



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOCIEDADE, NATUREZA E DESENVOLVIMENTO**

PAULO MARCELO PEDROSO PEREIRA

**MODELO CONCEITUAL DE APOIO À APRENDIZAGEM COM BASE EM
EMOÇÕES E FORMAÇÃO DE MEMÓRIAS**

**SANTARÉM-PA
2022**

PAULO MARCELO PEDROSO PEREIRA

**MODELO CONCEITUAL DE APOIO À APRENDIZAGEM COM BASE EM
EMOÇÕES E FORMAÇÃO DE MEMÓRIAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento, da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais. Área de Concentração: Gestão do Conhecimento e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável.

Orientador: Prof. Dr. Celson Pantoja Lima
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Carla Marina Paxiúba

**SANTARÉM-PA
2022**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

P436m Pereira, Paulo Marcelo Pedroso
Modelo conceitual de apoio à aprendizagem com base em emoções e formação de memórias./ Paulo Marcelo Pedroso Pereira. – Santarém, 2022.
187 p. : il.
Inclui bibliografias.

Orientador: Celson Pantoja Lima
Coorientadora: Carla Marina Paxiúba
Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação Tecnológica, Programa de Pós-Graduação Doutorado em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento.

1. Videoaula. 2. Emoções. 3. Memória de trabalho. I. Lima, Celson Pantoja, *orient.* II. Paxiúba, Carla Marina, *coorient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 153.6906

PAULO MARCELO PEDROSO PEREIRA

**MODELO CONCEITUAL DE APOIO À APRENDIZAGEM COM BASE EM
EMOÇÕES E FORMAÇÃO DE MEMÓRIAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento, da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais. Área de Concentração: Gestão do Conhecimento e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável.

Data da Aprovação: 28/04/2022

Prof. Dr. Celson Pantoja Lima – PPGSND/UFOPA (Orientador – Presidente)

Prof.^a Dr.^a Carla Marina Costa Paxiúba – PROFNIT/UFOPA (Coorientadora)

Prof.^a Dr.^a Maria Lilia Imbiriba Sousa Colares – PPGE/UFOPA

Prof.^a Dr.^a Clarissa Stefani Texeira – EGC/UFSC

Prof. Dr. Jarsen Luis Castro Guimaraes – PPGSND/UFOPA

Prof. Dr. José Roberto Branco Ramos Filho – PROFNIT/UFOPA

Prof. Dr. Rosinei Oliveira – PROFNIT/UFOPA

Aos meus pais, Rosivete e Orlando (*in memoriam*), por terem me incentivado a valorizar os estudos.

AGRADECIMENTO

À minha esposa Diana, pelo apoio incondicional durante a trajetória do Doutorado, que me exigiu tempo e dedicação, especialmente no período de realização dos experimentos e elaboração da escrita da tese.

Aos meus filhos Eduardo, Kevin e Beatrice, pelo fato de sempre me darem carinho e amor, mesmo quando eu não pude dar muita atenção a eles.

Ao prof. Celson Lima, pela valiosa condução de todo o processo de orientação, especialmente pela correção minuciosa e admirável da escrita da tese, além de sempre ter exigido o melhor de mim

À prof.^a Carla Paxiúba, pela parceria durante a coorientação do trabalho, estando comigo discutindo cada detalhe técnico da pesquisa.

Aos demais professores do PPGSND, por colaborarem com minha formação de pesquisador.

À UFOPA, por nos proporcionar cursar um Programa de Doutorado de muita relevância, que fomenta o desenvolvimento de pesquisas de interesse universal.

Aos meus colegas de turma, pelo companheirismo durante os vários momentos do curso, em especial à Verê, à Marcélia e ao Alberto Juliê.

À Juliana Portela, por me ajudar a refletir sobre as primeiras intenções relacionadas ao objeto de estudo desta tese.

Ao IESPES, por incentivar a formação continuada dos professores e me permitir realizar os experimentos da tese nas dependências da instituição, dando todo o apoio técnico necessário para tal.

RESUMO

O processamento consciente da informação ocorre na limitada Memória de Trabalho (MT), e considera diferentes tipos de carga cognitiva, que é o esforço imposto nos processos cognitivos para a realização de tarefas. Quando esta carga ultrapassa a capacidade da MT, pode haver um comprometimento no processo de aprendizagem. As emoções são fenômenos que se manifestam por meio de alterações na fisiologia e nos processos mentais, e mobilizam funções como interesse e foco. Vê-se, portanto, que emoções e memórias são variáveis que influenciam na aprendizagem. Para testar um modelo conceitual de apoio à aprendizagem com base em emoções e formação de memórias, este trabalho buscou investigar as emoções prevalentes em estudantes do ensino superior durante a visualização de videoaulas preparadas a partir de diretrizes que potencializam e minimizam a sobrecarga na MT, e seus efeitos na retenção de informações na referida memória, no âmbito da Teoria da Carga Cognitiva (TCC). Foi verificado também qual estrutura de videoaula proporciona maior atividade elétrica cerebral nas áreas corticais relacionadas à emoção, memória e aprendizagem. Para a instanciação do modelo, fizeram parte da amostra vinte e oito sujeitos distribuídos em três grupos, selecionados de forma randômica. Além dos grupos experimentais, um grupo controle fez parte da pesquisa, onde os participantes visualizaram uma videoaula pronta, retirada do YouTube, sobre o mesmo conteúdo dos demais grupos. Para o registro da atividade elétrica cerebral, três participantes utilizaram o dispositivo de Eletroencefalografia Emotiv Epc^x. As emoções foram identificadas a partir da plataforma computacional Cara de Aprender (CADAP), que captura expressões faciais e as traduz nas emoções: alegria, medo, raiva, desgosto, tristeza, desprezo, surpresa e compromisso. Os resultados mostraram que não houve diferença estatisticamente significativa em relação ao score médio das emoções ($p > 0,05$) nos três cenários, porém, a média do número de elementos armazenados após a visualização da videoaula 2 (com diretrizes da TCC) foi 91% maior que a videoaula 1 (fora das diretrizes) ($p = 0,0054$); e as emoções com valência positiva mais prevalentes durante a visualização da videoaula 2 foram compromisso, surpresa e alegria. A videoaula elaborada dentro das diretrizes da TCC foi a que apresentou maior padrão de atividade elétrica cerebral.

Palavras-Chave: Videoaula. Emoções. Memória de Trabalho.

ABSTRACT

The conscious processing of information takes place in the limited Working Memory (WM), and considers different types of cognitive load, which is the effort caused in cognitive processes to perform tasks. When this load exceeds the WM capacity, the learning process can be compromised. Emotions are phenomena that manifest themselves through changes in physiology and mental processes, and mobilize functions such as interest and focus. It can be seen, therefore, that emotions and memories are variables that influence learning. In order to test a conceptual model to support learning based on emotions and formation of memories, this work investigated how emotions prevalent in higher education students when viewing video lessons prepared from guidelines that enhance and minimize the burden on WM, and its effects on the retention of information in memory, within the scope of the Cognitive Load Theory (CLT). It was also verified which video lesson structure offers greater electrical brain activity in cortical areas related to emotion, memory and learning. Twenty-eight subjects in three groups, randomly selected, were part of the sample for the instantiation of the model. In addition to the experimental groups, a control group was part of the research, where the participants included a ready-made video lesson, taken from YouTube, on the same content as the other groups. To record electrical brain activity, three participants used the Emotiv EPOC^x Electroencephalography device. Emotions were identified using the Cara de Aprender (CADAP) software, which captures facial expressions and how they translate into emoticons, namely joy, fear, anger, disgust, sadness, contempt, surprise and commitment. The results shown that there was no statistically significant difference in relation to the average score of emotions ($p > 0.05$) in the three scenarios. However, the average number of elements stored after viewing video lesson 2 (with CLT guidelines) was 91% higher than video lesson 1 (outside the guidelines) ($p = 0.0054$) and the most prevalent emotions with positive valence when viewing video lesson 2 were commitment, surprise and joy. A video lesson elaborated within the CLT guidelines was the one that presented the highest pattern of brain electrical activity.

Keywords: Video lesson. Emotions. Working Memory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resultado da <i>string</i> de busca.....	26
Figura 2 – Estratégia de busca e seleção	27
Figura 3 – Elementos centrais da TCC	91
Figura 4 – Representação do Efeito da Atenção Dividida	96
Figura 5 – Representação do Efeito Redundância.....	97
Figura 6 – Representação sobre o Efeito Modalidade	98
Figura 7 – Modelo de Processamento da Informação.....	103
Figura 8 – Áreas Científicas do MAPEM.....	105
Figura 9 – Processo que envolve o MAPEM.....	108
Figura 10 – Representação do MAPEM.....	109
Figura 11 - Etapas para a instanciação do MAPEM.....	110
Figura 12 – Slide 1 da videoaula 1	111
Figura 13 – Slide 2 da videoaula 1	112
Figura 14 – Slide 3 da videoaula 1	112
Figura 15 – Slide 4 da videoaula 1	113
Figura 16 – Slide 5 da videoaula 1	113
Figura 17 – Slide 6 da videoaula 1	114
Figura 18 – Slide 7 da videoaula 1	114
Figura 19 – Slide 8 da videoaula 1	115
Figura 20 – Slide 9 da videoaula 1	115
Figura 21 – Slide 10 da videoaula 1	116
Figura 22 – Slide 11 da videoaula 1	116
Figura 23 – Slide 1 da videoaula 2.....	117
Figura 24 – Slide 2 da videoaula 2.....	117
Figura 25 – Slide 3 da videoaula 2.....	118
Figura 26 – Slide 4 da videoaula 2.....	118
Figura 27 – Slide 5 da videoaula 2.....	119
Figura 28 – Slide 6 da videoaula 2.....	119
Figura 29 – Slide 7 da videoaula 2.....	120
Figura 30 – Slide 8 da videoaula 2.....	120
Figura 31 – Slide 9 da videoaula 2.....	120
Figura 32 – Slide 10 da videoaula 2.....	121
Figura 33 – Slide 11 da videoaula 2.....	121
Figura 34 – Slide 12 da videoaula 2.....	122
Figura 35 – Imagem do Emotiv Epoc	125
Figura 36 – Registro das ondas capturadas pelos eletrodos F8 e F7	148
Figura 37 – Registro das ondas capturadas pelos eletrodos AF3 e AF4	148
Figura 38 – Média Aritmética das Potências de frequência relacionadas entre si... 151	151

