio, o da memória de longo prazo. Conforme explicam, esse decaimento começa a ocorrer em menos de meio segundo para estímulos visuais e três segundos para estímulos auditivos. Assim, a atenção e a automaticidade são as maiores influências para o registro sensorial. Já a segunda etapa do processamento de informação envolve a memória de curto prazo também denominada de memória de trabalho. Considerada como memória consciente, ela corresponde à memória onde ocorrem os processos ativos de novas informações. Ressaltam que essa memória é limitada e que suas informações são perdidas dentro de 15 a 30 segundos caso as informações não sejam trabalhadas corretamente.

Dentre as principais formas eficazes de tratar o processamento de informações está o ensaio rotineiro ou de manutenção. A partir do ensaio, as informações são retidas por meio de repetição, porém, esse tipo de ensaio destina-se apenas a manter a informação até que ela possa ser melhor processada, pois caso contrário ela será perdida rapidamente.

Por último, a memória de longo prazo corresponde a um depósito mais permanente em que a informação pode residir em estágio adormecido até que ela seja trazida de volta, ou seja, de volta à consciência. Nesse sentido, para que a memória de longo prazo armazene novas informações deve haver uma relação dinâmica com a memória de curto prazo.

A respeito da atenção, os autores afirmam que ela facilita a integração e a transferência de informações sendo afetada pelo significado do novo estímulo do indivíduo, a semelhança entre ideias ou estímulos concorrentes, além da complexidade das informações e condições físicas dele. Os autores consideram que a automaticidade é o oposto da atenção. Conforme explicam, a automaticidade redireciona a atenção para outras informações ou estímulos e permite a capacidade de multitarefa mesmo sem distrair a aquisição de nova informação. Assim, a atenção e a automaticidade são os dois principais efeitos da memória sensorial.

A seguir, apresentamos o quadro com as variáveis de estado, parâmetros e descrições do modelo matemático elaborado pelos autores e seu respectivo diagrama esquemático. Ressaltamos que apresentaremos

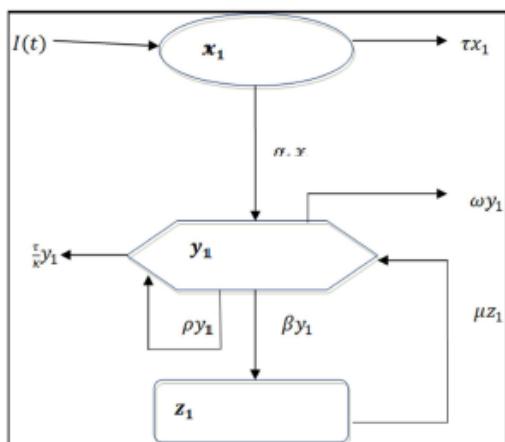
apenas um dos modelos trabalhados pelos autores (*Bottom-up*), deixando margem para que outras pesquisas se aprofundem no outro modelo proposto por eles.

Quadro 1: Variáveis de estado, parâmetros e descrições

$x_1(t)$	Total de informação na memória sensorial no tempo t
$y_1(t)$	Total de informação na memória de curto prazo no tempo t
$z_1(t)$	Total de informação da memória de longo prazo no tempo t
$I(t)$	Taxa de entrada de estímulos na memória sensorial (cérebro) no tempo t
$\tau(t)$	Coeficiente de esquecimento
α_1	Coeficiente de atenção
β	Coeficiente de ensaio
ϱ	Coeficiente de repetição
μ	Coeficiente de recuperação
κ	Constante arbitrária
ν	Coeficiente de automaticidade
ω	Coeficiente de resposta
t	tempo

Fonte: Adaptado de Samuel *et al.* (2015, p.235)

Figura 5: Diagrama esquemático do modelo matemático – *Bottom-up*



Fonte: Adaptado de Samuel *et al.* (2015, p. 235)

2.4.2.1 Modelo matemático de processamento de baixo para cima (Bottom-up)

Segundo Samuel *et al.* (2015), quando a atenção é dada à informação, os registros sensórios presentes na memória sensorial (SSM) processam a informação ambiental de maneira a enviá-la à memória de curto prazo. Essa informação ficará na memória de curto prazo por determinado período que depende dos processos de repetição e ensaio. Para eles, a manutenção dos processos de ensaio garantirá que as informações passem da memória de curto prazo para a memória de longo prazo, sendo recuperadas dessa última memória quando necessária para a realização de determinada tarefa.

A seguir, apresentamos as equações matemáticas que relacionam as variáveis de estado e os parâmetros expostos no Quadro 1:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= l(t) - (\alpha_1 + \tau)x_1 \\ \frac{dx_2}{dt} &= \alpha_1 \cdot x_1 + \left(\rho - \beta - \omega - \frac{\tau}{\kappa} \right) y_1 + \mu \cdot z_1 \\ \frac{dz_1}{dt} &= \beta \cdot y_1 - \mu \cdot z_1 \\ x_1(0) &= 0; y_1(0) = 0; z_1(0) = 0 \\ x_1, \beta, \mu, \tau, \rho, \omega &\geq 0; \tau < \kappa\end{aligned}$$

Conforme mencionado no trabalho de Samuel *et al.* (2015), a realização dos experimentos buscou investigar a respeito dos efeitos da atenção, repetição e ensaio no processo de aprendizagem com ênfase na quantidade de informações presentes na memória de longo prazo. Nesse sentido, os autores apresentaram os experimentos com duas propostas principais: (i) examinar a quantidade de informação na memória de longo prazo quando a atenção, repetição e ensaio são nulos e (ii) determinar os efeitos da repetição e do ensaio sobre a quantidade de informação na memória de longo prazo. Ressaltamos que os experimentos dos autores foram realizados para ambos os modelos de memória, no entanto, nos limitaremos a trabalhar nesta pesquisa com um único modelo, o modelo de processamento orientado a dados, o qual os autores denominam de modelo de baixo para cima (*Bottom-up*). Da mesma maneira, apresentamos os resultados alcançados deste mesmo modelo na pesquisa dos autores supracitados.

Com uma função de estímulo externo dada por: $I(t) = t^2; t \in [0, \infty)$ e de maneira a explicar como a pesquisa foi realizada, Samuel *et al.* (2015) fizeram uso do programa computacional MATLAB® para a obtenção da solução das equações diferenciais ordinárias.

Com um total de três experimentos realizados, os autores buscaram entender como ocorre o fluxo de informações na memória de longo prazo. Destacaram que no primeiro experimento foram apresentadas novas informações a um indivíduo nas seguintes condições:

- a. $\alpha_1 = 0,00; \rho = 0,30; \beta = 0,25;$
- b. $\alpha_1 = 0,50; \rho = 0,00; \beta = 0,25;$
- c. $\alpha_1 = 0,50; \rho = 0,30; \beta = 0,00.$

De acordo com os parâmetros anteriores, Samuel *et al.* (2015) constataram que a informação retida na memória de longo prazo (LTM) cresceu apenas na condição apresentada em (c), levando a entender que a atenção e o ensaio atuamativamente na retenção de novas informações na memória de longo prazo (LTM).

No segundo experimento foi investigado o efeito do ensaio associado ao efeito da repetição em um indivíduo inexperiente. Como resultado, os autores apontaram que um alto nível de ensaio e alto nível de repetição são muito úteis para a obtenção da informação.

E por fim, no terceiro experimento, os autores associaram o efeito do ensaio junto a repetição em uma variação inversa para um indivíduo inexperiente. Como resultado, foi destacado que a repetição mantém ou atualiza as informações na memória de curto prazo (STM) por um longo período, promovendo, assim, a transferência efetiva para a memória de longo prazo (LTM).

Segundo Samuel *et al.* (2015), os estados de equilíbrio dos modelos foram encontrados de maneira uniforme e assintoticamente estável sob determinadas condições impostas aos parâmetros dos modelos matemáticos. Para tanto, alguns parâmetros foram tomados como referência com o objetivo de investigar a eficácia dos parâmetros atenção, ensaio, repetição e recuperação e esquecimento após simulação. Assim, baseando-se em dados hipotéticos foi determinado o papel desempenhado pela atenção, ensaio e repetição e recuperação na dinâmica do

processamento de informações do cérebro humano. Como resultado, os autores consideraram que a atenção tem papel fundamental no processo de aprendizagem, que os ensaios constantes refrescam a mente com informações e que a repetição se constitui em forma eficaz de reter a informação e transferi-la de maneira permanente à memória de longo prazo (LTM).

DELIMITAÇÃO METODOLÓGICA

A ciência é uma modalidade de conhecimento que não se constitui simplesmente como mero levantamento de dados. Levantados os dados, eles precisam ser articulados de forma lógica com o real e segundo uma teoria que lhes dê sustentação (Severino, 2016, p. 135).

Para que a teoria possa elevar os dados empíricos à condição de ciência, é indispensável que ela esteja articulada a dados empíricos para que se produza a ciência. Existe, portanto, a necessidade de mediações técnico metodológicas que se constituem pelo conjunto de recursos e instrumentos adequados para a exploração das fontes por meio de procedimentos sistemáticos que auxiliem na descrição e explicação de fenômenos naturais e humanos.

Uma metodologia de pesquisa pode adotar uma abordagem qualitativa, quantitativa, ou valer-se de ambas as abordagens.

Segundo Marconi e Lakatos (2022), as abordagens qualitativa e quantitativa diferem desde a formulação do problema até a análise dos dados. Conforme os autores explicam, na formulação do problema da abordagem qualitativa, o problema não sai da cabeça do pesquisador, sendo o resultado dinâmico de sua imersão na vida e no contexto da população pesquisada. Nesse tipo de pesquisa, não há a preocupação com a neutralidade científica, sendo que a compreensão dos fatos se dá por sua conduta participante. Além disso, os pesquisados são vistos como sujeitos capazes de produzir conhecimentos e de intervir em suas soluções.

Quanto à análise de dados, na abordagem qualitativa ocorre a análise de textos e material audiovisual, descrição e análise de temas e significado profundo dos resultados.

Há diferenças entre as abordagens quanto à coleta de dados, sendo que no enfoque quantitativo ocorre o uso de instrumentos predeter-

minados, dados numéricos e um número considerável de casos. Neste tipo de pesquisa, a análise envolve a estatística, descrição de tendências, comparação com grupos, relação entre variáveis ou a comparação de resultados com outros estudos.

E por fim, o relatório da análise no enfoque quantitativo é padronizado e fixo, objetivo e, teoricamente, sem tendências. Já no qualitativo, a análise é emergente e flexível, reflexivo e aberto à aceitação de tendências. Portanto, as questões abordadas da pesquisa qualitativa são bem diferentes das abordadas na pesquisa quantitativa.

Dessa maneira, existe a necessidade de escolher a abordagem que seja mais adequada à solução dos problemas que objetiva a investigação, de modo a conferir maior racionalidade às etapas da pesquisa.

A pesquisa também pode ser classificada de acordo com seus objetivos, podendo se dividir em: pesquisa exploratória, pesquisa descritiva e pesquisa explicativa. Na pesquisa exploratória, a coleta de dados comprehende o levantamento bibliográfico, entrevistas e a análise de exemplos, sendo exemplos de pesquisa exploratória a pesquisa bibliográfica, entrevistas e levantamento de campo. Já as pesquisas descritivas têm como objetivo descrever as características de uma população, ou identificar relações entre as variáveis e a natureza dessas relações. Elas se aproximam das pesquisas explicativas que têm por finalidade identificar os fatores que subfazem à ocorrência de determinado fenômeno.

Nesse sentido, esta pesquisa é classificada quanto à abordagem e ao tipo como: quantitativa, descritiva e explicativa.

3.1 ABORDAGEM QUANTITATIVA

Na pesquisa quantitativa há uma descrição precisa e sistemática do conteúdo manifesto da comunicação, sendo resultado de toda informação numérica. Seus resultados se apresentam como um conjunto de quadros, tabelas e medidas.

Dessa maneira, Marconi e Lakatos (2022), explicam que há três traços bem definidos no conteúdo quantitativo que devem ser explorados, sendo eles: a objetividade, a sistematização e a quantificação dos conceitos.

A pesquisa quantitativa vale-se da coleta de dados para testar hipóteses, com base na medição e análise estatística que estabelecem padrões e comprovam teorias. A finalidade da pesquisa quantitativa é explicar e prever os fenômenos pesquisados, de maneira a encontrar regularidades e relações causais entre os elementos. Assim, produz-se um efeito de sentido de validade, confiabilidade, cuja investigação se apoia em regras da lógica, sobretudo, no raciocínio dedutivo.

Marconi e Lakatos (2022), acrescentam que nesse tipo de pesquisa, o pesquisador expressa as relações funcionais entre as variáveis e evidencia a relações entre os diferentes elementos estudados. Existem vantagens em trabalhar com o enfoque quantitativo de pesquisa que vale a pena ressaltar, são eles: precisão e controle das variáveis, verificação dos resultados pela análise estatística e prevenção da inferência e da subjetividade do pesquisador. Contudo, é importante citar que também existem desvantagens, que são: a excessiva confiança nos dados, a falta de detalhes do processo e de observação sobre diferentes aspectos e enfoques e a certeza dos dados colhidos.

Pesquisadores como Baptista e Campos (2016) ao tratar dos métodos quantitativos utilizam a expressão delineamento que corresponde ao planejamento da pesquisa. Adotamos nesta pesquisa, o delineamento experimental que garante confiabilidade, em particular, atribuído pelo rigor matemático-estatístico e controle das variáveis. Na pesquisa quantitativa experimental, o pesquisador estabelece um objeto de pesquisa, selecionar variáveis independentes que influenciam as variáveis dependentes e definem formas de controle e observação sobre os efeitos produzidos por essas variáveis.