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fases para elaboração da Revisão Sistemática	25
Quadro 2 – Componentes da pergunta de pesquisa, a partir do PICOS.....	26
Quadro 3 – Síntese dos artigos selecionados para a revisão sistemática	29
Quadro 4 – Áreas científicas da tese e Elementos constituintes.....	106
Quadro 5 – Entidades do Modelo Conceitual.....	107
Quadro 6 – Entidades e Relacionamentos do Modelo Conceitual	107
Quadro 7 – Objeto de estudo, variáveis, formas de controle e observação	129
Quadro 8 – Distribuição das variáveis do estudo	130
Quadro 9 – Divisão dos eletrodos por área cortical.....	131
Quadro 10 – Apontamentos a partir dos dados quantitativos.....	144
Quadro 11 – Emoções prevalentes em ordem decrescente de escores médios	145
Quadro 12 – Cinco emoções prevalentes nos cenários do experimento	145
Quadro 13 – Valências das emoções prevalentes nos cenários do experimento ...	146
Quadro 14 – Resultados Alcançados pela Tese	154

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escores médios / Medo	134
Tabela 2 – Teste Kruskal-Wallis / Medo	134
Tabela 3 – Escores médios / Alegria	135
Tabela 4 – Teste Kruskal-Wallis / Alegria	135
Tabela 5 – Escores médios / Raiva	136
Tabela 6 – Teste Kruskal-Wallis / Raiva	136
Tabela 7 – Escores médios / Tristeza	137
Tabela 8 – Teste Kruskal-Wallis / Tristeza	137
Tabela 9 – Escores médios / Desgosto	138
Tabela 10 – Teste Kruskal-Wallis / Desgosto	138
Tabela 11 – Escores médios / Desprezo	139
Tabela 12 – Teste Kruskal-Wallis / Desprezo	139
Tabela 13 – Escores médios / Surpresa	140
Tabela 14 – Teste Kruskal-Wallis / Surpresa	140
Tabela 15 – N° de acertos às perguntas do questionário	141
Tabela 16 – Estatística Descritiva relativa ao n° de acertos (continua)	141
Tabela 17 – Aplicação do Teste de Normalidade Shapiro-Wilk	142
Tabela 18 – Teste Kruskal-Wallis / Itens armazenados na MT	143
Tabela 19 – Potência das frequências relativas à videoaula 1	149
Tabela 20 – Média Aritmética das Potências de frequência	150
Tabela 21 – Potência das frequências relativas à videoaula 2	175
Tabela 22 – Potência das frequências relativas à videoaula 3	176

LISTA DE SIGLAS

AMIGO	Amazon Innovation Group
API	Application Programming Interface
CADAP	Cara de Aprender
COVID-19	Corona Virus Disease 2019
CS	Conditioned Stimulus
ERE	Ensino Remoto Emergencial
fMRI	Functional Magnetic Resonance Imaging
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MT	Memória de Trabalho
PET	Positron Emission Tomography
TCC	Teoria da Carga Cognitiva
UFOPA	Universidade Federal do Oeste do Pará
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
US	Unconditioned Stimulus

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Cenário imposto pela pandemia da COVID-19.....	14
1.2	Trabalhos Correlatos de Referência	16
1.3	Memória de Trabalho e estudos sobre Emoções e Aprendizagem.....	18
1.4	Questão de Pesquisa	20
1.5	Hipóteses	21
1.6	Objetivo da Tese.....	21
1.7	Resultados Esperados.....	21
1.8	Contribuição Inédita da Tese	22
1.9	Estruturação da Tese	22
2	MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA	24
2.1	Introdução.....	24
2.2	Metodologia da revisão sistemática	25
2.3	Resultados e Discussão da Revisão Sistemática	28
2.3.1	Sistema límbico e memórias	34
2.3.2	Estímulos e formação de memórias	37
2.3.3	Estresse e formação de memórias.....	41
2.3.4	Relação entre emoções, formação de memórias e aprendizagem	43
2.4	Considerações Finais do Mapeamento Sistemático	47
3	FUNDAMENTOS NEUROCIENTÍFICOS DA BASE TEÓRICA	49
3.1	Aprendizagem e Memória	49
3.1.1	Sistemas neurais das memórias de curto e de longo prazo	50
3.1.2	Conversão da memória de curto prazo em memória de longo prazo	51
3.1.3	Classificações da memória de longo prazo: explícita ou implícita	53
3.1.4	Classificações da memória explícita: episódica e semântica	55
3.1.5	Processamento da memória explícita.....	55
3.1.6	Características neurocientíficas do conhecimento episódico	56
3.1.7	Características neurocientíficas do conhecimento semântico	59
3.1.8	Relação entre memória implícita e <i>priming</i> de percepções.....	61
3.1.9	Classificações da memória implícita.....	64
3.1.10	Estímulos relacionados ao condicionamento clássico.....	65

3.1.11	Características do condicionamento operante	67
3.1.12	Características do aprendizado associativo	68
3.1.13	Consequências das imperfeições da memória	69
3.2	Emoções e Sentimentos	73
3.2.1	A busca pelo encéfalo emocional	75
3.2.2	Primeiras teorias acerca do cérebro emocional	75
3.2.3	O papel da amígdala nos circuitos das emoções	79
3.2.4	Condicionamento pavloviano para o estudo do medo.....	80
3.2.5	Relação entre a amígdala e o medo não condicionado em animais	82
3.2.6	Relação entre a amígdala e o medo nos humanos	82
3.2.7	Relação entre amígdala e emoções positivas	84
3.2.8	Outras áreas encefálicas e o processamento emocional	84
3.2.9	Compreensão dos correlatos neurais dos sentimentos.....	87
3.3	Teoria da Carga Cognitiva	91
3.3.1	Memória de Trabalho	91
3.3.2	Evidências empíricas da Memória de Trabalho.....	94
3.3.3	Tipos de Carga Cognitiva	95
3.3.3.1	Carga Cognitiva Estranha	95
3.3.3.2	Carga Cognitiva Intrínseca	95
3.3.3.3	Carga Cognitiva Relevante.....	96
3.3.4	Efeitos que envolvem a Memória de Trabalho	96
3.3.4.1	Efeito da Atenção Dividida	96
3.3.4.2	Efeito Redundância	97
3.3.4.3	Efeito Modalidade.....	98
3.3.5	Diretrizes da Teoria da Carga Cognitiva.....	99
3.3.5.1	Uso de diagramas	99
3.3.5.2	Diagramas e áudio-narração	100
3.3.5.3	Uso de sinais.....	100
3.3.5.4	Integração entre texto e figuras	101
3.3.5.5	Redução do conteúdo ao essencial.....	101
3.3.5.6	Eliminação de elementos estranhos.....	102
3.3.5.7	Eliminação de redundância na apresentação.....	102
3.4	Aprendizagem Multimídia	102

4	MODELO CONCEITUAL – MAPEM	105
4.1	Áreas Científicas do MAPEM	105
4.2	Entidades e Relacionamentos do MAPEM	106
4.3	O MAPEM e seus elementos	108
4.4	Processo para a Instanciação do MAPEM	110
4.4.1	Seleção do conteúdo para a elaboração das videoaulas	110
4.4.2	Seleção da videoaula para o grupo controle	110
4.4.3	Elaboração das videoaulas para os grupos experimentais	111
4.4.4	Cadastro das videoaulas no YouTube.....	122
4.4.5	Elaboração de questionário para verificação da MT.....	122
4.4.6	Seleção da amostra e apresentação da pesquisa aos participantes.....	123
4.4.7	Ferramentas para Coleta de Dados	124
4.4.7.1	A Plataforma Computacional Cara de Aprender e a Computação Afetiva	124
4.4.7.2	Emotiv Epoc ^x e seus fundamentos neurocientíficos	125
4.4.7.3	Protocolo para uso do Emotiv Epoc ^x	128
4.5	Instanciação do MAPEM	128
4.5.1	Prova de Conceito do Modelo	130
4.5.2	Metodologia de Análise de dados	132
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	133
5.1	Análise de dados da plataforma CADAP	133
5.2	Análise de dados do software EmotivPRO	147
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	152
	REFERÊNCIAS	157
	APÊNDICE A – TEXTO BASE PARA AS VIDEOAULAS	167
	APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO	171
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO PARA OS ALUNOS	174
	APÊNDICE D – TABELAS DAS POTÊNCIAS DE FREQUÊNCIAS	175
	APÊNDICE E – CONSTRUÇÃO DE MATERIAIS INSTRUCIONAIS	178

1 INTRODUÇÃO

Esta tese, que teve seu projeto aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade do Estado do Pará, com o parecer de nº 4.731.463, está inserida em uma sequência de pesquisas que fazem parte da linha Gestão do Conhecimento e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável e dos direcionamentos do *Amazon Innovation Group* (AMIGO), grupo de estudo vinculado à Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), no eixo Inovação Educacional, ganhando ainda mais significado no atual contexto pandêmico em que o mundo está inserido, onde o acesso ao conhecimento por meio das tecnologias digitais de informação e comunicação vem se fortalecendo.