No cenário de pesquisa quantitativa experimental, a observação metódica poderá contribuir na identificação das relações constantes em circunstâncias idênticas e determinar as leis que regem e explicam as relações causais entre fenômenos e fatos observados, de maneira a prever comportamentos e fatos. Há, portanto, necessidade de mensurar as variáveis e explicar a influência dessas em outras variáveis.

3.1.1 Técnicas de pesquisa quantitativa

Existem técnicas comuns às pesquisas quantitativas e qualitativas. São elas: entrevista, questionário, formulário, observação, coleta e verificação de dados, análise e interpretação dos dados, sendo que a pesquisa quantitativa experimental (enfoque metodológico usado neste trabalho) se apoia na simulação, modelização e sondagem.

A técnica de coleta de dados requer um rigor para a construção dos instrumentos de pesquisa e se relaciona diretamente com as hipóteses que se desejam confirmar segundo os pressupostos teóricos que fundamentam toda a pesquisa e com a análise final.

Dentre as técnicas de coleta de dados anteriormente citadas, fizemos uso nesta pesquisa da observação que consiste em utilizar os sentidos para obtenção de determinados aspectos da realidade. Esta técnica utiliza além do ver e ouvir, mas também examina fatos e fenômenos em estudo. Entre as modalidades de observação, Gil (2016) afirma que elas podem ser divididas: (i) quanto aos meios utilizados, sendo elas: não estruturada ou assistemática e estruturada ou sistemática; (ii) quanto a participação do observador: não participante e participante; (iii) quanto ao número de observações: individual ou em equipe e (iv) quanto ao local onde se realiza: na vida real ou no laboratório.

3.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

De maneira a responder nossas questões de pesquisa: *(a) 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 (b) Qual o papel da atenção, repetição, recuperação, ensaio e esquecimento na constituição da memória de curto e longo prazo?*, faremos uso de simulação computacional a partir do software MATLAB®.

Segundo Gilat (2012), o MATLAB®, abreviatura de *MAT*rix *L*ABoratory, corresponde a uma poderosa linguagem em termos de computação técnica e que tem como base operacional, matrizes, sendo bastante versátil em cálculos matemáticos, modelagens e simulações, análises numéricas, processamentos, além de visualizações gráficas e desenvolvimento de algoritmos.

Além disso, devido a sua larga utilização em universidades e centros de pesquisa, o MATLAB® tem ferramentas ou funções que podem ser aplicadas em uma vasta área de conhecimento.

Ainda segundo o autor, até recentemente, a maioria dos usuários do MATLAB® era formada por pessoas que conheciam linguagens de programação como FORTRAN e C e migraram naturalmente para o MATLAB®. No entanto, atualmente o uso desse *software* vem se desvinculando desses pré-requisitos e sendo adotado nos cursos introdutórios das universidades o que torna o conhecimento em programação não tão necessário.

O pacote padrão do MATLAB® possui ferramentas comuns a várias áreas de conhecimento, e disponibiliza programas específicos que são projetados e dedicados para resolver determinados problemas que são chamados de *toolboxes*. Dentre os *toolboxes* mais utilizados é possível citar: cálculos simbólicos, processamento de sinais, sistemas de controle, lógica fuzzy, etc.

Também é possível citar o *toolbox Simulink* que foi construído sobre o MATLAB® e, por isso, é necessário ter o MATLAB® para que o *Simulink* seja usado. Para III (2014), o *Simulink* é amplamente usado na indústria e centros de pesquisa e desenvolvimento para modelar sistemas complexos e processos que são difíceis de serem modelados a partir de um simples conjunto de equações diferenciais.

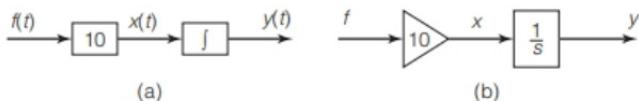
O *Simulink* fornece uma interface gráfica com o usuário que utiliza uma série de blocos na criação de um sistema dinâmico, ou seja, um sistema modelado por equações diferenciais, ou equações de diferenças, que têm o tempo como variável independente. Dentre os blocos existentes no *Simulink* é possível citar o multiplicador, a soma e o integrador. Dessa maneira, sua interface gráfica permite que esses blocos sejam posicionados, redimensionados e rotulados. Ainda quanto aos mesmos blocos é possível que sejam especificados parâmetros e interconectar cada um deles de maneira a simular o sistema dinâmico. Sistemas simples requerem poucos blocos e à medida que eles vão se tornando mais complexos, um maior número de blocos será necessário.

3.2.1 O Diagrama de Simulação

O diagrama de simulação do *Simulink* mostra todos os elementos do problema a ser resolvido e será apresentado graficamente mostrando todas as relações entre os blocos que representam os processos de causa (entrada) e de efeito (saída).

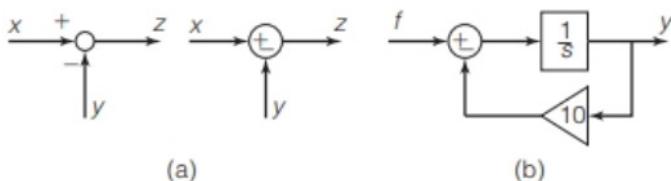
Existem diferentes notações, símbolos e nomenclaturas utilizados nos diagramas de simulação, dentre eles: o símbolo do triângulo que representa a multiplicação e que recebe a denominação de bloco de ganho apresentado na Figura 4; o símbolo da integração no bloco integrador que foi substituído pelo operador $1/s$ e que é obtido a partir da notação da transformada de Laplace e os símbolos apresentados na Figura 5 que são utilizados como elemento somador, sendo que esses elementos são usados tanto para somar como para subtrair variáveis.

Figura 6: Diagrama de Simulação: elementos multiplicador e integrador



Fonte: III (2014, p.418)

Figura 7: Diagrama de Simulação: elemento somador



Fonte: III (2014, p.418)

Acrescidos a estes, podemos citar o bloco *To Workspace* que envia um conjunto de variáveis para o espaço de trabalho do MATLAB®, sendo que qualquer bloco do *Simulink* aceita variáveis do *Workspace* do MATLAB® como argumentos de entrada. Vale a pena também destacar o papel do bloco *Step* usado nesta pesquisa que produz uma função degrau. Pode se configurar o instante em que se aplica o degrau,

assim como sua magnitude antes e depois da transição. Além dos blocos anteriores, também será usado nesta pesquisa, o bloco *Scope*. Este bloco corresponde ao dispositivo de saída que permite acompanhar o sistema, sendo encontrado na biblioteca de dispositivos de saída (*Sinks*). Em particular, o bloco *Scope* corresponde a um osciloscópio que produz gráficos a partir dos dados do modelo.

3.3 AS EQUAÇÕES DIFERENCIAIS INVESTIGADAS

Com base no referencial teórico de Samuel *et al.* (2015) que define as equações diferenciais para o estudo das memórias de curto e longo prazo e os respectivos diagramas esquemáticos que foram representados em seu trabalho, desenvolvemos nesta pesquisa diagramas de sistemas com o auxílio do *Simulink*.

As equações diferenciais trabalhadas nesta pesquisa são:

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

com as **variáveis**:

I(t): taxa de entrada de estímulos na memória sensorial no tempo t;

S: registro sensorial;

MCP: memória de curto prazo;

MLP: memória de longo prazo;

e os **parâmetros iniciais**:

α : coeficiente de atenção;

τ : coeficiente de esquecimento do registro sensorial;

τ_{MCP} : coeficiente de esquecimento da MCP;

τ_{MLP} : coeficiente de esquecimento da MLP;

ρ : coeficiente de repetição;

μ : coeficiente de recuperação;

β : coeficiente de prática/ensaio.

Por nos basearmos nas equações diferenciais definidas no trabalho de Samuel *et al.* (2015) e que são adotadas nesta pesquisa, decidimos por não considerar o parâmetro ω (coeficiente de resposta), pois não estamos trabalhando com uma situação real que requeira a participação ativa do indivíduo sendo, portanto, este coeficiente nulo.

Associados a estas equações diferenciais também foi expressa a função de potência para avaliar o padrão do esquecimento das informações aprendidas que foi apresentada em Radvansky *et al.* (2022). Esta função é dada pela relação:

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

com

M: desempenho de memória;

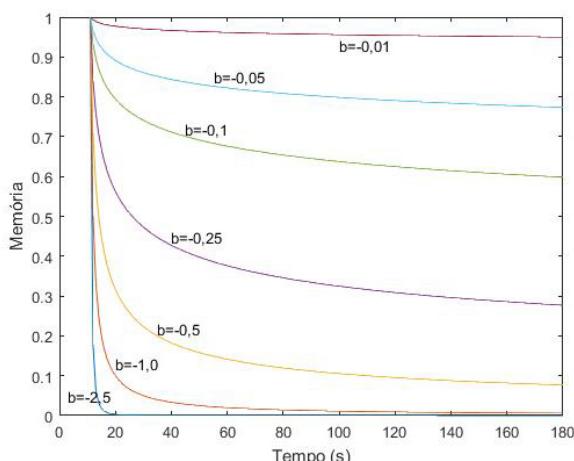
a: constante;

t: tempo;

b: expoente que captura a taxa de esquecimento das informações aprendidas.

O gráfico 1 demonstra a função de potência utilizando $a=1$ e diferentes valores de b , durante 180 segundos, iniciando no tempo 10 segundos.

Gráfico 1: Curva de esquecimento com diferentes valores do expoente e

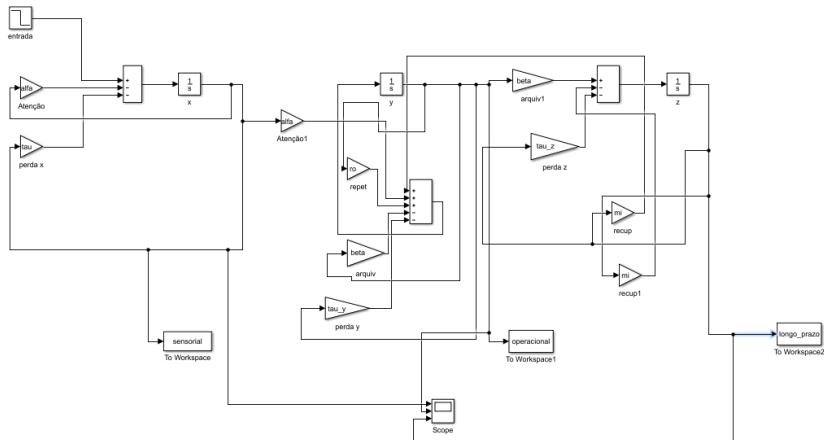


Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Segundo Monteiro (2011), o tempo t é uma variável que evolui livremente e pode ser medida em escalas diferentes (segundos, dias, séculos etc.). Este tipo de variável recebe a denominação de variável independente. Já as variáveis dependentes correspondem a uma função da variável independente e o que se pretende a partir do modelo é determinar essa relação de dependência. E, por fim, os parâmetros, são quantidades que influenciam o comportamento do sistema, e podem ser fixos ou variáveis no tempo.

O diagrama de simulação elaborado com o auxílio do *Simulink* e que representa o sistema de equações diferenciais desta pesquisa é exposto a seguir:

Figura 8: Diagrama esquemático que representa o sistema de equações diferenciais



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

O diagrama anterior foi construído com base nas equações diferenciais expostas por Samuel *et al.* (2015) e constituem o modelo matemático a ser trabalhado nesta pesquisa.

Para sua construção, vamos destacar três etapas subsequentes, que são:

Etapa 1: representa a equação diferencial que modela o registro sensório. É possível observar que há uma entrada que representa a função $I(t)$, a função degrau, os blocos de ganho que representam os coeficientes

α (atenção) e τ (coeficiente de esquecimento do registro sensorial) e o bloco integrador que é o operador $\frac{1}{s}$ e representa o registro sensório.

Etapa 2: representa a equação diferencial que modela a memória de curto prazo. É possível observar que o coeficiente α (atenção) recebe a atenção do registro sensório S e associa-se aos blocos de ganho que representam os coeficientes q (repetição), β (ensaio) e τ_{MCP} (esquecimento da memória de curto prazo). Também há o efeito do bloco integrador que é o operador $\frac{1}{s}$ e representa a memória de curto prazo. Ainda existe a associação do bloco de ganho que representa o coeficiente de recuperação (μ) e o bloco integrador descrito pelo operador $\frac{1}{s}$ e que representa a memória de longo prazo.

Etapa 3: representa a equação diferencial que modela a equação diferencial que modela a memória de longo prazo. Nesta representação, são representados o bloco de ganho (β : ensaio) e o operador $\frac{1}{s}$ (MCP: memória de curto prazo). Destes blocos são subtraídos os blocos de ganho (μ : recuperação e τ_{MLP} : esquecimento da memória de longo prazo) com o fator do operador $\frac{1}{s}$ que representa a memória de longo prazo (MLP).

O bloco Scope permite a visualização de cada saída (registro sensório, memória de curto prazo e memória de longo prazo) e, dessa maneira, a sua análise pelo pesquisador.

3.4 OS CENÁRIOS SIMULADOS E O TRATAMENTO DE DADOS

Considerando 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 a pesquisa de Samuel *et al.* (2015) que utiliza um sistema de equações diferenciais como modelo matemático de processamento das informações de memória e os dados apresentados em suas respectivas pesquisas, simulamos quatro diferentes cenários, tendo os seguintes coeficientes iniciais e de referência:

Quadro 2: Processos de controle - coeficiente de referência

α : coeficiente de atenção	0,5
β : coeficiente de prática/ensaio	0,05
μ : coeficiente de recuperação	0,05
η : coeficiente de repetição	0,5
τ : coeficiente de esquecimento do registro sensorial	0,5
τ_{MCP} : coeficiente de esquecimento da MCP	1
τ_{MLP} : coeficiente de esquecimento da MLP	0,001

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Nomeamos este modelo de referência inicial como Cenário 1.