1.1 Cenário imposto pela pandemia da COVID-19

A pandemia da COVID-19, declarada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em março de 2020, vem impondo mudanças e adaptações nos diversos setores da sociedade. Sistemas educacionais do mundo inteiro se viram em meio ao desafio de continuar as atividades escolares e fazer chegar o conhecimento aos estudantes de todos os níveis de ensino.

Dados da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO informaram que 91% dos estudantes no mundo tiveram as aulas interrompidas, decorrente do fechamento de instituições de ensino em 150 países (GUSSO *et al.* 2020). No Brasil, segundo dados do Ministério da Educação, em maio de 2020, 81% das universidades federais brasileiras estavam com as atividades acadêmicas de graduação totalmente suspensas, sendo que as demais funcionavam parcial ou totalmente (VALENTE *et al.*, 2020).

No entanto, em um cenário onde o uso das tecnologias digitais de informação e comunicação se fazia imperativo, verificou-se que 29% dos lares brasileiros não possuíam conexão com banda larga de internet e cerca de 86% dos professores da Educação Básica afirmavam não se sentir preparados para atuar nos Ambientes Virtuais de Aprendizagem. (CETIC.BR, 2020; INSTITUTO PENÍNSULA, 2020), o que acarretaria uma consequente exclusão dos estudantes e grande probabilidade de

efetivação de um Ensino Remoto Emergencial com fragilidades, no âmbito geral, ampliando ainda mais as desigualdades existentes no país (SANTO; SANTOS, 2021).

Verificou-se ainda, a vulnerabilidade de alunos de baixa renda, atendidos por programas sociais, que provavelmente não dispunham de sinal de Internet de qualidade ou equipamento tecnológico adequado. Os discentes estavam acostumados à modalidade de ensino presencial, e os docentes teriam que aprender novas formas de ensinar e de colocar em movimento diferentes conteúdos curriculares com a mediação da tecnologia (DUTRA; MORAES; GUIMARÃES, 2021).

Assim sendo, com base nas características do cenário pandêmico, o Ensino Remoto Emergencial (ERE) foi o catalisador de uma tentativa de transformação cultural nos processos educacionais e, possivelmente, acelerou a formação e atualização docente quanto ao uso das tecnologias digitais de informação e comunicação, bem como a aceitação de uma nova realidade que passou a se fazer presente na vida dos estudantes (SOUZA *et al.*, 2020). Outra questão é que as aulas durante o ERE vêm ocorrendo de forma síncrona e assíncrona, fomentando transformações no modo de planejar, desenvolver e avaliar o rendimento dos alunos (OLIVEIRA; CORRÊA; MORÉS, 2020).

Com base no exposto, Moreira *et al.* (2020) discutem que a nova realidade dos processos educativos está aliada ao conceito de Educação Digital, ou seja, são processos de ensino que se constituem na relação com as tecnologias digitais, em que a aprendizagem possa ou não estar interligada por redes de comunicação. Segundo os autores, este ambiente formado por novos conceitos de sala de aula, professor e estudante promovem um espaço de conexão a recursos e redes de conhecimento.

Conforme explicitado, considerando as diversas ferramentas síncronas e assíncronas que vêm sendo utilizadas até mesmo antes da pandemia, mas que se potencializaram em virtude das necessidades impostas pelo contexto, o material didático se constitui como uma fonte de estudos para os alunos, seja para ter contato com a parte geral do conteúdo ou ainda para aprofundamento dos temas. Dentre as possibilidades de material didático para estudo, que auxiliam o trabalho do professor, as videoaulas apresentam potencial para garantir que os alunos tenham acesso às explanações dos professores, aliando recursos audiovisuais que podem ajudar no entendimento dos conteúdos curriculares que estão sendo compartilhados. No

entanto, é necessário compreender que todos os elementos presentes em uma videoaula, seja textual (escrito ou narrado) ou com uso de imagens (gráficos, esquemas, diagramas ou figuras) mobilizam recursos cognitivos que podem contribuir em maior ou menor escala para a aprendizagem (MAYER, 2009).

Segundo Sweller e Chandler (1994), as videoaulas, que integram o objeto de estudo desta tese, podem ser elaboradas com determinadas diretrizes, de forma a potencializar o processamento da informação, considerando:

- a capacidade de percepção audiovisual dos estudantes;
- a interligação entre informação recebida e o que já está armazenado em memórias duradouras;
- a atenção que é capaz de despertar e;
- as emoções que podem ser capazes de estimular nos que estão assistindo ao seu conteúdo.

Em suma, valorizando o estudante e seu direito de aprender.

1.2 Trabalhos Correlatos de Referência

Para a construção deste estudo, foram considerados os resultados produzidos pelas pesquisas de Paxiúba (2019) e Corrêa Sobrinho (2020). Paxiúba propôs um modelo conceitual para trabalhar emoções e aprendizagem utilizando reconhecimento de expressões faciais. Para tanto, foram identificados os elementos que compõem o modelo, o processo de aplicação e foi desenvolvida uma ferramenta de software para apoiar sua instanciação. Os achados do estudo evidenciaram que as expressões faciais são uma fonte confiável para identificar algumas emoções dos alunos durante o processo de aprendizagem, em virtude de haver evidências da associação entre reações do organismo humano e a evocação dessas emoções.

Segundo Paxiúba (2019), emoções como alegria, tristeza, surpresa, desprezo, medo, raiva e desgosto podiam ser demonstradas através das expressões faciais e reconhecidas universalmente, independente da cultura, etnia ou características gerais. Apoiadas nestas evidências, foram desenvolvidas ferramentas de software que conseguem reconhecer essas emoções com alto grau de precisão.

Para o desenvolvimento do estudo, foi utilizado um *Software Development Kit* (SDK) através de uma *Application Programming Interface* (API) chamado *Afectiva*,

desenvolvida pela pesquisadora Rana el Kaliouby do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), que vem sendo usada em áreas diversas como marketing e propaganda. Os experimentos evidenciaram que utilizar tratamento computacional para reconhecimento de emoções a partir das expressões faciais é uma solução que atende aos requisitos de confiança e escalabilidade, possibilitando o aprimoramento do processo de aprendizagem dos alunos (PAXIÚBA, 2019, p.96).

Outro ponto importante destacado pelo estudo é que a relação entre emoções e aprendizagem deve ser considerada de modo individualizado, ou seja, as análises devem ser feitas considerando as particularidades de cada aluno, levando em conta variáveis como o próprio perfil de aprendizagem de cada estudante.

Em relação às emoções não provenientes de conteúdos curriculares, foi possível identificar situações em que as emoções dos alunos não estavam relacionadas ao conteúdo em si, mas, mesmo assim, os dados apontaram uma influência no processo de aprendizagem (PAXIÚBA, 2019).

Como parte importante na construção do modelo conceitual proposto, o processo de avaliação de aprendizagem e sua relação com as emoções também foram considerados. Para que isso fosse possível, o modelo evidenciou que a forma de avaliar a aprendizagem deve levar em consideração o desenvolvimento de habilidades, competências e conhecimentos.

Já o estudo desenvolvido por Corrêa Sobrinho (2020) teve como principal objetivo validar a proposição de um modelo conceitual para representar e tratar os sinais corporais, correlacionando-os com o processo de aprendizagem, valendo-se de recursos computacionais. As questões gerais respondidas pela tese foram: Qual a relação entre os sinais corporais dos alunos e a aprendizagem? Os sinais corporais como batimentos cardíacos, ondas cerebrais e expressões faciais influenciam o processo de aprendizagem?

Os achados da pesquisa evidenciaram que os sinais corporais foram captados de forma individualizada, sob a aplicação de uma única metodologia para todos os participantes. Os dados mostraram que, ainda que o método de captura de sinais tenha sido o mesmo, as respostas dos estímulos demonstrados pelos sinais corporais ao processo de aprendizagem não necessariamente seguiram o mesmo padrão para todos os estudantes (CORRÊA SOBRINHO, 2020).

A pesquisadora utilizou a captura de ondas cerebrais para mapear as métricas de desempenho denominadas estresse, engajamento, interesse, excitação, foco e relaxamento, sendo todas variando em uma escala de 0 a 100. Os resultados mostraram, por exemplo, como o nível de estresse pode sair do escore 0 e ir até 85, quando fatores externos à aprendizagem, como o mau funcionamento dos computadores, por exemplo, passam a fazer parte da situação didática. A partir dos experimentos, observou-se também que, junto com a alteração na métrica do estresse, elevaram-se também as métricas de engajamento (72 para 83), foco (45 para 71) e interesse (66 para 73), sugerindo uma busca por parte do estudante em superar situações adversas que possam interferir no processo de aprendizagem.

Com base nos experimentos realizados, os resultados sugeriram também que a introdução de metodologias ativas na sala de aula, com maior engajamento dos alunos, pode gerar uma predisposição à aprendizagem. Correia Sobrinho utilizou o mesmo método de avaliação da aprendizagem que Paxiúba (2019), que foi o de desenvolvimento de habilidades, competências e conhecimentos. Assim, foi possível identificar que, mesmo submetidos a mesma situação em um ambiente de aprendizagem, alunos podem ter reações fisiológicas diferentes, o que pode ou não impactar no processo de aprendizagem.

1.3 Memória de Trabalho e estudos sobre Emoções e Aprendizagem

Os estudos citados na subseção anterior consideraram as seguintes variáveis para seu desenvolvimento: emoções, batimentos cardíacos e funções cognitivas (através das ondas cerebrais). Esta tese inseriu um novo elemento neste contexto que é a Memória de Trabalho (MT), ponto central da Teoria da Carga Cognitiva (TCC), principal referencial teórico deste estudo.