Os dados, a seguir, se referem ao ajuste experimental realizado com o auxílio do *software* MATLAB® e as funções de potência que descrevem o registro sensório, memória de curto prazo (MCP) e memória de longo prazo (MLP) na concepção de Radvansky *et al.* (2022) do primeiro cenário:

CENÁRIO 1 – REFERÊNCIA

Ajuste experimental

```
% Criação da matrix tempo discreto de 1 a 180 segundos
```

```
t1=linspace(1,180,180);
```

```
t=t1';
```

```
% Extração dos 10 segundos iniciais
```

```
tin=linspace(-9,170,180);
```

```
tn=tin';
```

```
tn(1:10)=NaN;
```

```
% Obtenção e plotagem das memórias sensorial (S) curto-prazo (MCP) e longo prazo (MLP)
```

```
S=(1)*tn.^(-2.45);
```

```
MCP=(1)*tn.^(-1.05);
```

```
MLP=(1)*tn.^(-.02);
```

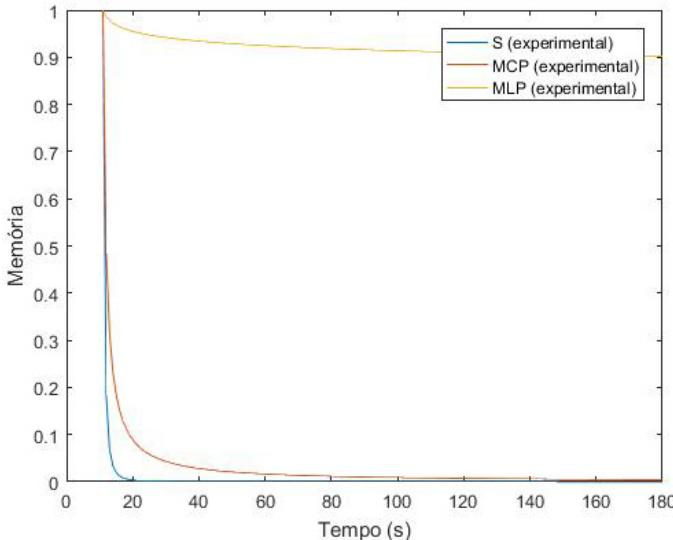
```
plot (t, S, t, MCP, t, MLP)
```

```

legend('S (experimental)', 'MCP (experimental)', 'MLP (experimental)')
xlabel('Tempo (s)')
ylabel('Memória')

```

Gráfico 2 – Curvas de esquecimento para registro sensorial (L), memória de curto prazo (MCP) e memória de longo prazo (MLP)



Destacamos que o tempo de duração da simulação = 180 s, e o tempo da função degrau $I(t)$ de 10 s.

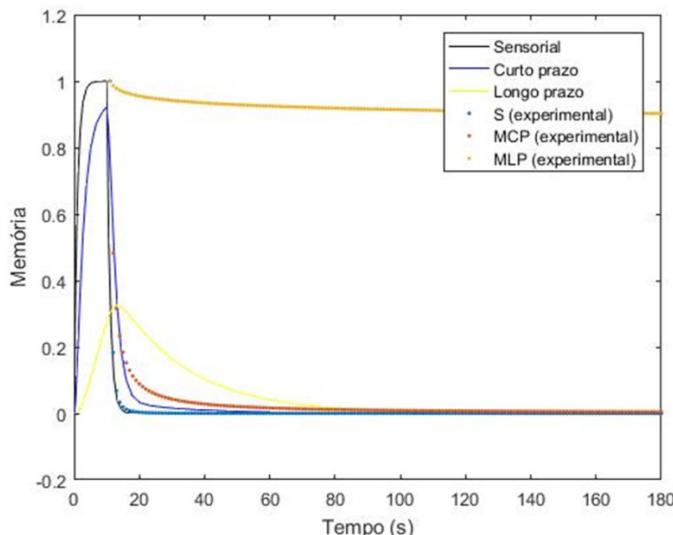
Nas funções de potência do esquecimento, dadas pela relação: $M = a \cdot t^b$, com M: desempenho de memória; a: constante; t: tempo e b: expoente que captura a taxa de esquecimento das informações aprendidas, temos que:

- para o registro sensório: a=1 e b=-2,45;
- para a memória de curto prazo: a=1 e b=-1,05;
- para a memória de longo prazo: a=1 e b=-0,02.

Dessa maneira, com base nas funções de potência do esquecimento e nos coeficientes iniciais expostos nas equações diferenciais que norteiam a construção deste cenário são apresentados os gráficos gerados

e que expressam a relação entre Tempo (s) (variável independente) e Memória (variável dependente).

Gráfico 3: Modelo de referência



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Após a simulação ($t=180$ s), foram obtidos novos coeficientes para as equações diferenciais que descrevem o Cenário 1, denominado de Ajuste Experimental:

Resultados estimados:

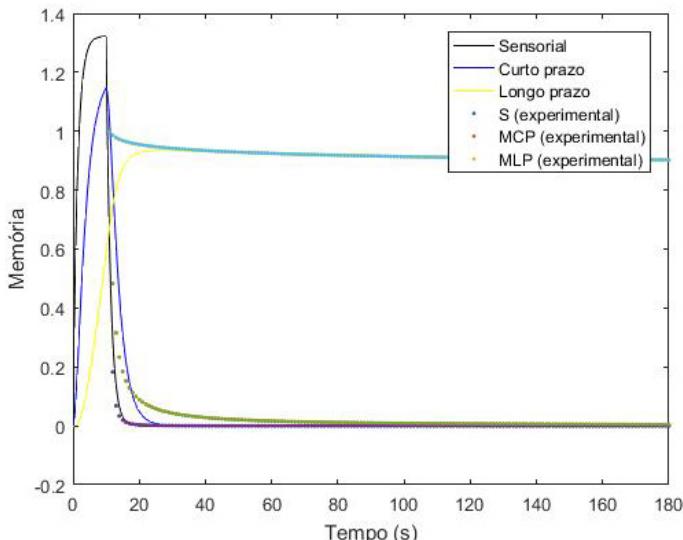
Quadro 3 –Processos de controle – Cenário 1

α : coeficiente de atenção	0,35623
β : coeficiente de prática/ensaio	0,078721
μ : coeficiente de recuperação	0,00033656
η : coeficiente de repetição	0,21847
τ : coeficiente de esquecimento do registro sensorial	0,39984
τ_{MCP} : coeficiente de esquecimento da MCP	0,53442
τ_{MLP} : coeficiente de esquecimento da MLP	$1,9701 \cdot 10^{-7}$

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

que são descritos pelo gráfico, a seguir:

Gráfico 4: Cenário 1 (Ajuste Experimental)



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

A seguir, são apresentados os dados trabalhados no cenário 2, o qual foi denominado de **maior capacidade de memorização**.

CENÁRIO 2

Nas funções de potência do esquecimento, dadas pela relação: $M = a \cdot t^b$, sendo M: desempenho de memória; a: constante; t: tempo e b: expoente que captura a taxa de esquecimento das informações aprendidas, temos que:

- para o registro sensório: a=1 e b=-2,45;
- para a memória de curto prazo: a=1,5 e b=-1,05;
- para a memória de longo prazo: a=1,5 e b=-0,02.

e os coeficientes de referência são:

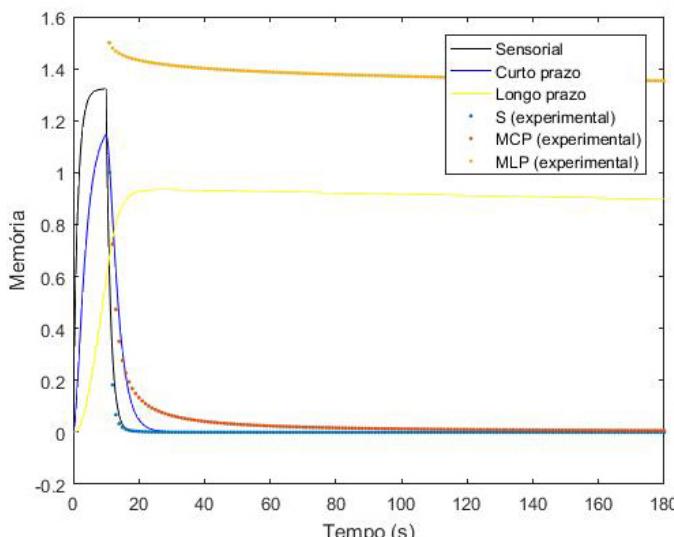
Quadro 4 – Processos de controle – Cenário 2 (Prévio)

α : coeficiente de atenção	0,35623
β : coeficiente de prática/ensaio	0,078721
μ : coeficiente de recuperação	0,00033656
η : coeficiente de repetição	0,21847
τ : coeficiente de esquecimento do registro sensorial	0,39984
τ_{MCP} : coeficiente de esquecimento da MCP	0,53442
τ_{MLP} : coeficiente de esquecimento da MLP	$1,9701 \cdot 10^{-7}$

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

que são representados pelo gráfico, a seguir:

Gráfico 5: Cenário 2 prévio (maior capacidade de memorização)



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Após a simulação deste cenário, foram obtidos os seguintes coeficientes para as equações diferenciais:

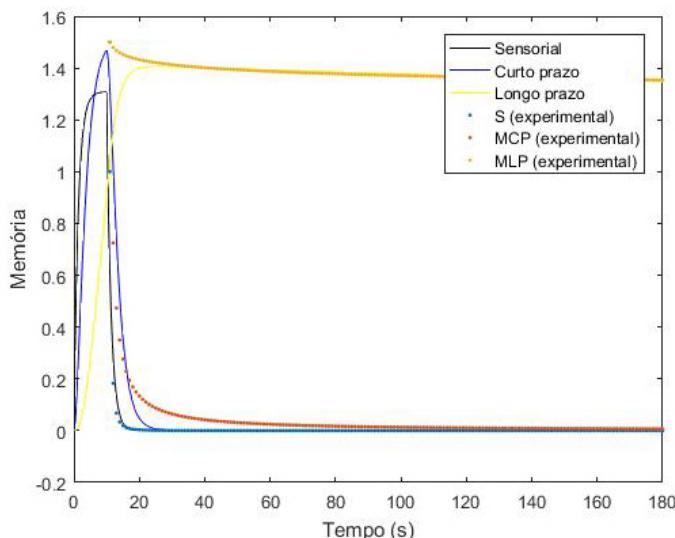
Quadro 5 – Processos de controle - Cenário - 2

α : coeficiente de atenção	0,49882
β : coeficiente de prática/ensaio	0,093354
μ : coeficiente de recuperação	0,00035978
η : coeficiente de repetição	0,45768
τ : coeficiente de esquecimento do registro sensorial	0,26584
τ_{MCP} : coeficiente de esquecimento da MCP	0,79498
τ_{MLP} : coeficiente de esquecimento da MLP	1,3344.10 ⁻⁸

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Estes novos coeficientes geram as curvas do registro sensório, memória de curto prazo e memória de longo prazo que são expressas, a seguir:

Gráfico 6: Cenário 2 (maior capacidade de memorização)



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

A seguir, são apresentados os dados trabalhados no cenário 3, o qual foi denominado de **menor capacidade de memorização**.

CENÁRIO 3

Nas funções de potência do esquecimento, dadas pela relação: $M = a \cdot t^b$, sendo M: desempenho de memória; a: constante; t: tempo e b: expoente que captura a taxa de esquecimento das informações aprendidas, temos que:

- para o registro sensório: a=1 e b=-2,45;
- para a memória de curto prazo: a=0,5 e b=-1,05;
- para a memória de longo prazo: a=0,5 e b=-0,02.

e os coeficientes de referência são:

iniciais

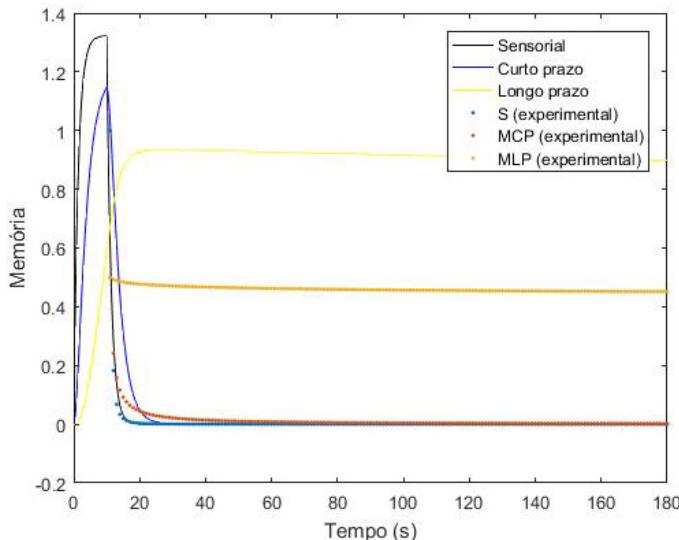
Quadro 6 – Processos de controle – Cenário 3 (Prévio)

α : coeficiente de atenção	0,35623
β : coeficiente de prática/ensaio	0,078721
μ : coeficiente de recuperação	0,00033656
η : coeficiente de repetição	0,21847
τ : coeficiente de esquecimento do registro sensorial	0,39984
τ_{MCP} : coeficiente de esquecimento da MCP	0,53442
τ_{MLP} : coeficiente de esquecimento da MLP	$1,9701 \cdot 10^{-7}$

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

que são representados pelo gráfico, a seguir:

Gráfico 7: Cenário 3 prévio (menor capacidade de memorização)



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Após a simulação, são obtidos os novos coeficientes:
Resultados estimados:

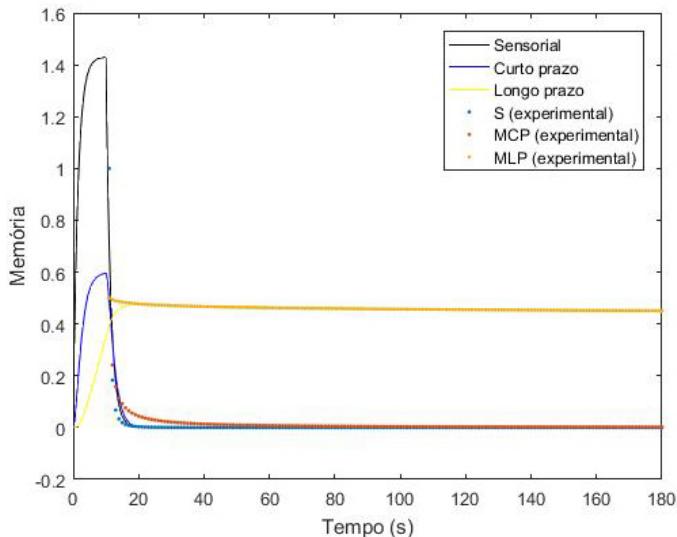
Quadro 7 – Processos de controle – Cenário 3

α : coeficiente de atenção	0,34064
β : coeficiente de prática/ensaio	0,079553
μ : coeficiente de recuperação	0,00040901
ρ : coeficiente de repetição	0,42775
τ : coeficiente de esquecimento do registro sensorial	0,3587
τ_{MCP} : coeficiente de esquecimento da MCP	1,1632
τ_{MLP} : coeficiente de esquecimento da MLP	$8,8467 \cdot 10^{-6}$

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

que altera o gráfico do cenário 3 para:

Gráfico 8: Cenário 3 (menor capacidade de memorização)



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

E, por fim, o último cenário 4 é denominado de amnésia anterógrada.