A TCC possui como objeto de estudo a potencialização da MT, que se constitui como um sistema cognitivo que permite ao indivíduo relacionar, em tempo real, as informações disponíveis no ambiente com aquelas armazenadas na memória de longo prazo e tomar decisões otimizadas em função dos próprios objetivos (ZAR; GALERA, 2018). As evidências encontradas por Miller (1956), corroboradas por Cowan (2009), mostraram a capacidade de se armazenar 7 ± 2 itens (não relacionados entre si) simultaneamente na MT que, por sua vez, possui uma duração de aproximadamente

18 segundos. Após este período de tempo, Peterson (1959) e Solso (1995) mostraram que somente 10% das informações recebidas puderam ser lembradas.

Uma vez excedidos os limites da capacidade da MT, o raciocínio e a aprendizagem ficam abaixo do desempenho esperado (SHAH, 2003). Para que a aprendizagem ocorra, algumas etapas do processamento da informação devem ser seguidas, para que haja formação e consolidação de células nervosas, fruto de modificações químicas e estruturais no sistema nervoso (COSENZA; GUERRA, 2011), conforme será discutido ao longo da base teórica desta tese. Tendo em vista que a MT é a responsável por fazer a codificação das informações que chegam ao sistema cognitivo por meio dos órgãos sensoriais, esta tese considerou a primeira etapa para que a aprendizagem se consolide: a retenção de informações na MT.

O estudo de Miller (1960) mostrou que a MT possui também a função de gerenciamento da cognição e do comportamento. Ela pode ser igualada à consciência, uma vez que é um sistema pelo qual as decisões são tomadas, problemas são resolvidos e o fluxo de informação é direcionado (ATKINSON; SHIFFRIN, 1971).

Como parte importante para a análise dos dados desta pesquisa, o conceito de emoções foi discutido ao longo do texto, a partir da premissa de que são fenômenos que assinalam a presença de algo significativo em um determinado momento da vida do indivíduo. Elas se manifestam por meio de alterações na fisiologia e nos processos mentais e mobilizam os recursos cognitivos existentes, como atenção e percepção (COSENZA; GUERRA, 2011).

Nos momentos em que o indivíduo experimenta uma carga emocional, ele fica mais vigilante e sua atenção volta-se para os detalhes considerados importantes, pois as emoções controlam os processos motivacionais. Outro destaque é que a amígdala (centro coordenador de emoções) interage com o hipocampo e pode contribuir para a consolidação da memória, destacando a importância de se considerar os aspectos neurofisiológicos para o estudo da relação entre aprendizagem e os achados neurocientíficos (COSENZA; GUERRA, 2011).

A MT é também responsável pelo processamento consciente da informação. Para que este processamento ocorra, é necessário lançar mão de um esforço cognitivo chamado de Carga Cognitiva. A literatura já identificou três tipos de carga cognitiva, nomeadamente Intrínseca, Relevante e Irrelevante. A Intrínseca está

relacionada à complexidade do conteúdo em si, que pode exigir processos mentais mais elaborados para sua compreensão. A carga cognitiva Relevante diz respeito aos processos mentais necessários à compreensão do conteúdo, como a capacidade de síntese, comparação, inferência, dentre outros. Durante a apresentação do conteúdo, pode aparecer o terceiro tipo de carga cognitiva, a Irrelevante, que advém da forma como o conteúdo é apresentado (videoaula, por exemplo), podendo gerar a sobrecarga na MT. Esta última carga, por sua vez, ao ser reduzida diminui a sobrecarga na MT, o que pode melhorar a aprendizagem (CLARK; NGUYEN; SWELLER, 2006).

Estudos já mostraram que alguns efeitos gerados durante a apresentação do conteúdo podem promover a sobrecarga na MT, e outros podem diminuir tal sobrecarga. O Efeito da Atenção Dividida (TARMIZINI; SWELLER, 1988) se refere a separar, espacialmente, texto e figuras que se complementam; o Efeito Redundância (SWELLER; CHANDLER, 1994) surge quando se inserem duas fontes (texto e figura) com a mesma informação. Já o Efeito Modalidade (CLARK; NGUYEN; SWELLER, 2006) ocorre quando são consideradas duas modalidades de canais de percepção (visual e auditiva) para que a narração possa explicar a figura, o que gera a potencialização da aprendizagem.

1.4 Questão de Pesquisa

No contexto apresentado, a partir dos pressupostos da TCC e da Neurociência, para verificação experimental de um modelo conceitual de apoio à aprendizagem com base em emoções e formação de memórias (objeto central da tese), a presente pesquisa busca responder à seguinte questão: quais as emoções (alegria, medo, raiva, desgosto, tristeza, desprezo e surpresa) prevalentes em estudantes durante a visualização de videoaulas preparadas a partir de diretrizes que potencializam (cenário 1) e minimizam (cenário 2) a sobrecarga na MT, bem como seus efeitos no processo de retenção de informações na referida memória? Como corolário, em relação aos cenários do experimento, seguem as perguntas norteadoras: a) qual o escore médio das emoções evocadas pelos estudantes, durante a visualização das videoaulas? b) qual o escore médio de informações armazenados na MT, após a visualização das videoaulas? c) qual videoaula proporciona maior padrão de atividade

elétrica cerebral em áreas corticais relacionadas à emoção, memória e aprendizagem?

1.5 Hipóteses

H₀: Não há diferença estatisticamente significativa em relação às médias das emoções e retenção de informações na MT dos estudantes, quando se comparam os cenários do experimento;

H₁: Há diferença estatisticamente significativa em relação às médias das emoções e retenção de informações na MT dos estudantes, quando se comparam os cenários do experimento.

1.6 Objetivo da Tese

Criar um Modelo Conceitual de apoio à Aprendizagem que estabeleça a relação entre a configuração da videoaula, as emoções evocadas e o processo de retenção de informações na memória de trabalho.

1.7 Resultados Esperados

a) Científicos

- Validação de um Modelo Conceitual de apoio à Aprendizagem para fornecer evidências acerca da relação entre emoções e retenção de informações na MT;
- Mapeamento de emoções positivas e negativas prevalentes durante a visualização de videoaulas nos cenários do experimento;
- Identificação de padrão de atividade elétrica cerebral durante a visualização de videoaulas elaboradas dentro e fora das diretrizes da TCC;
- Publicação de artigos científicos em revistas da área;
- Apresentação de trabalhos em congressos.

b) Técnico

- Material didático para apoiar os docentes no que tange à elaboração de videoaulas de acordo com as diretrizes da TCC, embasados pelos resultados produzidos nesta tese.

c) Acadêmicos

- Orientações de Iniciação Científica (cursos de Pedagogia e Psicologia / IESPES);
- Minicurso em Jornadas Científicas.

1.8 Contribuição Inédita da Tese

A contribuição inédita desta tese será a inserção da variável ‘emoções’ no contexto de experimentos que buscam relacionar a carga cognitiva e os impactos na retenção de memória de trabalho, bem como a validação de um modelo conceitual que relacione emoções e formação de memória de trabalho, no âmbito da elaboração de videoaulas.

Esta contribuição foi consolidada com o mapeamento sistemático da literatura realizado e apresentado no capítulo 2 deste documento, que aponta a lacuna científica descrita no parágrafo anterior.

1.9 Estruturação da Tese

Este documento está organizado em 6 capítulos, como se segue. O capítulo 2 apresenta o mapeamento sistemático da literatura, a fim de discutir as pesquisas que identificaram a relação entre emoções, memórias e aprendizagem, trazendo também algumas aplicações dos resultados para o âmbito educacional.

No capítulo 3, são introduzidos os fundamentos neurocientíficos da base teórica, trazendo a discussão sobre aprendizagem e memórias, emoções e sentimentos e a Teoria da Carga Cognitiva, que é a principal teoria que norteou a proposição e validação do modelo conceitual, objeto central desta tese.

A capítulo 4, o ponto central da tese, descortina o modelo conceitual de apoio à aprendizagem, com ênfase na elaboração de videoaulas, com base nas emoções evocadas e no processo de retenção de informações na memória de trabalho,

apresentando as áreas científicas, os elementos pertencentes e o processo para a instanciação do modelo conceitual, descrevendo as ferramentas utilizadas para a coleta de dados e finalizando com a prova de conceito do modelo.

O capítulo 5 mostra e discute os resultados, tendo como base o referencial teórico e a validação do modelo conceitual proposto pela tese. O capítulo 6 fecha o documento com um resumo da tese, para além das conclusões retomadas com base no objetivo central do trabalho, elencando as potenciais pesquisas futuras que podem ser derivadas desta tese.

2 MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA

2.1 Introdução

O mapeamento sistemático de literatura é uma forma de levantamento de dados baseado em evidências para, a partir delas, discutir achados que possam gerar novas hipóteses de pesquisa (ROCHA; NASCIMENTO; NASCIMENTO, 2018). O resultado do mapeamento sistemático possibilita ao pesquisador percorrer uma trajetória de ideias sobre um tema, contribuindo para que se tenha uma visão analítico-sintético no manejo das fontes (SAVIANI, 2013). Neste sentido, optou-se por esta metodologia de revisão bibliográfica para buscar evidências da relação entre as principais variáveis envolvidas no objeto de pesquisa desta tese, ajudando a dar o alicerce teórico para a execução do trabalho.

As emoções podem ser consideradas como fenômenos que assinalam a presença de algo importante em um determinado momento na vida do indivíduo. Elas se manifestam por meio de alterações na fisiologia e nos processos mentais, e mobilizam recursos cognitivos como a atenção, que é o fenômeno responsável por permitir ao indivíduo focalizar determinados aspectos do ambiente em detrimento daquilo que é dispensável para o momento. Além disso, a amígdala – estrutura cerebral pertencente ao sistema límbico, ao qual se atribui o controle das emoções – interage com o hipocampo e pode influenciar um dos processos que envolvem a memória, que é a consolidação, algo considerado essencial para a aprendizagem (COSENZA; GUERRA, 2011).