CENÁRIO 4

Neste cenário as funções de potência do esquecimento, dadas pela relação: $M = a \cdot t^b$, sendo M: desempenho de memória; a: constante; t: tempo e b: expoente que captura a taxa de esquecimento das informações aprendidas, temos que:

- para o registro sensório: a=1 e b=-2,45;
- para a memória de curto prazo: a=0,5 e b=-1,8;
- para a memória de longo prazo: a=0,5 e b=-0,4.

e os coeficientes de referência são:

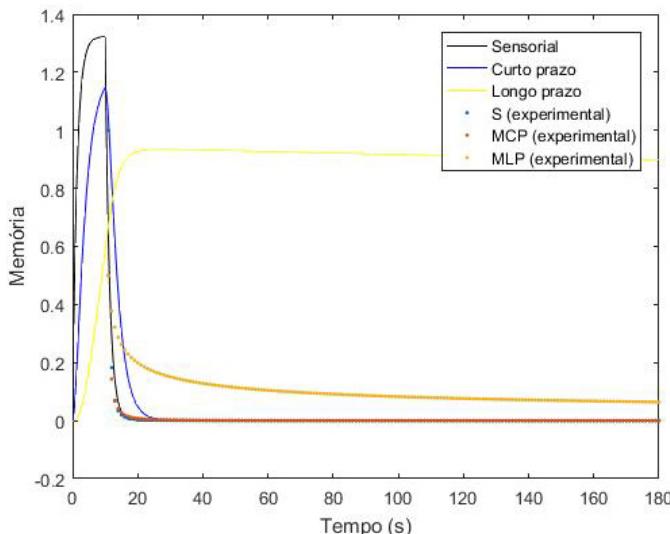
Quadro 8 – Processos de controle – Cenário 4 (Prévio)

α : coeficiente de atenção	0,35623
β : coeficiente de prática/ensaio	0,078721
μ : coeficiente de recuperação	0,00033656
η : coeficiente de repetição	0,21847
τ : coeficiente de esquecimento do registro sensorial	0,39984
τ_{MCP} : coeficiente de esquecimento da MCP	0,53442
τ_{MLP} : coeficiente de esquecimento da MLP	1,9701.10 ⁻⁷

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

que são representados pelo gráfico, a seguir:

Gráfico 9: Cenário 4 prévio (amnésia anterógrada)



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Após a simulação, são obtidos os novos coeficientes:
Resultados estimados:

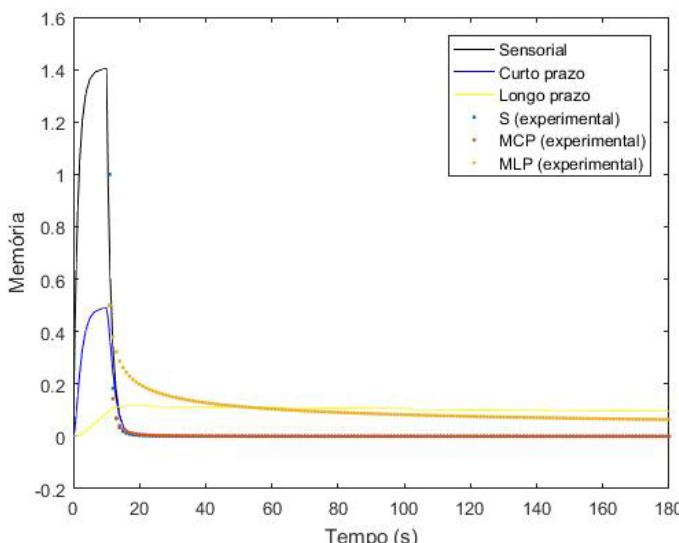
Quadro 9 – Processos de controle – Cenário 4

α : coeficiente de atenção	0,36104
β : coeficiente de prática/ensaio	0,023912
μ : coeficiente de recuperação	0,0012648
η : coeficiente de repetição	0,16966
τ : coeficiente de esquecimento do registro sensorial	0,35133
τ_{MCP} : coeficiente de esquecimento da MCP	1,1785
τ_{MLP} : coeficiente de esquecimento da MLP	$7.3393 \cdot 10^{-7}$

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

alterando o gráfico do cenário 4 para:

Gráfico 10: Cenário 4 (amnésia anterógrada)



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

3.5 RESUMO DOS DADOS

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

	Referência	Maior capacidade de memorização	Menor capacidade de memorização	Amnésia anterógrada
α : coeficiente de atenção	0,35623	0,49882	0,34064	0,36104
β : coeficiente de prática/ensaio	0,078721	0,093354	0,079553	0,023912
μ : coeficiente de recuperação	0,00033656	0,00035978	0,00040901	0,0012648
ϱ : coeficiente de repetição	0,21847	0,45768	0,42775	0,16966
τ : coeficiente de esquecimento do registro sensorial	0,39984	0,26584	0,3587	0,35133
τ_{MCP} : coeficiente de esquecimento da MCP	0,53442	0,79498	1,1632	1,1785
τ_{MLP} : coeficiente de esquecimento da MLP	$1,9701 \cdot 10^{-7}$	$1,3344 \cdot 10^{-8}$	$8,8467 \cdot 10^{-6}$	$7,3393 \cdot 10^{-7}$

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

A seguir, expressamos a relação entre maior capacidade de memorização, menor capacidade de memorização e amnésia anterógrada sempre em relação ao modelo de referência.

Tabela 2: Relações: Maior capacidade de memorização, menor capacidade de memorização e amnésia anterógrada

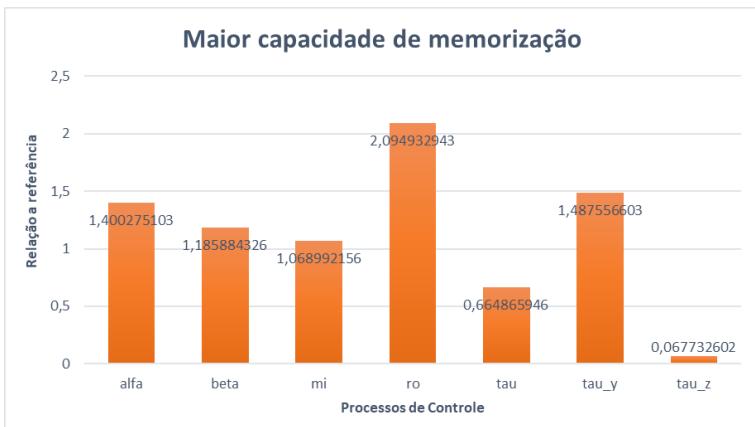
	Relação		
	Maior capacidade de memorização/Ajuste Experimental	Menor capacidade de memorização/Ajuste Experimental	Amnésia anterógrada/Ajuste Experimental
α : coeficiente de atenção	1,400275103	0,95623614	1,013502512
β : coeficiente de prática/ensaio	1,185884326	1,010568971	0,303756304
μ : coeficiente de recuperação	1,068992156	1,215266223	3,758022344

	Relação		
	Maior capacidade de memorização/Ajuste Experimental	Menor capacidade de memorização/Ajuste Experimental	Amnésia anterógrada/Ajuste Experimental
ρ : coeficiente de repetição	2,094932943	1,957934728	0,776582597
τ : coeficiente de esquecimento do registro sensorial	0,664865946	0,897108844	0,878676471
τ_{MCP} : coeficiente de esquecimento da MCP	1,487556603	21765,65248	22051,94416
τ_{MLP} : coeficiente de esquecimento da MLP	0,067732602	44,90482717	3,725343891

Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

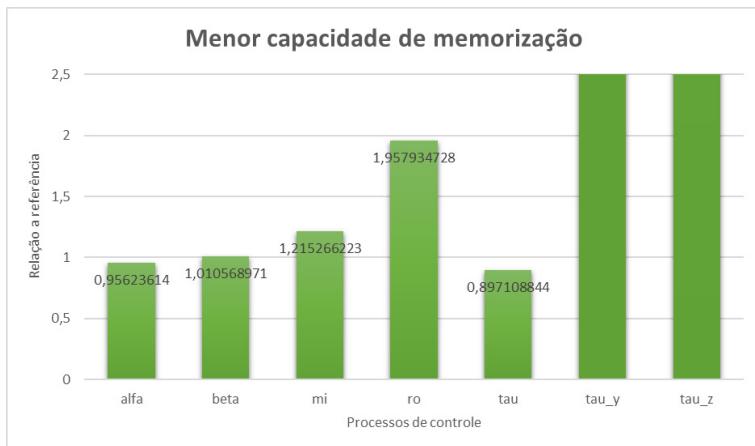
As relações anteriores são expressas nos gráficos, a seguir, construídos com o auxílio do *software* Excel.

Gráfico 11: Relação entre Maior Capacidade de Memorização e Ajuste Experimental



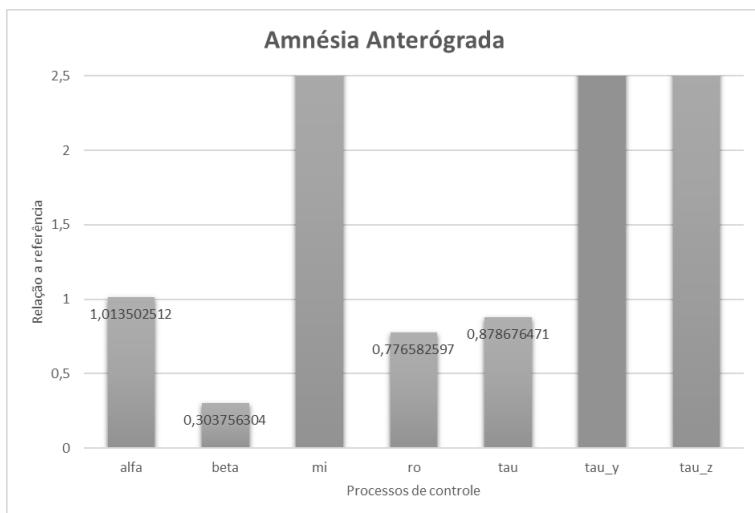
Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Gráfico 12: Relação entre Menor Capacidade de Memorização e Ajuste Experimental



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Gráfico 13: Relação entre Amnésia Anterógrada e Ajuste Experimental

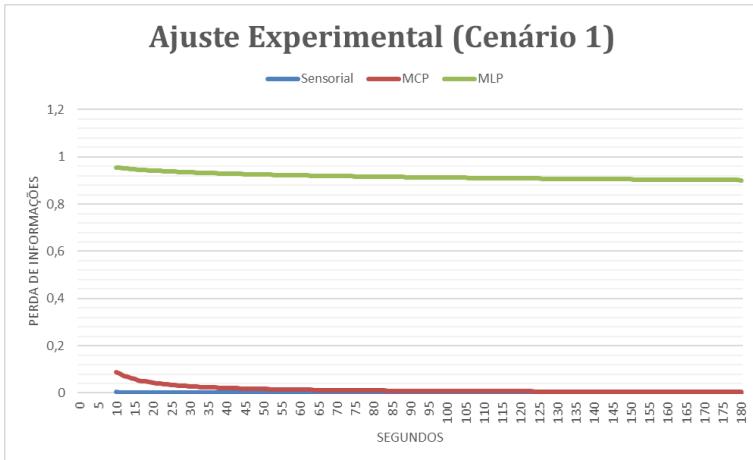


Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Tendo por base as funções de potência que definem as curvas de esquecimento segundo Radvansky *et al.* (2022), elaboramos os gráficos, a seguir, com o auxílio do software Excel, considerando:

1. Curva de esquecimento – Ajuste Experimental (Cenário 1)

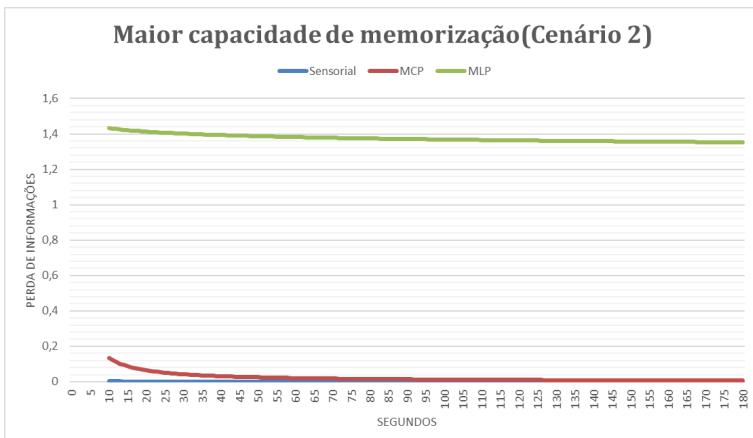
Gráfico 14: Curva de Esquecimento – Ajuste Experimental



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

2. Curva de esquecimento – Maior capacidade de memorização (Cenário 2)

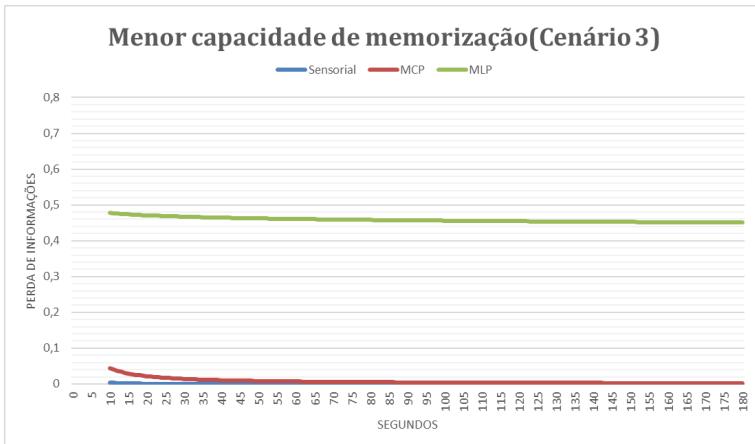
Gráfico 15: Curva de Esquecimento – Maior capacidade de memorização



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

3. Curva de esquecimento – Menor capacidade de memorização (Cenário 3)

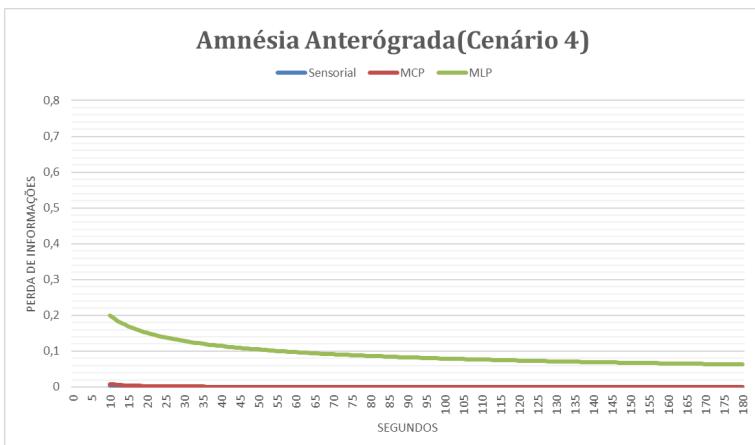
Gráfico 16: Curva de Esquecimento – Menor capacidade de memorização



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

4. Curva de esquecimento – Amnésia Anterógrada (Cenário 4)

Gráfico 17: Curva de Esquecimento – Amnésia Anterógrada



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

As informações apresentadas anteriormente, são discutidas e analisadas, a seguir.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta pesquisa investiga o efeito dos processos de controle na constituição do registro sensório, memória de curto prazo e memória de longo prazo com base em dados hipotéticos.

De maneira a analisar os resultados alcançados com o auxílio do software MATLAB® e Simulink, serão discutidos cada um dos cenários investigados:

Cenário 1: Após estabelecermos os coeficientes iniciais que fazem parte das equações diferenciais e das constantes a e expoentes de captura da taxa de esquecimento das informações aprendidas b e que constituem a função de potência do esquecimento, foram encontrados os dados de referência para o primeiro cenário, o qual foi atribuído a denominação de Ajuste Experimental.

Tendo por base os dados obtidos no Cenário 1, foram considerados novos valores para a constante a da função de potência, sendo o valor mantido igual a 1 para a memória sensorial e elevados para o valor de 1,5 para as memórias de curto e longo prazo, caracterizando o Cenário 2. Com esse novo ajuste pôde ser percebido um aumento em relação aos coeficientes de atenção (α), ensaio (β), recuperação (μ), e um expressivo aumento do coeficiente de repetição (η). Quanto aos coeficientes do esquecimento, houve um decréscimo do coeficiente de esquecimento do registro sensório (τ), um aumento do coeficiente de esquecimento da memória de curto prazo (τ_y) e redução do coeficiente de esquecimento da memória de longo prazo (τ_z). Dessa maneira, observamos que os coeficientes de atenção, ensaio, recuperação e, em grande parte, o de repetição influenciam a memória de curto prazo, mas sobretudo a memória de longo prazo, provendo maior capacidade de memorização.

Em resumo, à respeito do Cenário 2, é possível observar que os processos de controle como atenção, ensaio, recuperação atuam ativamente no baixo índice de perdas de informação a longo prazo e que o processo de controle de repetição se faz imprescindível, sendo fator preponderante para reduzir tais perdas.

Para estabelecer o Cenário 3, novos valores foram considerados para as constantes α da função de potência para a memória de curto prazo e longo prazo, sendo ambos reduzidos para o valor de 0,5. O valor da constante do registro sensório foi mantido em 1. Após simulação observou-se que a redução dessas constantes proveu também uma redução em quase todas os coeficientes, mostrando sua relação direta com os coeficientes de esquecimento. Mostrou-se que houve menor esquecimento quanto ao registro sensório e memória de curto prazo, porém um valor bastante elevado de esquecimento da memória de longo prazo, provendo, portanto, uma menor capacidade de memorização. A simulação deste cenário destaca, assim como o cenário anterior, a influência da atenção e do ensaio na constituição da memória de curto e longo prazo.

Nesse sentido, no Cenário 3 foi observado que houve redução do coeficiente de atenção em relação ao valor de referência, fato este que pode ter acarretado o elevado índice de perda da memória de curto prazo, impactando fortemente na perda de informações da memória de longo prazo.

E, por fim, no Cenário 4 são apresentados os dados hipotéticos de maneiras a retratar a influência dos coeficientes dos processos de memória em pacientes com amnésia anterógrada.

A amnésia anterógrada se refere ao tipo de amnésia sofrida pelo paciente H.M. apresentado neste trabalho. Como exposto, o paciente H.M. tinha um profundo comprometimento da memória recente, de curto prazo, o que não permitia que ele armazenasse conhecimento. No entanto, sua memória de longo prazo era preservada o que permitia que ele tivesse recordações de sua infância e não apresentasse perda aparente de qualquer outra atividade intelectual.

Para elaboração do Cenário 4, foram mantidos os valores para as constantes da função de potência em relação ao cenário anterior, no entanto, foram alterados os valores dos expoentes desta mesma função para as memórias de curto prazo e longo prazo, sendo eles: $e=-1,8$ e $e=-0,4$. Foi observado um papel importante do processo de controle atenção e sobretudo da recuperação da informação. No entanto, houve um fator muito elevado para a perda de informações da memória de curto prazo (que no gráfico ultrapassa o limite da escala estabelecida). Este resultado evidencia que a perda de informação da memória de curto prazo impacta a perda de informação da memória de longo prazo, e que os valores estabelecidos podem ser um referencial para aprofundamento dos estudos sobre amnésia anterógrada.

Conforme apontado por Atkinson e Shiffrin (1968) é bastante difícil estimar a taxa de decaimento das informações no armazenamento de curto prazo, sendo ela diretamente influenciada e controlada pelo indivíduo.

Um ponto importante a ser destacado é quanto ao tempo de decaimento da memória de curto prazo que, conforme citam Atkinson e Shiffrin (1968) começa a cair entre 15 e 30 segundos, caso a informação não seja trabalhada corretamente.

Considerado como um dos principais processo de controle, a atenção se relaciona com a transferência de parte da informação da modalidade sensorial para o armazenamento de curto prazo, contudo, a memória de curto prazo decai rapidamente e, dessa maneira, outros processos de controle devem atuar para trazer informações da memória de longo prazo ou reforçar as existentes na memória de curto prazo. Nesse sentido, a recuperação e o ensaio atuam para minimizar essas perdas. Atkinson e Shiffrin (1968) defendem que esse decaimento depende de uma série de fatores relacionados ao indivíduo.

Outro processo de controle importante no prolongamento da duração da informação na memória de curto prazo é a repetição.

Em nossa análise, foi possível evidenciar que há uma estrita relação entre a memória de curto prazo e de longo prazo. No entanto, ainda há dúvidas quanto ao registro sensório que merece maior e mais profunda investigação.

Também apontamos como ponto de consonância com a pesquisa de Baddeley e Hitch (1974) que a memória de curto prazo ou memória de trabalho tem papel ativo na construção da aprendizagem, não se limitando a mero armazenador temporário de informações.

O modelo descrito por Baddeley e Hitch (1974) descreve a atenção como ponto focal do componente executivo central. Pelo fato, de considerarmos que a memória de curto prazo e de longo prazo se relacionam de maneira estrita, consideramos que o componente retentor episódico descrito em seu modelo e que é responsável pelo armazenamento temporário e limitado de informações dialoga constantemente com a memória de longo prazo episódica. Nesse sentido, reafirmamos sobre a importância do modelo exposto pelos autores.

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 atuamativamente 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. Para os autores, a ciência da memória deve ser preditiva, ou seja, é possível prever, em média, quanto tempo vários tipos de memória durarão antes que elas sejam perdidas. Outro ponto de consonância a ser destacado em relação às ideias de Radvansky *et al.* (2022) é que os traços de memória podem ser esquecidos em uma escala exponencial e que a média desses mesmos traços pode ser ajustada por uma função de potência que melhor representa o padrão de esquecimento como a apresentada no trabalho dos autores e que foi objeto de investigação desta pesquisa. Assim, pudemos observar que diferentes tipos de memória operam em diferentes períodos e que os padrões não são estáveis e contínuos e sempre negativamente acelerados como preconizava Ebbinghaus (1885).

Quanto ao uso da ferramenta computacional MATLAB® e Simulink é possível afirmar que ambos tiveram papel fundamental na investigação dos cenários, provendo rapidez e eficácia na análise dos dados. Assim, na simulação dos cenários foi possível identificar a variação entre os elementos que constituem as equações diferenciais e que representam os processos de controle, assim como a influência desses elementos na constituição do registro sensorial, na memória de curto prazo e na memória de longo prazo. O uso da ferramenta computacional MATLAB® também nos possibilitou trabalhar com as funções de potência que descrevem os níveis de esquecimento das memórias.

Um dos pontos a ser destacado é quanto aos estados de equilíbrio encontrados de maneira uniforme e assintoticamente estável após a imposição de condições e valores dos parâmetros dos modelos matemáticos apresentados. A representação gráfica promovida pelo *software* possibilitou a visualização dos resultados, trazendo melhores condições de análise e um processo bastante dinâmico.

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).

Para identificar como os processos de controle agem na constituição das memórias nos pautamos nos modelos matemáticos descritos por equações diferenciais e que foram apresentados em Samuel *et al.* (2015) que retratam a relação entre os diferentes processos de controle da memória (atenção, repetição, ensaio, recuperação e esquecimento) considerados como parâmetros e as memórias consideradas como as variáveis. As funções de potência descritas em Radvansky *et al.* (2022) que descrevem os modelos de retenção e esquecimento também se constituíram em modelos matemáticos a serem confirmados e analisados nesta pesquisa.

Dessa maneira, foi possível verificar que os modelos matemáticos trabalhados neste trabalho 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.

Para realizar esta investigação, contamos com o auxílio da ferramenta computacional MATLAB® e Simulink que nos proveram agilidade e segurança na análise dos dados. Outro fator importante a ser destacado se refere a sua interface gráfica que pode expressar as relações entre os

parâmetros estudados e o impacto desses parâmetros na constituição do registro sensório, na memória de curto prazo e na memória de longo prazo tornando, portanto, a análise bastante dinâmica.

Dessa maneira, as ferramentas computacionais MATLAB® e Simulink possibilitaram encontrar relações entre os diferentes tipos de memória e determinar como seus elementos constituintes interagem entre si.

Ressaltamos que este trabalho nos possibilitou ter um primeiro contato com os modelos matemáticos apresentados, assim como conhecer as teorias norteadoras de nossa análise que são as de Atkinson e Shiffrin (1968) e Baddeley e Hitch (1974).

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.

Além disso, também tivemos contato com pesquisas que evidenciaram o papel de regiões do cérebro humano na constituição da memória e como determinadas lesões podem afetá-las. Foi o caso da pesquisa realizada com o paciente H.M. que nos mostrou um profundo comprometimento da memória recente, porém sem perda aparente de qualquer outra atividade intelectual. Afirmamos que a atenção se constitui em fator primordial para a construção da memória de curto prazo e de longo prazo da amnésia anterógrada, no entanto, ainda há muito a se discutir a respeito dos demais componentes dos processos de controle.