A memória possui várias subdivisões, as quais são processadas por sistemas neurais específicos. A MT é uma memória transitória e a Memória de Longo Prazo (MLP) busca registrar de forma duradoura informações absorvidas por meio dos órgãos sensoriais e exige quatro tipos de processamento, nomeadamente Codificação, Armazenamento, Consolidação e Evocação. A codificação é o processo pelo qual novas informações são observadas e conectadas com informações preexistentes na memória. O armazenamento refere-se aos mecanismos e sítios neurais que permitem a retenção da MLP. A consolidação é o processo que faz a informação ainda lábil e armazenada temporariamente ficar mais estável. A evocação é o processo pelo qual a informação armazenada é evocada (KANDEL *et al.*, 2014).

A partir de tais premissas, a presente revisão sistemática tem como objetivo compreender a relação entre emoções, formação de memórias e aprendizagem, por meio da busca de elementos concretos a partir de pesquisas empíricas produzidas dentro da temática. Como consequência dos achados, o texto traz reflexões sobre a aplicação dos resultados no contexto educacional.

2.2 Metodologia da revisão sistemática

Esta revisão sistemática considerou as seguintes fases para sua elaboração: (1) elaboração da pergunta de pesquisa; (2) busca na literatura; (3) seleção dos artigos; (4) extração dos dados; (5) avaliação da qualidade metodológica; (6) síntese dos dados; (7) avaliação da qualidade das evidências; e (8) redação e publicação dos resultados (GALVÃO; PEREIRA, 2014), fases estas sintetizadas no Quadro 1:

Quadro 1 - Fases para elaboração da Revisão Sistemática

Fases da Revisão	Procedimentos
Elaboração da pergunta de pesquisa	Elaborada a partir do método PICOS (GALVÃO; PEREIRA, 2014)
Busca na literatura	Por meio da plataforma de busca <i>Scopus</i>
Seleção dos artigos	Considerando os critérios de inclusão e exclusão
Extração dos dados	Por meio da análise dos resultados dos estudos
Avaliação da qualidade metodológica	Identificação de pesquisas experimentais, com a presença de variáveis pertencentes à questão de pesquisa
Síntese dos dados	Elaboração do quadro-síntese, contendo objetivo, resultados e conclusão
Avaliação da qualidade das evidências	Análise da relação entre emoções, formação de memórias e aprendizagem
Redação e publicação dos resultados	Estruturação do artigo de revisão, a partir das normas da revista

Fonte: Elaboração própria, 2021.

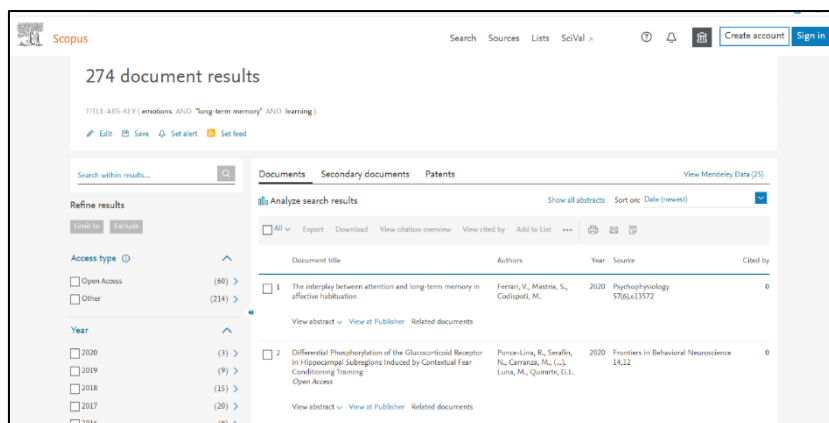
O método PICOS considera 5 componentes para a formulação da pergunta de pesquisa: População, Intervenção, Comparação, Desfecho (O, *outcome*, do inglês) e Tipo de estudo (S, *study type*, do inglês). Com base nesses elementos, foi elaborada a seguinte questão: quais os efeitos causados por estímulos emocionalmente carregados na formação de memórias e aprendizagem? A descrição dos itens e os componentes da questão de pesquisa são apresentados no Quadro 2:

Quadro 2 – Componentes da pergunta de pesquisa, a partir do PICOS

Descrição	Componentes da pergunta
População (P)	Adultos em geral
Intervenção (I)	Estímulos emocionalmente carregados
Comparação (C)	Estímulos neutros
Desfecho (O)	Formação de memórias e aprendizagem
Tipo de estudo (S)	Pesquisas experimentais

Fonte: Elaboração própria, 2021.

No levantamento inicial da literatura, realizado no dia 22 de maio de 2020, foram encontrados 274 (duzentos e setenta e quatro) trabalhos, por meio da base de dados *Scopus*, com a *string* de busca: *Emotions AND Long-term memory AND Learning* (Figura 1):

Figura 1 – Resultado da *string* de busca

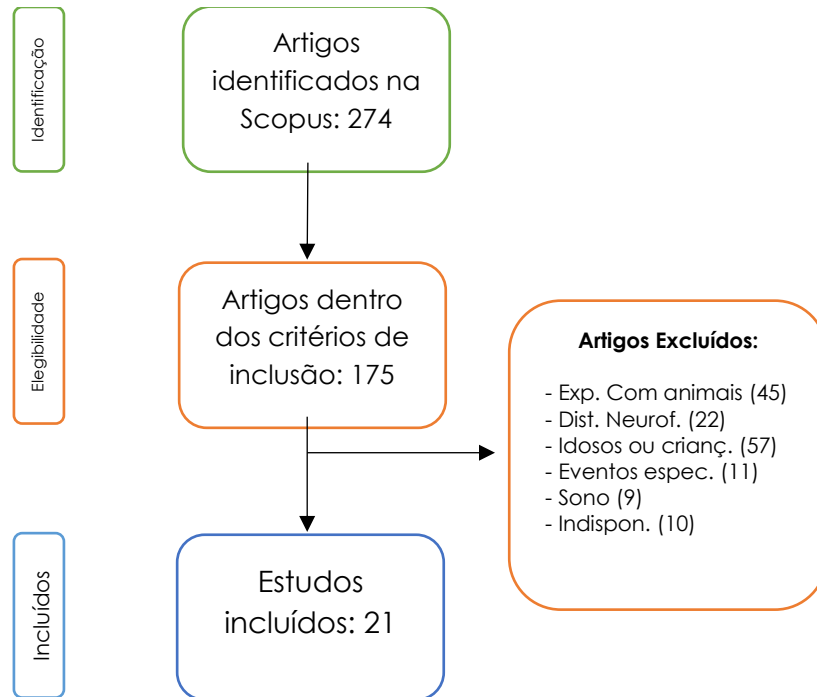
Fonte: Scopus, 2020.

Para a seleção dos trabalhos, foram analisados o título, o resumo e as palavras-chave, a partir dos seguintes critérios: como inclusão, foram considerados os artigos que apresentassem experimentos com estímulos emocionais e neutros; artigos que buscassem relacionar emoções e formação de memórias e artigos que tivessem relação com o processo de aprendizagem. Dentro dos critérios de inclusão, foram encontrados 175 estudos.

Destes, foram excluídos os artigos: (i) resultantes de experimentos com animais (45); (ii) que envolvessem distúrbios neurofisiológicos (22); (iii) direcionados para públicos específicos, como idosos ou crianças (57); (iv) resultantes de avaliação de

eventos específicos, como grandes tragédias (11); (v) relacionados exclusivamente ao sono (9) e; (vi) indisponíveis para *download* (10) (Figura 2):

Figura 2 – Estratégia de busca e seleção



Fonte: PEREIRA; PAXIÚBA; LIMA, 2021.

Após esta etapa, verificou-se que 21 artigos traziam fundamentos e evidências para responder à questão de pesquisa, os quais foram avaliados apropriadamente. Em seguida, foram separados pelas seguintes categorias de análise:

- Sistema límbico e memórias;
- Estímulos e formação de memórias;
- Estresse e formação de memórias;
- Relação entre emoções, formação de memórias e aprendizagem.

Como técnica de análise de dados, foi considerada a Análise de Conteúdo de Bardin (2002), que é um método de análise para pesquisa qualitativa, e está organizada nas seguintes fases: Pré-análise, Codificação e Tratamento dos Dados.

Na etapa da Pré-análise, a escolha do universo decorreu dos objetivos propostos, ou seja, de compreender a relação entre as emoções, a formação de memórias e a aprendizagem. O contato inicial com os textos deu-se por meio da leitura

dos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos, conforme já descrito. Foram selecionados os artigos considerando a *string* de busca e os critérios de inclusão e de exclusão delimitados, e o objetivo central foi traçado para compreender a relação entre as variáveis em estudo.

Com relação à Codificação, Bardin (2002) indica três escolhas necessárias: o recorte (unidade de registro), a enumeração, a classificação e agregação (categorização). Neste trabalho, a unidade de registro utilizada foi o tema, a fim de identificar sua relação com a resposta à questão de pesquisa. Na etapa da enumeração, as formas de contagem definidas foram presença ou ausência das unidades de registro. Em relação à categorização, esta revisão optou pela análise semântica por meio de categorias temáticas. As categorias foram separadas a partir de agrupamentos temáticos que contribuíam para a resposta à questão de pesquisa, nomeadamente: (i) Sistema límbico e memórias; (ii) Estímulos e formação de memórias; (iii) Estresse e formação de memórias; e (iv) a Relação entre emoções, formação de memórias e aprendizagem.