Apesar de ser o princípio de uma pesquisa, vislumbramos diferentes possibilidades futuras de investigação que se fazem necessárias como o estudo de doenças neuropsiquiátricas, de fármacos e de déficits cognitivos e de aprendizagem. Também é possível citar a importância do estudo de novos 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.sitchehost.iu.edu/FestschriftForRichShiffrin/pubs/1968%20Human%20Memory.%20Atkinson,%20Shiffrin.pdf>. Acesso em: 08 maio 2022.
- BADDELEY, A. Working Memory: Theories, Models, and Controversies. **Annu. Rev. Psychol.** 2012;63: 1-29. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/epdf/10.1146/annurev-psych-120710-100422>. Acesso em: 08 maio 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 maio 2022.
- BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática:** uma nova estratégia. 4^a. Edição. São Paulo: Editora Contexto, 2014. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/35252/epub/0?code=saaPoQ9M1DBGhG2qyAZRqr/410NXG4dTKzuZkkPXNxYcbzSVkKdh0P2oEmxcNGjXQwgHaRytXF94F5jtFEIHrQ==>. Acesso em: 08 maio 2022.
- BAPTISTA, M. N.; CAMPOS, D. C. **Metodologias de Pesquisa em Ciências – Análise Quantitativa e Qualitativa.** São Paulo: LTC, 2016.
- BOYCE, W. E., DIPRIMA, R. C. **Equações diferenciais e problemas de valores de contorno.** Tradução e revisão técnica Valéria de Magalhães Iorio – 10^a. Edição – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- PERGHE, G. K. e STEIN, L. M. Compreendendo o esquecimento: teorias clássicas e seus fundamentos experimentais. **Psicologia USP.** V14 (1). 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pusp/a/vpcfd6StvHKKPBzkLPBq4GG/?lang=pt#>. Acesso em: 14 maio 2022.
- III, William J. P. Introdução ao MATLAB para Engenheiros. Disponível em: Minha Biblioteca, (3rd edição). Grupo A, 2014.
- GILAT, A. **MATLAB com aplicações em engenharia/**Tradução: Rafael Silva Alípio; revisão técnica: Antonio Pertence Júnior – 4^a. Edição – Porto Alegre: Bookman, 2012.
- MALMBERG, K. J., RAAIJIMAKERS, J. G. W., e SHIFFRIN, R. M. (2019). 50 years of research sparked by Atkinson and Shiffrin (1968). **Memory & Cognition,** 47(4), 561–574. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3758/s13421-019-00896-7>. Acesso em: 05 maio 2022.
- MARCONI, M. de, A.; LAKATOS, E. M. Metodologia Científica. Disponível em: Minha Biblioteca, (8th edição). Grupo GEN, 2022. Signo. Santa Cruz do Sul, v. 43, n. 77, p. 115-124, maio/ago. 2018.
- MASCARELLO, Lidiomar José. A memória de trabalho e seu papel na aprendizagem, em especial, da leitura. **Signo.** Santa Cruz do Sul, v. 43, n. 77, p. 115-124, maio/ago. 2018. Disponível em: online.unisc.br/seer/index. Acesso em: 17 abr. 2022.

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. Acesso em: 07 maio 2002.

MONTEIRO, L. H. A. **Sistemas Dinâmicos**. 3^a. Edição. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

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 maio 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. Acesso em: 08 de maio de 2022.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2016.

STEWART, J. **Cálculo, volume 2**. Tradução EZ2 Translate. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

ZILL, D.G, CULLEN M. R. **Equações Diferenciais**, volume 1. Tradução Antonio Zumpano e revisão técnica Antonio Pertence Jr. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

ANEXOS

Simulações para Curva de Esquecimento: durante 180 segundos, iniciando no tempo 10 segundos.

segundos	Cenário 1 (ajuste experimental)				Cenário 2 (maior capacidade de memorização)				Cenário 3 (menor capacidade de memorização)				Cenário 4 (amnésia anterógrada)	
	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	MCP	MLP
10	0,003548134	0,089125094	0,954992586	0,003548134	0,133687641	1,432488879	0,003548134	0,04462547	0,477496293	0,003548134	0,007924466	0,199053585		
11	0,002809234	0,080637616	0,95317391	0,002809234	0,120956424	1,429760864	0,002809234	0,040318808	0,476586955	0,002809234	0,006675183	0,191607688		
12	0,002269896	0,07356029	0,951516613	0,002269896	0,110395393	1,427274919	0,002269896	0,036798464	0,475756306	0,002269896	0,005707472	0,185053586		
13	0,001865687	0,067664282	0,949994592	0,001865687	0,101496424	1,424991888	0,001865687	0,035832141	0,474997296	0,001865687	0,00494165	0,179222555		
14	0,001555917	0,062598736	0,948587591	0,001555917	0,093898104	1,422881387	0,001555917	0,031293668	0,474203796	0,001555917	0,004324536	0,173987797		
15	0,001313943	0,058224287	0,947279578	0,001313943	0,08733643	1,420919368	0,001313943	0,029112143	0,473639789	0,001313943	0,003819493	0,169251188		
16	0,001121776	0,05449941	0,946057647	0,001121776	0,081614115	1,41908647	0,001121776	0,027204705	0,473028823	0,001121776	0,003400588	0,164938489		
17	0,000966941	0,051053866	0,944911254	0,000966941	0,076586799	1,417366881	0,000966941	0,025526933	0,472455627	0,000966941	0,003049032	0,160986862		
18	0,000840586	0,04879935	0,943831679	0,000840586	0,072119912	1,415747518	0,000840586	0,024039967	0,471915839	0,000840586	0,00275093	0,1573474919		
19	0,000736298	0,045426442	0,942811623	0,000736298	0,068139662	1,414217435	0,000736298	0,022713221	0,471405812	0,000736298	0,002495822	0,153981506		
20	0,000649347	0,043044583	0,941844921	0,000649347	0,064566874	1,412767381	0,000649347	0,021522291	0,47092246	0,000649347	0,002275705	0,150854408		
21	0,000576186	0,040894956	0,940926314	0,000576186	0,061342435	1,411389471	0,000576186	0,020447478	0,470463157	0,000576186	0,002084372	0,147938866		
22	0,00051412	0,038945401	0,940051283	0,00051412	0,058481802	1,410076924	0,00051412	0,019472701	0,470025641	0,00051412	0,001916943	0,145211473		
23	0,00046107	0,037169419	0,939215915	0,00046107	0,055754128	1,408823873	0,00046107	0,018584709	0,463607958	0,00046107	0,001769538	0,14265233		
24	0,000415415	0,035544974	0,938415882	0,000415415	0,05331746	1,407625203	0,000415415	0,017772487	0,46208401	0,000415415	0,00163941	0,149244333		
25	0,000375878	0,034053397	0,937650954	0,000375878	0,0501080395	1,4046746431	0,000375878	0,017026798	0,466823477	0,000375878	0,001522923	0,137972966		

Cenário 1 (ajuste experimental)							Cenário 2 (maior capacidade de memorização)							Cenário 3 (menor capacidade de memorização)							Cenário 4 (amnésia anterógrada)						
segundos	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP			
26	0,000341441	0,032679694	0,936915736	0,000341441	0,049019541	1,405373603	0,000341441	0,016339847	0,468457868	0,000341441	0,01419116	0,135825298															
27	0,000311285	0,031410008	0,936208812	0,000311285	0,047115012	1,404313218	0,000311285	0,01570504	0,468104406	0,000311285	0,01325914	0,13379026															
28	0,000284749	0,030233197	0,935528106	0,000284749	0,043292159	1,403292159	0,000284749	0,015116598	0,467764053	0,000284749	0,01241897	0,13185803															
29	0,000261291	0,0291395	0,934871758	0,000261291	0,043709251	1,402307637	0,000261291	0,01456975	0,467458779	0,000261291	0,01165879	0,13020193															
30	0,000240466	0,028120477	0,934238101	0,000240466	0,042180715	1,401357151	0,000240466	0,014060238	0,46711905	0,000240466	0,01096861	0,128268939															
31	0,000221903	0,027168785	0,93362531	0,000221903	0,040753178	1,400438447	0,000221903	0,013558493	0,466812816	0,000221903	0,01033996	0,126597538															
32	0,000205297	0,026278013	0,933033992	0,000205297	0,03947019	1,399549487	0,000205297	0,013139006	0,466516496	0,000205297	0,00976563	0,125															
33	0,000190389	0,025442234	0,932458949	0,000190389	0,038163801	1,398688423	0,000190389	0,012721267	0,466229474	0,000190389	0,00923942	0,123470847															
34	0,000176961	0,024657392	0,931902382	0,000176961	0,036984088	1,397853572	0,000176961	0,012328696	0,465951191	0,000176961	0,00875644	0,122005227															
35	0,000164829	0,023918203	0,931362267	0,000164829	0,035877305	1,397043401	0,000164829	0,011959102	0,465681134	0,000164829	0,00831089	0,12059845															
36	0,000153836	0,023221078	0,930837669	0,000153836	0,034831617	1,396256504	0,000153836	0,011610539	0,465418835	0,000153836	0,0078997	0,119247423															
37	0,000143849	0,02256255	0,930327729	0,000143849	0,033843826	1,395491593	0,000143849	0,011281275	0,465163864	0,000143849	0,000751981	0,117947636															
38	0,00013475	0,021939525	0,929831657	0,00013475	0,032909288	1,394747486	0,00013475	0,010969763	0,464915829	0,00013475	0,000716737	0,11669616															
39	0,000126442	0,021349227	0,929348726	0,000126442	0,032023841	1,394023089	0,000126442	0,010674614	0,464674363	0,000126442	0,00683906	0,115489942															
40	0,000118837	0,020789163	0,928878264	0,000118837	0,031183745	1,393317395	0,000118837	0,010394582	0,464439132	0,000118837	0,000635325	0,114326263															
41	0,000111861	0,020257085	0,928419648	0,000111861	0,030384628	1,392629472	0,000111861	0,010128543	0,464209824	0,000111861	0,00625114	0,113202616															
42	0,000105448	0,019750962	0,927972303	0,000105448	0,029626442	1,391958455	0,000105448	0,009875481	0,463986152	0,000105448	0,00598579	0,112116695															
43	9,95411E-05	0,019268953	0,927535693	9,95411E-05	0,02890343	1,391303539	9,95411E-05	0,009634477	0,463767846	9,95411E-05	0,000573755	0,111066381															
44	9,40893E-05	0,018809389	0,927106319	9,40893E-05	0,028214084	1,3906663078	9,40893E-05	0,009404695	0,463554659	9,40893E-05	0,0005550497	0,110049778															
45	8,90491E-05	0,018370749	0,926692717	8,90491E-05	0,027556123	1,390039075	8,90491E-05	0,009185374	0,463346358	8,90491E-05	0,000528673	0,1090644898															

Cenário 1 (ajuste experimental)							Cenário 2 (maior capacidade de memorização)							Cenário 3 (menor capacidade de memorização)							Cenário 4 (amnésia anterógrada)						
segundos	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP						
46	8.43807E-05	0.017051646	0.926283452	8.438071E-05	0.026927469	1.389428179	8.43807E-05	0.008975823	0.463142726	8.43807E-05	0.000508166	0.10811025															
47	8.004498E-05	0.01750813	0.92588712	8.004498E-05	0.02632622	1.388830681	8.004498E-05	0.008775407	0.46294356	8.004498E-05	0.000488871	0.107184222															
48	7.60254E-05	0.017167091	0.925497341	7.60254E-05	0.02575636	1.388246011	7.60254E-05	0.00885545	0.46274867	7.60254E-05	0.000470691	0.106285375															
49	7.22802E-05	0.016799413	0.925115758	7.22802E-05	0.02519912	1.387673636	7.22802E-05	0.00839707	0.462557879	7.22802E-05	0.000453542	0.105412369															
50	6.87897E-05	0.016446803	0.924742036	6.87897E-05	0.024670205	1.387113054	6.87897E-05	0.008223402	0.462371018	6.87897E-05	0.000437345	0.104563935															
51	6.55319E-05	0.01610836	0.924375862	6.55319E-05	0.024162539	1.386563793	6.55319E-05	0.00805418	0.462187931	6.55319E-05	0.000422043	0.103738971															
52	6.24873E-05	0.015753252	0.92401694	6.24873E-05	0.023674878	1.38602541	6.24873E-05	0.007891626	0.46200847	6.24873E-05	0.000407534	0.102936327															
53	5.96381E-05	0.015470713	0.92366499	5.96381E-05	0.02320607	1.385497485	5.96381E-05	0.007735357	0.461832495	5.96381E-05	0.000393798	0.102155007															
54	5.69686E-05	0.015170034	0.923319749	5.69686E-05	0.022755051	1.384979623	5.69686E-05	0.007585017	0.461659874	5.69686E-05	0.000380769	0.101394057															
55	5.44642E-05	0.014880557	0.922980969	5.44642E-05	0.022320835	1.384471453	5.44642E-05	0.007442178	0.461490484	5.44642E-05	0.000368398	0.100652584															
56	5.21122E-05	0.014661671	0.922648414	5.21122E-05	0.021902507	1.3839772621	5.21122E-05	0.007300836	0.461324207	5.21122E-05	0.000356441	0.0999227948															
57	4.99007E-05	0.014332812	0.922321862	4.99007E-05	0.021499218	1.3833482793	4.99007E-05	0.007166406	0.461160931	4.99007E-05	0.000345438	0.0999224761															
58	4.78191E-05	0.014073451	0.922001102	4.78191E-05	0.021110177	1.3833001553	4.78191E-05	0.007036726	0.461000551	4.78191E-05	0.000334811	0.098853688															
59	4.58577E-05	0.013823098	0.921685934	4.58577E-05	0.020734647	1.382589001	4.58577E-05	0.006911549	0.460842967	4.58577E-05	0.000324666	0.097865405															
60	4.40078E-05	0.013581295	0.921376169	4.40078E-05	0.020371943	1.382064253	4.40078E-05	0.006790648	0.460688084	4.40078E-05	0.000314991	0.097209678															
61	4.22612E-05	0.013347615	0.92107625	4.22612E-05	0.020021423	1.381607437	4.22612E-05	0.006673808	0.460555812	4.22612E-05	0.000305757	0.096569075															
62	4.06107E-05	0.013121658	0.920772131	4.06107E-05	0.019682488	1.381158197	4.06107E-05	0.006560829	0.460386066	4.06107E-05	0.000296937	0.095943008															
63	3.90495E-05	0.012903051	0.920477525	3.90495E-05	0.019354577	1.380716288	3.90495E-05	0.006451526	0.460238763	3.90495E-05	0.000288507	0.09533092															
64	3.75715E-05	0.012691444	0.920187651	3.75715E-05	0.019037166	1.380281476	3.75715E-05	0.006345722	0.46003825	3.75715E-05	0.000280444	0.094732285															
65	3.61711E-05	0.012486507	0.91990236	3.61711E-05	0.018729761	1.379853539	3.61711E-05	0.006243254	0.45995118	3.61711E-05	0.000272726	0.094146605															

Cenário 1 (ajuste experimental)							Cenário 2 (maior capacidade de memorização)							Cenário 3 (menor capacidade de memorização)							Cenário 4 (amnésia anterógrada)						
segundos	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP						
66	3,48431E-05	0,012287934	0,919621511	3,484311E-05	0,018431901	1,379432266	3,484311E-05	0,006143967	0,459810755	3,484311E-05	0,000265333	0,093573404															
67	3,356281E-05	0,012095434	0,919344969	3,356281E-05	0,018143151	1,379017454	3,356281E-05	0,006047717	0,459672485	3,356281E-05	0,000255247	0,093012236															
68	3,238571E-05	0,011908735	0,919072606	3,238571E-05	0,017863103	1,378608909	3,238571E-05	0,005954368	0,459536303	3,238571E-05	0,000251451	0,092462672															
69	3,124781E-05	0,011727581	0,918894298	3,124781E-05	0,017591372	1,378206447	3,124781E-05	0,005863791	0,459402149	3,124781E-05	0,00024493	0,091924308															
70	3,016541E-05	0,011551731	0,918539928	3,016541E-05	0,017327596	1,377809891	3,016541E-05	0,005758665	0,459269964	3,016541E-05	0,000238668	0,091396757															
71	2,913511E-05	0,011380956	0,918273981	2,913511E-05	0,017071434	1,377419072	2,913511E-05	0,005690478	0,459139691	2,913511E-05	0,000232651	0,090879654															
72	2,815371E-05	0,011215041	0,918022552	2,815371E-05	0,016822562	1,377033828	2,815371E-05	0,005607521	0,459011276	2,815371E-05	0,000226867	0,090372648															
73	2,721821E-05	0,011053785	0,917769335	2,721821E-05	0,016580677	1,376654003	2,721821E-05	0,005526892	0,458884668	2,721821E-05	0,000221304	0,089875405															
74	2,632581E-05	0,010896994	0,917519632	2,632581E-05	0,016324549	1,376279448	2,632581E-05	0,005448497	0,458759816	2,632581E-05	0,000215925	0,089387608															
75	2,547421E-05	0,010744887	0,917273347	2,547421E-05	0,01616173	1,375910021	2,547421E-05	0,005372243	0,45863674	2,547421E-05	0,000210795	0,088908934															
76	2,466081E-05	0,010560992	0,91703039	2,466081E-05	0,015894138	1,37554585	2,466081E-05	0,005298046	0,458515195	2,466081E-05	0,000205829	0,088439152															
77	2,3883511E-05	0,010451647	0,916790671	2,3883511E-05	0,015677471	1,375186007	2,3883511E-05	0,005225824	0,458395336	2,3883511E-05	0,000201042	0,087977925															
78	2,314031E-05	0,010310997	0,916554107	2,314031E-05	0,015466496	1,3754831161	2,314031E-05	0,005155499	0,458277054	2,314031E-05	0,0001926426	0,087525099															
79	2,242921E-05	0,010173996	0,916320617	2,242921E-05	0,015260994	1,374480925	2,242921E-05	0,005086998	0,458160308	2,242921E-05	0,000191973	0,087080105															
80	2,174831E-05	0,010040504	0,916090122	2,174831E-05	0,015060756	1,374135183	2,174831E-05	0,005020252	0,458045061	2,174831E-05	0,000187676	0,086643105															
81	2,109661E-05	0,00991039	0,915862547	2,109661E-05	0,014865584	1,373193821	2,109661E-05	0,004955195	0,45793124	2,109661E-05	0,000183526	0,086213643															
82	2,047181E-05	0,009783527	0,915637821	2,047181E-05	0,014675291	1,373456731	2,047181E-05	0,004891764	0,45781891	2,047181E-05	0,000179517	0,08579154															
83	1,987281E-05	0,009663979	0,915415872	1,987281E-05	0,014489696	1,373123808	1,987281E-05	0,004829899	0,457707936	1,987281E-05	0,000175642	0,085376583															
84	1,929821E-05	0,009539086	0,915196634	1,929821E-05	0,014308629	1,372979451	1,929821E-05	0,004760543	0,457598317	1,929821E-05	0,000171897	0,084968566															
85	1,874661E-05	0,009421285	0,914980043	1,874661E-05	0,014131927	1,372470064	1,874661E-05	0,004710642	0,457490021	1,874661E-05	0,000168274	0,084567294															

Cenário 1 (ajuste experimental)							Cenário 2 (maior capacidade de memorização)							Cenário 3 (menor capacidade de memorização)							Cenário 4 (amnésia anterógrada)						
segundos	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP						
86	1,82171E-05	0,009366291	0,914766035	1,821711E-05	0,013959436	1,372149052	1,821711E-05	0,004653145	0,457383017	1,821711E-05	0,000164768	0,084172577															
87	1,77083E-05	0,009194006	0,91455455	1,770831E-05	0,013791009	1,371831826	1,770831E-05	0,004597003	0,457277275	1,770831E-05	0,000161375	0,083784244															
88	1,72194E-05	0,009084336	0,914345531	1,72194E-05	0,013626054	1,371518297	1,72194E-05	0,004542168	0,457172766	1,72194E-05	0,000158089	0,08340209															
89	1,67492E-05	0,008977192	0,91413892	1,67492E-05	0,01346787	1,371208381	1,67492E-05	0,004488596	0,45706946	1,67492E-05	0,000154906	0,083025978															
90	1,62969E-05	0,008872487	0,913934664	1,62969E-05	0,01330873	1,370901096	1,62969E-05	0,004436243	0,456967332	1,62969E-05	0,000151822	0,082655737															
91	1,58617E-05	0,00877014	0,91373271	1,58617E-05	0,01315521	1,370595065	1,58617E-05	0,00438507	0,456866355	1,58617E-05	0,000148832	0,08229121															
92	1,54426E-05	0,008670074	0,913533007	1,54426E-05	0,01300511	1,37029951	1,54426E-05	0,004335037	0,456766503	1,54426E-05	0,000145932	0,081932248															
93	1,50389E-05	0,008572212	0,913333506	1,50389E-05	0,012858318	1,370003258	1,50389E-05	0,004286106	0,456667753	1,50389E-05	0,00014312	0,081578708															
94	1,46451E-05	0,008476844	0,913140159	1,46451E-05	0,012714726	1,369710238	1,46451E-05	0,004238242	0,456570079	1,46451E-05	0,000140391	0,081230451															
95	1,42751E-05	0,008382821	0,91294692	1,42751E-05	0,0125474232	1,36942038	1,42751E-05	0,004194141	0,45647346	1,42751E-05	0,000137742	0,080887342															
96	1,39135E-05	0,008291158	0,912757545	1,39135E-05	0,012436737	1,369133618	1,39135E-05	0,004145579	0,456377873	1,39135E-05	0,00013517	0,080549252															
97	1,35647E-05	0,008201432	0,912566591	1,35647E-05	0,012302148	1,368849887	1,35647E-05	0,004100716	0,456283296	1,35647E-05	0,000132672	0,080216057															
98	1,32281E-05	0,008113562	0,912379416	1,32281E-05	0,012170373	1,368569723	1,32281E-05	0,004056791	0,456189708	1,32281E-05	0,000130246	0,079887637															
99	1,29031E-05	0,00802755	0,912194178	1,29031E-05	0,012041326	1,368291267	1,29031E-05	0,004013775	0,456097089	1,29031E-05	0,000127887	0,079563875															
100	1,25893E-05	0,007943282	0,912010839	1,25893E-05	0,011914924	1,368016259	1,25893E-05	0,003971641	0,45600342	1,25893E-05	0,000125594	0,07924466															
101	1,22861E-05	0,00786024	0,911829361	1,22861E-05	0,011791086	1,367744042	1,22861E-05	0,003930362	0,455914681	1,22861E-05	0,000123565	0,07892982															
102	1,1993E-05	0,007779825	0,911649707	1,1993E-05	0,011669737	1,36747456	1,1993E-05	0,003889912	0,455824853	1,1993E-05	0,000121196	0,078619438															
103	1,17098E-05	0,007700535	0,91147184	1,17098E-05	0,011558083	1,36720776	1,17098E-05	0,003850268	0,45573592	1,17098E-05	0,000119087	0,078313226															
104	1,14358E-05	0,007622808	0,911295726	1,14358E-05	0,011434212	1,366943388	1,14358E-05	0,003811404	0,455647863	1,14358E-05	0,000117033	0,078011148															
105	1,11708E-05	0,007546598	0,91112133	1,11708E-05	0,011319898	1,366681995	1,11708E-05	0,003773299	0,455566655	1,11708E-05	0,000115035	0,077713109															

Cenário 1 (ajuste experimental)							Cenário 2 (maior capacidade de memorização)							Cenário 3 (menor capacidade de memorização)							Cenário 4 (amnésia anterógrada)						
segundos	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP						
106	1,09144E-05	0,007471862	0,910948621	1,09144E-05	0,011207793	1,366422931	1,09144E-05	0,003735931	0,45547431	1,09144E-05	0,000113089	0,077419018															
107	1,06662E-05	0,007398557	0,91077756	1,06662E-05	0,011097836	1,36616348	1,06662E-05	0,003699279	0,455388783	1,06662E-05	0,000111193	0,077128786															
108	1,04250E-05	0,007326643	0,910608133	1,04250E-05	0,010989965	1,36591222	1,04250E-05	0,003663322	0,455304067	1,04250E-05	0,000109347	0,076842326															
109	1,01931E-05	0,007256082	0,910440293	1,01931E-05	0,010884123	1,36566444	1,01931E-05	0,003628041	0,455220147	1,01931E-05	0,000107548	0,076559536															
110	9,96754E-06	0,007186335	0,910274017	9,96754E-06	0,010780253	1,365411025	9,96754E-06	0,003593418	0,455137008	9,96754E-06	0,000105795	0,076280394															
111	9,74897E-06	0,007118867	0,91010275	9,74897E-06	0,0106783	1,365163913	9,74897E-06	0,003559433	0,455054638	9,74897E-06	0,000104085	0,076004764															
112	9,53709E-06	0,007052142	0,90994604	9,53709E-06	0,010578214	1,364919061	9,53709E-06	0,003526071	0,45497302	9,53709E-06	0,000102448	0,075732587															
113	9,33164E-06	0,006986628	0,909784286	9,33164E-06	0,010479942	1,364676428	9,33164E-06	0,003493314	0,454892143	9,33164E-06	0,000100793	0,075463732															
114	9,13236E-06	0,006922292	0,909623984	9,13236E-06	0,010384438	1,364435976	9,13236E-06	0,003461146	0,454811992	9,13236E-06	0,000100793	0,075198307															
115	8,93903E-06	0,006859102	0,909465111	8,93903E-06	0,010288653	1,364197666	8,93903E-06	0,003429551	0,454732555	8,93903E-06	0,000100793	0,074936002															
116	8,75141E-06	0,006797029	0,90930764	8,75141E-06	0,010195543	1,363961461	8,75141E-06	0,003398514	0,454655382	8,75141E-06	0,000100793	0,074676991															
117	8,56929E-06	0,006736043	0,909151548	8,56929E-06	0,010104064	1,363727323	8,56929E-06	0,0033568021	0,454575774	8,56929E-06	0,000100793	0,074421027															
118	8,39246E-06	0,006676116	0,908996812	8,39246E-06	0,01004174	1,363495217	8,39246E-06	0,0033338058	0,454478406	8,39246E-06	0,000100793	0,074168108															
119	8,22072E-06	0,006617222	0,908843406	8,22072E-06	0,009922833	1,3626511	8,22072E-06	0,003308611	0,454421703	8,22072E-06	0,000100793	0,073918172															
120	8,05389E-06	0,006559333	0,908691311	8,05389E-06	0,009839	1,363036066	8,05389E-06	0,003279667	0,454345655	8,05389E-06	0,000100793	0,07367116															
121	7,89181E-06	0,006502425	0,908540502	7,89181E-06	0,009753638	1,362810753	7,89181E-06	0,003251213	0,454270251	7,89181E-06	0,000100793	0,073427012															
122	7,73425E-06	0,006446473	0,908590906	7,73425E-06	0,00966971	1,362586439	7,73425E-06	0,003232337	0,45419548	7,73425E-06	0,000100793	0,073185673															
123	7,58111E-06	0,006391453	0,908242662	7,58111E-06	0,00958718	1,362363993	7,58111E-06	0,003195727	0,454121331	7,58111E-06	0,000100793	0,072947088															
124	7,432191E-06	0,006337343	0,908095589	7,432191E-06	0,009506015	1,362143384	7,432191E-06	0,003168672	0,454047795	7,432191E-06	0,000100793	0,072729156															
125	7,287361E-06	0,00628412	0,907949721	7,287361E-06	0,00942618	1,361924582	7,287361E-06	0,00314206	0,453974861	7,287361E-06	0,000100793	0,072477966															