O Tratamento dos Dados compreende a preparação e a exploração do material a ser analisado. A fase de preparação do material de consulta limitou-se à obtenção de cópia virtual dos artigos e seus arquivamentos de forma digital. Em relação à exploração do material, foi feita a leitura integral dos 21 artigos selecionados. Por fim, os dados foram interpretados à luz das categorias elencadas, analisando a coerência interna dos artigos, a partir da identificação dos experimentos descritos, da relação entre objetivos propostos e os resultados obtidos e da relação entre os elementos metodológicos e os dados obtidos.

2.3 Resultados e Discussão da Revisão Sistemática

Cronologicamente, apresenta-se o quadro-resumo (Quadro 3) com as sínteses dos artigos utilizados, seguido pela discussão proporcionada pelos achados dos estudos, na busca pela resposta à questão de pesquisa. Neste texto, usa-se o termo 'valência' para designar uma das dimensões de classificação das emoções, podendo ser negativas, neutras ou positivas, a depender dos estímulos a que são submetidos os sujeitos, podendo também ser definida como o valor do estímulo (PHELPS, 2006; JONIDES *et al.*, 2008).

Quadro 3 – Síntese dos artigos selecionados para a revisão sistemática

(continua)

Autor	Objetivo	Resultado	Conclusão
1. Taylor (2001)	Discutir a natureza emocional da racionalidade e as formas inconscientes de conhecimento.	As emoções foram consideradas indispensáveis para que a racionalidade ocorra, evidenciando MLP e memória implícita.	Emerge a necessidade de incluir práticas que considerem outras maneiras de conhecer, destacando o papel das múltiplas inteligências.
2. Phelps (2004)	Entender o funcionamento da amígdala e do hipocampo no âmbito dos sistemas de memória.	A amígdala pode modular a codificação e o armazenamento de memórias dependentes do hipocampo. O complexo hipocampal pode influenciar a resposta da amígdala quando estímulos emocionais são encontrados.	Embora sejam sistemas independentes de memória, eles agem em conjunto quando a emoção encontra a memória.
3. Nielson e Bryant (2005)	Investigar os efeitos de uma pequena recompensa não contingente, intrínseca ou extrínseca, na recuperação atrasada da memória	Após um período de uma semana, o desempenho de recuperação para a lista de palavras foi significativamente melhor nos grupos de recompensas extrínsecas, quando comparados aos controles.	Algumas formas de estímulo e recompensa, mesmo quando semanticamente não relacionadas ao material aprendido, podem efetivamente modular a consolidação da memória.

Quadro 3 – Síntese dos artigos selecionados para a revisão sistemática

(continuação)

Autor	Objetivo	Resultado	Conclusão
4. Nielson, Yee e Erickson (2005)	Testar a ideia de que uma fonte de estímulo deve estar semanticamente relacionada à informação a ser lembrada.	O aumento da frequência cardíaca foi significativamente maior no grupo de estímulo e o efeito negativo foi significativamente menor no grupo de não estímulo.	O estímulo emocional, mesmo de uma fonte não relacionada, é capaz de modular a consolidação da memória.
5. McGaugh (2006)	Relatar como os estímulos emocionais aumentam a MLP se comparados com estímulos neutros.	A modulação da memória induzida pelo estímulo é mediada pela ativação β -noradrenérgica da amígdala.	Embora tenha sido verificado que um aumento sustentado no nível de estímulo emocional possa proporcionar uma memória aprimorada, o desenho do estudo não permitiu a verificação desta possibilidade.
6. Nielson e Powless (2007)	Avaliar o tempo de dependência de consolidação da memória em humanos.	O estímulo de qualquer valência induzida até 30 minutos após a aprendizagem, mas não após 45 minutos, melhorou significativamente a recuperação em uma semana.	Os resultados apoiam a dependência do tempo na modulação da memória em humanos, com ênfase no grau de estímulo.
7. Tollenaar et al (2008)	Examinar os efeitos do aumento do cortisol induzido pelo estresse na recuperação da MLP durante e após o estresse psicossocial agudo.	Dentro da condição de estresse, a recuperação de palavras negativas, cinco semanas após o aprendizado, foi prejudicada durante e após a tarefa de estresse em comparação ao grupo controle.	Quando o estímulo é alto, o aumento do cortisol pode prejudicar a recuperação da memória.

Quadro 3 – Síntese dos artigos selecionados para a revisão sistemática

(continuação)

Autor	Objetivo	Resultado	Conclusão
8. LoPresti et al (2008)	Investigar a MT por duas pistas sociais críticas: identidade e emoção.	Foi encontrada atividade transitória representando emoção e identidade no sulco temporal superior e no córtex occipital inferior, respectivamente.	Embora o processamento inicial da emoção e da identidade seja realizado em regiões temporal e occipital anatomicamente segregadas, a memória relacionada ao período sustentado dessas duas características críticas é mantida pelo OFC, amígdala e hipocampo.
9. Nielson e Lorber (2009)	Examinar o efeito do estímulo induzido após a aprendizagem na memória por palavras que variavam tanto na qualidade quanto na valência do estímulo.	O estímulo induzido após a aprendizagem aprimorou a memória evocada em 1 semana, abrangendo a longa tarefa sem preferência por tipo de palavra ou posição serial, contrastando com relatos de efeitos de estímulo que interagem com as qualidades do estímulo.	A predisposição ao estímulo levou a um aprimoramento maior da modulação da MLP, enquanto o uso da reavaliação emocional, que reduz a resposta ao estímulo, inibiu a capacidade do estímulo de induzir o aprimoramento da memória.
10. Nielson e Meltzer (2009)	Avaliar a MLP na alexitimia com estímulos neutros.	A resposta fisiológica ao estímulo foi comparável entre os grupos, mas a resposta subjetiva ao estímulo foi prejudicada na alexitimia alta. No entanto, o atraso no reconhecimento de palavras foi aprimorado pelo estímulo.	A resposta subjetiva ao estímulo, ou seja, avaliação cognitiva, não era necessária para a modulação da memória.

Quadro 3 – Síntese dos artigos selecionados para a revisão sistemática

(continuação)

Autor	Objetivo	Resultado	Conclusão
11. Zoladz et al (2011)	Examinar de que forma a administração do estresse em diferentes momentos antes do aprendizado afeta a MLP para informações neutras ou emocionalmente relevantes.	O reconhecimento das palavras positivas foi associado positivamente às respostas da frequência cardíaca à manipulação do banho-maria, enquanto o reconhecimento livre das palavras negativas foi negativamente associado às respostas da pressão arterial e do cortisol à manipulação do banho-maria.	Os efeitos diferenciais do estresse pré-aprendizado na MLP podem depender da proximidade temporal do estressor com a experiência de aprendizado e da natureza emocional das informações a serem aprendidas.
12. Bergmann et al. (2012)	Investigar os efeitos tanto da valência quanto da excitação em uma tarefa interligada entre itens de MT e MLP.	Foram demonstrados os efeitos negativos da excitação tanto nas tarefas relativas à MT quanto MLP, usando estímulos e demandas de tarefas altamente semelhantes para esses dois tipos de situações.	Os processos durante a codificação e pós-codificação, o intervalo de tempo entre o estudo e o teste e a interação entre valência e excitação podem modular os efeitos da emoção na memória.
13. Cocenas-Silva, Bueno e Detroit-Volet (2013)	Examinar o efeito da emoção na duração da MLP.	A discriminação temporal foi mais precisa na condição emocional do que na condição neutra.	A emoção fortaleceu os traços de memória, aumentando sua resistência contra os efeitos de interferência.
14. Baudonnat et al (2013)	Discutir o papel da dopamina na determinação de como e quando aprender sobre o mundo e como desenvolver políticas de escolha adequadas à situação enfrentada.	A dopamina tem sido fortemente associada à aprendizagem e motivação por reforço em situações simples, onde há um número limitado de estímulos para orientar o comportamento e uma gama restrita de resultados.	Houve evidências de que a dopamina é moldada pela motivação e pela memória e, por sua vez, molda a formação da memória baseada em recompensa.
15. Trammell e Clore (2014)	Examinar a hipótese de que o estímulo induzido pelo estresse melhora a MLP para experiências associadas a tais estímulos.	Ao contrário do esperado, a exposição a um estressor interferiu negativamente na MLP.	A relação entre estresse e consolidação da memória é mais limitada do que se acreditava anteriormente.

Quadro 3 – Síntese dos artigos selecionados para a revisão sistemática

(continuação)

Autor	Objetivo	Resultado	Conclusão
16. Gerbier e Toppino (2015)	Discutir os achados comportamentais de neuroimagem e neurofisiologia, relacionados ao efeito das práticas distribuídas.	Os achados indicam que as práticas distribuídas conduzem a uma melhor aprendizagem e formação de MLP do que a prática relativamente acumulada.	O mecanismo básico que separa a eficácia da prática distribuída deve ser adotado, a fim de maximizar a aprendizagem e a memória.
17. Dunsmoor (2015)	Discutir a consolidação de informações irrelevantes na MLP.	A informação é seletivamente consolidada se informações conceitualmente relacionadas são destacadas por meio de uma experiência de aprendizagem emocional.	Informações irrelevantes podem ser retroativamente creditadas como relevantes se informações conceitualmente relacionadas adquirirem relevância no futuro.
18. Wang (2015)	Examinar o efeito da emoção negativa na consolidação da memória de itens e memória de origem.	A emoção negativa aprimorou a consolidação da memória de itens, mas teve pouco efeito na consolidação da memória de origem.	Foram evidenciados os efeitos diferenciais da emoção negativa na memória de itens e na memória de origem.
19. Wang e Sun (2015)	Examinar os efeitos dependentes do tempo da emoção negativa na consolidação de itens e monitoramento interno da memória de origem.	A emoção negativa melhorou a consolidação nas memórias de itens e de origem, quando foi provocada com um atraso de 5 minutos, mas não com 30 minutos; após 45 minutos, a emoção negativa teve pouco efeito.	Foi evidenciado o efeito dependente do tempo da emoção negativa na consolidação da memória de origem com base no monitoramento interno.
20. Tyng et al (2017)	Discutir os efeitos da emoção na aprendizagem e na memória e os papéis funcionais desempenhados por várias regiões do cérebro e suas interações mútuas em relação ao processamento emocional.	A emoção tem uma influência substancial nos processos cognitivos, incluindo percepção, atenção, aprendizagem, memória, raciocínio e solução de problemas.	Houve elucidação dos efeitos da emoção para a potencialização da memória, as quais ampliam a compreensão das influências emocionais nos processos de aprendizagem e memória.

Quadro 3 – Síntese dos artigos selecionados para a revisão sistemática (conclusão)

Autor	Objetivo	Resultado	Conclusão
21. Çalişkan e Stork (2018)	Evidenciar o papel das regiões límbicas como estruturas-chave de uma rede neural que traduz eventos emocionalmente consideráveis em memórias duradouras.	A comunicação nesta rede em geral depende dos padrões de atividade do estado comportamental que são normalmente gerados e/ou retransmitidos através do hipocampo.	Foi evidenciado que alterações adaptativas nos padrões de atividade de rede dependentes do hipocampo fornecem um meio importante de ajustar a plasticidade.

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Após análise dos experimentos, seus objetivos e resultados, foi possível identificar que os estudos concentraram seus achados dentro das seguintes categorias: inicialmente, com questões neurofisiológicas (sistema límbico) que podem embasar a relação entre emoções e formação das memórias; em seguida, um conjunto de estudos que experimentou o papel dos estímulos emocionalmente carregados ou com valência neutra no processo de retenção de memórias; depois, estudos que revelaram resultados sobre o papel do estresse na formação de memórias, além da relação entre as principais variáveis em estudo. As seções seguintes discutirão estes estudos e suas relações com o contexto educacional.

2.3.1 Sistema límbico e memórias

Esta seção buscou trazer os elementos neurofisiológicos que podem embasar a relação entre as emoções e a formação das memórias, abrindo caminho para a resposta à questão de pesquisa. Taylor (2001) discutiu a natureza emocional da racionalidade e as formas inconscientes de conhecimento, também chamada de memória implícita, do campo da Neurobiologia e da Psicologia, e ofereceu uma explicação fisiológica da relação interdependente entre emoção e razão, e o papel da memória implícita no processo de aprendizagem.

Para o autor, pesquisas não apenas fornecem suporte para que as emoções possam afetar os processos da razão, mas, mais importante, indicam que as emoções foram consideradas indispensáveis para que a racionalidade ocorra. Além disso, o autor salientou que as pesquisas sobre o cérebro trazem à tona novas ideias sobre uma forma de MLP que tem sido negligenciada, a da memória implícita, que recebe,

armazena e recupera fora da consciência do indivíduo. Da memória implícita emergem hábitos, atitudes e preferências inacessíveis à lembrança consciente, mas essas são formas de eventos anteriores que influenciam o comportamento humano e são uma parte essencial do entendimento do ser.

Sobre as áreas do cérebro relacionadas ao objeto de discussão desta revisão, Phelps (2004) estabelece que o complexo da amígdala e do hipocampo, duas estruturas mediais do lobo temporal, estão ligadas a dois sistemas de memória independentes, cada um com funções características únicas. Em situações emocionais, esses dois sistemas interagem de maneira sutil, mas importante. Especificamente, a amígdala pode modular a codificação e o armazenamento de memórias dependentes do hipocampo. O complexo hipocampal, ao formar representações episódicas do significado emocional e da interpretação dos eventos, pode influenciar a resposta da amígdala quando estímulos emocionais são encontrados. Embora sejam sistemas independentes de memória, eles agem em conjunto quando a emoção encontra a memória.

Ainda no âmbito das funções da amígdala, segundo McGaugh (2006), estímulos emocionais aumentam a MLP se comparados com estímulos neutros imediatamente anteriores. De acordo com o estudo, a modulação da memória induzida pela excitação é mediada pela ativação β -noradrenérgica da amígdala, influenciando diretamente no mecanismo de consolidação da memória, ou seja, ocorrem alterações estruturais nas sinapses, buscando a estabilidade da informação.

Corroborando com tais achados, Çalıřkan e Stork (2018) argumentam que as regiões límbicas (hipocampo, amígdala e córtex pré-frontal medial) são estruturas-chave de uma rede neural em todo o cérebro que traduz eventos emocionalmente consideráveis em memórias duradouras. Para os autores, a comunicação nessa rede em geral depende dos padrões de atividade do estado comportamental que são normalmente gerados e/ou retransmitidos através do hipocampo. Segundo os autores, tornou-se evidente que alterações adaptativas nos padrões de atividade de rede dependentes do hipocampo fornecem um meio importante de ajustar a plasticidade sináptica.

LoPresti *et al.* (2008) desenvolveram um estudo cujo objetivo foi investigar a MT (utilizando Ressonância Magnética Funcional), por duas pistas sociais críticas: a identidade e a emoção. Os sujeitos realizaram uma tarefa que exigia que

correspondessem a imagem à expressão emocional ou à identidade, após um período de 10 segundos. Tais imagens eram rostos retirados de um banco de dados vinculados a uma universidade americana. As imagens apresentavam expressões faciais classificadas dentro de três valências: positiva moderada, negativa e neutra. Neuroanatomicamente, a partir da análise do fluxo de atividade elétrica cerebral, as previsões se concentraram no Córtex Orbitofrontal (OFC) e na amígdala, pois essas regiões já haviam sido implicadas anteriormente no processamento emocional e na MLP.

A partir dos achados da pesquisa, foi encontrada atividade transitória durante a visualização das imagens representando emoção e identidade no sulco temporal superior e no córtex occipital inferior, respectivamente. A atividade prolongada do período de retardo foi evidente no OFC, amígdala e hipocampo, tanto para testes de emoção quanto de identidade. Os resultados sugeriram que, embora o processamento inicial da emoção e da identidade seja realizado em regiões temporal e occipital anatomicamente segregadas, a memória relacionada ao período sustentado dessas duas características críticas é mantida pelo OFC, amígdala e hipocampo. Essas regiões compartilham conexões ricas e foram demonstradas anteriormente como necessárias para vincular recursos na MLP. Os resultados sugeriram um papel para essas regiões também na manutenção ativa do processamento das informações.

Verificou-se, portanto, que as regiões límbicas estão no cerne de uma rede neural em todo o cérebro que relaciona as emoções com as memórias, evidenciando fisiologicamente uma relação interdependente entre a emoção e a razão. Destaca-se que a amígdala pode modular a codificação e o armazenamento de memórias dependentes do hipocampo e este, por sua vez, ao formar representações do significado emocional e da interpretação dos eventos, pode influenciar a resposta da amígdala quando estímulos emocionais são encontrados. A ativação β -noradrenérgica da amígdala influencia diretamente na consolidação da memória.

Reflexões para o contexto educacional

Em relação ao ponto específico da memória implícita, depreende-se que pode haver uma aplicação direta no processo educacional, especialmente quando se trata da memória de procedimentos, pois envolve habilidades sensório-motoras que são acumulados no cotidiano, ou seja, é preciso desenvolver estratégias metodológicas

que façam com que esta memória oculta possa vir à tona e o aprendiz possa pôr em prática as habilidades necessárias para a resolução de problemas ou o desenvolvimento de atividades em geral que requeiram a memória de procedimentos (COSENZA; GUERRA, 2011).

Com esta categoria evidenciada pelos achados das pesquisas, salienta-se, a partir de Cosenza e Guerra (2011), que as emoções precisam ser consideradas no ambiente educacional, ou seja, é necessário que se planeje uma ambientação que proporcione a mobilização das emoções positivas, como entusiasmo, curiosidade, envolvimento, desafio, enquanto que as negativas, como ansiedade, apatia, medo, frustração, devem ser evitadas para que não prejudiquem a aprendizagem.

Vê-se, portanto, que o conhecimento fornecido pelos achados neurocientíficos pode indicar direções, considerando as especificidades de cada contexto educacional. Porém, o ambiente escolar deve ser estimulante, de forma que os aprendizes se sintam reconhecidos, ao mesmo tempo em que as ameaças precisam ser identificadas e reduzidas (COSENZA; GUERRA, 2011).

2.3.2 Estímulos e formação de memórias

Para que os mecanismos de memória sejam ativados, experimentos relatados nesta revisão evidenciaram o papel dos estímulos neste processo. É mister observar que a aprendizagem é uma consequência desta relação de causa e efeito: estímulos (emoção) e memórias. Nesta perspectiva, Nielson e Bryant (2005) investigaram os efeitos de uma pequena recompensa não contingente, intrínseca ou extrínseca, na recuperação atrasada da memória. Os participantes (n=108) estudaram e recordaram uma lista de 30 substantivos imagináveis e afetivamente neutros. Os grupos experimentais receberam então uma recompensa intrínseca (por exemplo, elogios) ou uma recompensa extrínseca (por exemplo, U\$ 1). Após um período de uma semana, o desempenho de recuperação dos participantes para a lista de palavras foi significativamente melhor nos grupos de recompensas extrínsecas, quer a recompensa fosse esperada ou não, quando comparados aos controles. Aqueles que receberam a recompensa intrínseca tiveram um desempenho um pouco melhor que os controles, mas a diferença não foi significativa. Assim, pelo menos algumas formas

de estímulo e recompensa, mesmo quando semanticamente não relacionadas ao material aprendido, podem efetivamente modular a consolidação da memória.