Cenário 1 (ajuste experimental)							Cenário 2 (maior capacidade de memorização)							Cenário 3 (menor capacidade de memorização)							Cenário 4 (amnésia anterógrada)						
segundos	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP	Sensorial	MCP	MLP						
1,26	7,14648E-06	0,006231763	0,907805039	7,14648E-06	0,009347644	1,361707359	7,14648E-06	0,003115881	0,45390252	7,14648E-06	0,2852E-05	0,072247327															
1,27	7,0094E-06	0,006180251	0,907661523	7,0094E-06	0,009270376	1,361492285	7,0094E-06	0,003090125	0,453830762	7,0094E-06	8,16814E-05	0,072019237															
1,28	6,8761E-06	0,006129563	0,907519155	6,8761E-06	0,009194345	1,361278733	6,8761E-06	0,003064782	0,453759578	6,8761E-06	8,05364E-05	0,071793647															
1,29	6,74614E-06	0,006179681	0,907377917	6,74614E-06	0,009119522	1,361166876	6,74614E-06	0,003039841	0,453689595	6,74614E-06	7,94161E-05	0,071570511															
1,30	6,61971E-06	0,006030586	0,907237792	6,61971E-06	0,009045878	1,360856688	6,61971E-06	0,003015293	0,453618896	6,61971E-06	7,8319915E-05	0,071349784															
1,31	6,49650E-06	0,005982258	0,907098762	6,49650E-06	0,008973387	1,360648143	6,49650E-06	0,002991129	0,453549381	6,49650E-06	7,7247E-05	0,071131421															
1,32	6,37667E-06	0,005934681	0,906960881	6,37667E-06	0,008920221	1,360441215	6,37667E-06	0,00296734	0,453480405	6,37667E-06	7,6196815E-05	0,07091538															
1,33	6,25984E-06	0,005887837	0,90682392	6,25984E-06	0,008831755	1,36023588	6,25984E-06	0,002943918	0,453441196	6,25984E-06	7,516871E-05	0,070701617															
1,34	6,14601E-06	0,00584171	0,906638075	6,14601E-06	0,008762564	1,360032113	6,14601E-06	0,002920855	0,453344038	6,14601E-06	7,4162E-05	0,070490033															
1,35	6,03507E-06	0,005796282	0,906533261	6,03507E-06	0,008694424	1,35929892	6,03507E-06	0,002898141	0,453276631	6,03507E-06	7,31761E-05	0,070280788															
1,36	5,92693E-06	0,00575154	0,906419462	5,92693E-06	0,008627371	1,359629193	5,92693E-06	0,002875777	0,453209731	5,92693E-06	7,22104E-05	0,07073602															
1,37	5,8215E-06	0,005707467	0,906286662	5,8215E-06	0,0085612	1,359429994	5,8215E-06	0,002853733	0,453143331	5,8215E-06	7,126451E-05	0,069868538															
1,38	5,71865E-06	0,005664448	0,906154848	5,71865E-06	0,008496073	1,359232272	5,71865E-06	0,002832024	0,453077424	5,71865E-06	7,0337615E-05	0,069665538															
1,39	5,61841E-06	0,00562127	0,906024004	5,61841E-06	0,008431905	1,359036006	5,61841E-06	0,002810635	0,453012002	5,61841E-06	6,94294E-05	0,069464687															
1,40	5,5206E-06	0,005579118	0,9058944117	5,5206E-06	0,008368677	1,358844175	5,5206E-06	0,002789559	0,452947058	5,5206E-06	6,853931E-05	0,06926579															
1,41	5,42517E-06	0,005537579	0,905765173	5,42517E-06	0,008303668	1,358647759	5,42517E-06	0,002768789	0,452882586	5,42517E-06	6,7666815E-05	0,069168871															
1,42	5,33204E-06	0,005496639	0,905637158	5,33204E-06	0,008244959	1,358455737	5,33204E-06	0,00274832	0,452818579	5,33204E-06	6,68115E-05	0,068873899															
1,43	5,24115E-06	0,005456286	0,905510059	5,24115E-06	0,00818443	1,358265089	5,24115E-06	0,002728143	0,45275503	5,24115E-06	6,5972815E-05	0,068680839															
1,44	5,152431E-06	0,005416508	0,90538864	5,152431E-06	0,008124762	1,358075796	5,152431E-06	0,002708254	0,452691932	5,152431E-06	6,515051E-05	0,06848966															
1,45	5,0658E-06	0,005377292	0,90525856	5,0658E-06	0,008065938	1,357887839	5,0658E-06	0,002688646	0,45262928	5,0658E-06	6,434391E-05	0,06830033															

SOBRE OS AUTORES

JOELMA IAMAC NOMURA

É Bacharel em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (1998) e Bacharel em Matemática pela Universidade do Sul de Santa Catarina (2024). Mestre e Doutora em Educação Matemática pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (2008 e 2014). O foco de sua pesquisa e de seu trabalho está no estudo dos aspectos interdisciplinares que se estabelecem entre os objetos matemáticos, as diferentes disciplinas e suas graduações e as atuações profissionais dos estudantes. Atualmente, é Pesquisadora Doutora do Centro de Matemática, Computação e Cognição (CMCC) vinculado a Universidade Federal do ABC. Atua como docente, pesquisadora e consultora em Educação de instituições públicas e privadas brasileiras, sendo responsável pela publicação de livros relacionados às áreas de Matemática, Licenciaturas e Engenharias. Parecerista técnico-científica, autora e revisora de conteúdos acadêmicos e de artigos científicos.

Tem interesse na área de Matemática; Licenciatura em Matemática; Engenharias; Neurociência Cognitiva e Educação Matemática.

KELSER DE SOUZA KOCK

É Bacharel em Fisioterapia pela Universidade do Estado de Santa Catarina (2001), Licenciado em Física pela Universidade Federal de Santa Catarina (2011), Especialista em Fisiologia do Exercício pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (2004), Especialista em Fisioterapia em Terapia Intensiva pela ASSOBRAFIR (2010) e Especialista em Informática em Saúde pela UNIFESP (2016). Mestre em Ciências da Saúde pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Universidade do Sul de Santa Catarina (2014). Doutor em Ciências Médicas pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Médicas da Universidade Federal de Santa Catarina (2018). Professor dos cursos de Fisioterapia, Medicina e Matemática da Universidade do Sul de Santa Catarina. Tem experiência na área de Biofísica, Biomecânica, Física aplicada à Imagemologia, Epidemiologia, Fisioterapia em Terapia Intensiva e Reabilitação Cardiopulmonar.

ÍNDICE REMISSIVO

A

ajuste experimental 60, 62–63, 71, 73–74, 76, 84
alça fonológica 27–28
amnésia anterógrada 68–73, 75, 77–79, 81, 84
anatomia do cérebro 14
armazenamento de curto prazo 19–25, 27, 78
armazenamento de longo prazo 19–22, 24–27
Atenção 7–10, 15, 18, 25, 27–28, 43–49, 53, 56, 59–60, 62, 64–67, 69–71, 76–81
Atkinson e Shiffrin 7–11, 17–18, 20–23, 27, 29–30, 43–44, 78, 80–81
auditiva-verbal-lingüística 21
Averbach e Coriell 22
a-v-l 21

B

Baddeley e Hitch 7–11, 17–18, 27, 29–30, 78, 80–81
Baptista e Campos 52
Bassanezi 8, 37–38
biologia molecular 12, 16
biologia molecular do armazenamento de memória 16
Boyce e DiPrima 38, 41–42
Brenda Milner 15
Broca e Wernicke 14

C

capacidade de armazenamento fonológico e visuoespacial 29
capacidade de memorização 10, 63–68, 71–77, 84
células do corpo 12
células nervosas 12, 16–17
cenário 9, 52, 60–70, 74–77, 84
cérebro humano 7, 9–10, 18, 43, 49, 53, 80–81
circuitos neurais 13
coeficiente 46, 56–57, 59–60, 62, 64–67, 69–72, 76–77
Coeficiente de atenção 46, 56, 60, 62, 64–67, 69–71, 77
Coeficiente de automaticidade 46
Coeficiente de ensaio 46
Coeficiente de esquecimento 46, 56, 59–60, 62, 64–67, 69–72, 76
Coeficiente de recuperação 46, 56, 59–60, 62, 64–67, 69–71
Coeficiente de repetição 46, 56, 60, 62, 64–67, 69–72, 76
Coeficiente de resposta 46, 57
coleta de dados 36, 50–53
componente esboço-visual 28
Constante arbitrária 46
constantes físicas 38
côrtez cerebral 14

D

derivadas 32, 40–41
desempenho de memória 57, 61, 63, 66, 68
distúrbios de memória 9–10
Donald Hebb 14–15

E

Ebbinghaus 33–34, 36, 79
ensaio 7, 9–11, 15, 18–19, 25–26, 43, 45–48, 53, 57, 59–60, 62, 64–67, 69–71, 76–81
equação diferencial 38–42, 58–59
equação diferencial a parâmetros variáveis 39
equações diferenciais 9–10, 38–43, 48, 54, 56–59, 61–62, 65, 76, 79–80
equações diferenciais a parâmetros fixos 39
equações diferenciais ordinárias 41–42, 48
esquecimento 7, 9–10, 18, 31–37, 46, 48, 53, 56–57, 59–77, 79–80, 84
estudo cognitivo 44
experimentos numéricos 9

F

fluxo de informações 22, 48
fonemas 28
força sináptica 17
FORTRAN 54
Franz Joseph Gall 14
função contínua 32, 39
função de entrada 39

G

Gil 53
gradiente de Ribot 35

H

habilidades de memorização 9
habilidades motoras 15
Hebb 14–15, 24

I

imagem visual 22–23, 26
Infinitesimal 39
interferência 24
intervalo 9, 19, 24, 27, 39, 43
intervalo de tempo finito 39

L

lesões no cérebro 13
linearização 42
lobo temporal medial 15–17
Lokta-Volterra 41–42
Long-Term-Store 23

M

Malmberg, Raaijmakers e Shiffrin 18
Marconi e Lakatos 50–52
Mascarello 30–31
MATLAB 7, 9–11, 48, 53–55, 60,

76, 79–81

MATLAB® 7
MATRIX LABoratory 53
Melton 24
memória 7–37, 41, 43–49, 53, 56–57, 59–63, 65–66, 68, 76–81
memória declarativa 16–17
memória de curto prazo 8, 10, 17–18, 20, 23–24, 29–31, 41, 44–48, 56, 59–61, 63, 65–66, 68, 76–79, 81
memória de longa duração 32–33
memória de longo prazo 8, 10, 17–19, 23–24, 26–28, 30, 32–33, 35, 41, 44–49, 56, 59–61, 63, 65–66, 68, 76–79, 81
memória de longo prazo inicial 32
memória de longo prazo transicional 33
memória de trabalho 8, 19–20, 27–33, 45, 78
memória em três componentes estruturais 19
memória não declarativa 16–17
memória transitória de longo prazo 32
Milner, Squire e Kandel 12–13, 15–16
modelagem ecológica 41
modelagem matemática 7–8, 37
modelo matemático 8, 37–38, 40, 43–47, 58–59
modelos de memória 8–10, 17, 47
modelos matemáticos 7–11, 18, 31, 37, 40, 43–44, 48, 53, 79–81
Monteiro 39, 58
múltiplos sistemas de memória 15

N

Neal Cohen e Larry Squire 16
Neurobiologia Molecular 12
Neurociência 12–13, 80
Neurociência Cognitiva 12–13, 80

neurocientíficas 33, 37
número inteiro 39

P

paciente H.M. 15–16, 77, 81
palavras 28, 40
parâmetros 9–10, 18, 38–39, 43, 45–48, 54, 56, 58, 79–81
Perghe e Stein 34
pesquisa bibliográfica 51
Pierre Flourens 14
princípio ou a lei em função das variáveis 38
problemas matemáticos 7, 31
processamento de baixo para

- cima 43, 47
processamento de cima para baixo 43
processamento de informação 9–10, 18, 29, 45, 53, 80
processos cognitivos 9, 11–13
processos corticais 33
processos hipocampais 33
Psicologia 13, 24, 40
- Q**
Qualitativa 50–51
Quantitativa 9, 50–53
- R**
Radvansky et al 31–37, 57, 59–60, 73, 79–80
recuperação 7–10, 18, 25, 27, 29, 40, 48, 53, 56, 59–60, 62, 64–67, 69–71, 76–78, 80
registro sensorial 18–23, 25–26, 45, 56, 59–62, 64–67, 69–72, 79
repetição 7–10, 18, 26, 43, 45–49, 53, 56, 59–60, 62, 64–67, 69–72, 76, 78–81
retenção 32–36, 48, 59, 79–80
- S**
Samuel et al 43–44, 46–48, 56–59, 80
Santiago Ramón e Cajal 17
Scope 56, 59
Short-Term-Store 23
Simulação 48, 53, 55, 58, 61–62, 64, 67, 69, 77, 79
Simulink 7, 11, 54–56, 58, 76, 79–81
Sinks 56
sistema sensório-motor cerebral 13
sistemas neurobiológicos 13
software 7, 9–11, 53–54, 60, 72, 74, 76, 79
soluções analíticas 39
Sperling 22
Step 55
Stewart 40
sustentações moleculares 17
- T**
Taylor 22
Tempo 8–9, 19–20, 24, 26–28, 31, 33–36, 39–41, 46, 54, 56–58, 60–63, 66, 68, 78–79, 81, 84
transferência 20, 22–27, 44–45, 48, 78
transferência de informações 23, 45
- U**
unidades de medida 38
- V**
variáveis de estado 9, 45–47
variável dependente 38, 40–41, 62
variável independente 38, 41–42, 54, 58, 62
- W**
Workspace 55
- Z**
Zill 40–41



Este livro foi composto pela Editora Bagai.



www.editorabagai.com.br



[@editorabagai](https://www.instagram.com/editorabagai)



[/editorabagai](https://www.facebook.com/editorabagai)



[contato@editorabagai.com.br](mailto: contato@editorabagai.com.br)