Estas evidências podem ser úteis para o desenvolvimento de novas estratégias de intervenção na memória, o que poderá influenciar diretamente na melhoria do processo de aprendizagem. Segundo os autores, ratificando outros paradigmas de aprendizagem, o estímulo não estava semanticamente relacionado ao material aprendido, sugerindo, portanto, que o momento e a resposta ao estímulo foram fundamentais para seu efeito na consolidação da memória.

De forma similar ao estudo anteriormente apresentado, Nielson, Yee e Erickson (2005) desenvolveram uma pesquisa onde 35 participantes adultos jovens e saudáveis aprenderam uma lista de substantivos comuns e depois viram um vídeo semanticamente não relacionado, com valência neutra ou emocionalmente estimulante. O vídeo foi mostrado após a aprendizagem da lista de palavras, a fim de evitar interferência dos estímulos na codificação ou atenção, o que poderia influenciar a consolidação da memória. Foi verificado que o aumento da frequência cardíaca foi significativamente maior no grupo que viu o vídeo emocionalmente estimulante em comparação com o neutro. O grupo de participantes que viu o vídeo emocionalmente estimulante lembrou significativamente mais palavras do que o grupo que viu o vídeo neutro nos períodos de 30 minutos e 24 horas após o experimento, apesar do desempenho comparável da memória do grupo antes da manipulação dos estímulos. Esses resultados sugeriram que os estímulos emocionais, mesmo de uma fonte não relacionada, são capazes de modular a consolidação da memória.

Para Nielson e Powless (2007), a partir dos experimentos realizados, a consolidação das memórias recém-formadas ocorre lentamente, permitindo que as memórias sejam alteradas pela experiência por algum tempo após a sua formação. Vários mecanismos, segundo eles, incluindo os estímulos, podem modular a consolidação da memória quando submetidos logo após a aprendizagem, sendo o tempo para ocorrer o estímulo uma variável importante neste estudo. Ao todo, 212 participantes aprenderam uma lista de palavras, que foi seguida por um videoclipe com estímulo nas valências positiva ou negativa (ou seja, comédia ou cirurgia, respectivamente) após períodos de 0, 10, 30 ou 45 minutos. O estímulo de qualquer valência induzida até 30 minutos após o aprendizado, mas não após 45 minutos, melhorou significativamente a recuperação em uma semana. Os resultados sugeriram

que há uma certa dependência do tempo do estímulo após a aprendizagem para a modulação da memória em humanos e que é o grau de excitação, e não a valência, que tem o papel de modular a memória.

Em outro estudo semelhante, Nielson e Lorber (2009) examinaram o efeito do estímulo induzido após a aprendizagem de palavras que variavam tanto na qualidade do estímulo quanto na valência, bem como a influência de três fatores de diferenças individuais que sabidamente influenciam a resposta ao estímulo: supressão emocional, reavaliação emocional e predisposição ao estímulo. Neste estudo, 76 adultos (57 mulheres) visualizaram e classificaram 60 palavras que variavam normativamente de alto a baixo em estímulo e valência. Dez minutos depois, eles assistiram a um vídeo de 3 minutos com valência cômica ou neutra. O estímulo induzido após a aprendizagem aprimorou a memória evocada em 1 semana, abrangendo a longa tarefa sem preferência por tipo de palavra ou posição serial, contrastando com relatos de efeitos de estímulos que interagem com as qualidades do estímulo. É importante ressaltar, segundo os autores, que a predisposição ao estímulo levou a um aprimoramento maior na modulação da MLP, enquanto o uso da reavaliação emocional, que reduz a resposta ao estímulo, inibiu a capacidade do estímulo de induzir o aprimoramento da memória. Depreendeu-se, a partir dos achados, que diferenças individuais que influenciam a resposta ao estímulo podem contribuir ou interferir na modulação da memória.

Segundo Nielson e Meltzer (2009), o estímulo fisiológico ou emocional moderado induzido após a aprendizagem modula a consolidação da memória, ajudando a distinguir memórias importantes das triviais. No entanto, segundo os pesquisadores, a contribuição da consciência subjetiva ou da interpretação do estímulo para esse efeito é incerta. A alexitimia, que é uma incapacidade de descrever ou identificar os estados emocionais e de estímulos, mesmo que as respostas fisiológicas ao estímulo estejam intactas, fornece uma ferramenta para avaliar o papel da interpretação do estímulo. Neste experimento, os participantes que obtiveram pontuação alta e baixa de alexitimia (N=30) aprenderam uma lista de 30 palavras, seguida de recordação imediata. Os participantes viram então um vídeo estimulante (cirurgia oral) ou um vídeo neutro (escovação de dentes). A memória foi testada 24 horas depois. A resposta fisiológica ao estímulo foi comparável entre os grupos, mas a resposta subjetiva ao estímulo foi prejudicada na alexitimia alta. No entanto, o atraso

no reconhecimento de palavras foi aprimorado pelo estímulo, independentemente do *status* da alexitimia. Assim, os resultados sugeriram que a resposta subjetiva ao estímulo, ou seja, a avaliação cognitiva, não era necessária para a modulação da memória.

Bergmann *et al.* (2012) também investigaram os efeitos de estímulos tanto com valências distintas (neutro, positivo e negativo) quanto com diferentes graus de excitação (baixo e alto) em uma tarefa interligada entre itens de MT e MLP. Segundo os pesquisadores, a emoção pode facilitar ou prejudicar a memória, dependendo do que, quando e como a memória é testada, e se o paradigma em questão é administrado como uma tarefa de MT ou de MLP. Para eles, enquanto os estímulos isolados que despertam emoções têm mais probabilidade de serem lembrados, a memória para o relacionamento entre duas ou mais partes de componentes (ou seja, memória relacional) parece ser pior na presença de estímulos emocionais, pelo menos em algumas tarefas de memória relacional. Os achados forneceram evidências adicionais de que os processos durante a codificação e pós-codificação, o intervalo de tempo entre o estudo e o teste e a interação entre valência e grau de excitação podem modular os efeitos da emoção na memória associativa.

Reflexões para o contexto educacional

As pesquisas revelam que um determinado estímulo com valor emocional positivo ou negativo pode influenciar diretamente o processo de aprendizagem. Verifica-se que detalhes do ambiente são capazes de ser identificados como mobilizadores, ainda que passem despercebidos pela consciência. O córtex cerebral, nesse caso, ao perceber as respostas corporais desencadeadas, pode se confundir e identificar erroneamente a origem da emoção ao fazer associações com outros fatores ambientais imediatos também percebidos de forma consciente. Como exemplo, cita-se um professor que pode estar irritado por ter chegado atrasado na escola porque um pneu do carro furou, mas achar que o motivo da irritação seja a presença de um aluno indisciplinado. Neste sentido, é necessário estar atento aos estímulos emocionalmente carregados, sabendo que o autoconhecimento emocional é uma habilidade que pode ser aprendida e aperfeiçoada (COSENZA; GUERRA, 2011).

2.3.3 Estresse e formação de memórias

No estudo de Tollenaar et al (2008), foram examinados os efeitos do aumento do cortisol induzido pelo estresse na recuperação da MLP durante e após o estresse psicossocial agudo. No experimento, 70 estudantes do sexo masculino foram expostos a uma tarefa de estresse psicossocial ou a uma tarefa de controle não estressante. Durante e após essa tarefa, a recuperação foi testada para associações de pares de palavras emocionalmente negativas e neutras idiossincráticas, aprendidas 1 dia ou 5 semanas antes. Dentro da condição de estresse, a recuperação de palavras negativas, cinco semanas após a aprendizagem, foi prejudicada durante e após a tarefa de estresse em comparação ao grupo controle. Além disso, durante a tarefa de estresse, quando a atividade simpática foi aprimorada, a recuperação prejudicada de palavras neutras e emocionais estava significativamente relacionada à resposta aprimorada ao cortisol. Por outro lado, segundo os pesquisadores, após a tarefa de estresse, quando os níveis de cortisol ainda estavam aumentados, mas a atividade simpática estava baixa novamente, nenhuma associação foi encontrada entre o aumento do cortisol e a recuperação de material neutro ou emocional. Esses resultados sugeriram que, quando o estímulo é alto, o aumento do cortisol pode prejudicar a recuperação da memória.

Zoladz *et al.* (2011) examinaram como a administração do estresse em diferentes momentos antes da aprendizagem afeta a MLP (24 horas) para informações neutras ou emocionalmente relevantes. Os participantes submergiram sua mão dominante em um banho de água gelada (estresse) ou em um banho de água morna (sem estresse) por 3 minutos. Imediatamente (Experimento 1) ou 30 minutos (Experimento 2) após a manipulação do banho de água, os participantes foram apresentados a uma lista de 30 palavras, variando em valência emocional. No dia seguinte, segundo o estudo, a memória dos participantes para a lista de palavras foi avaliada por meio de testes de reconhecimento livres. Em ambos os experimentos, os participantes estressados apresentaram maiores pressão arterial, níveis de cortisol salivar e classificações subjetivas de dor e estresse do que os participantes não estressados em resposta à manipulação do banho de água. O estresse submetido imediatamente antes da aprendizagem (Experimento 1) aumentou o reconhecimento de palavras positivas, enquanto o estresse aplicado 30 minutos antes da

aprendizagem (Experimento 2) prejudicou o reconhecimento livre de palavras negativas. O reconhecimento dos participantes das palavras positivas no experimento 1 foi associado positivamente às respostas da frequência cardíaca à manipulação do banho-maria, enquanto o reconhecimento livre dos participantes das palavras negativas no experimento 2 foi negativamente associado às respostas da pressão arterial e do cortisol à manipulação do banho-maria. Esses achados sugeriram que os efeitos diferenciais do estresse pré-aprendizagem na MLP podem depender da proximidade temporal do estressor com a experiência de aprendizagem e da valência emocional das informações a serem aprendidas.

Neste mesmo contexto, Trammell e Clore (2014) desenvolveram três experimentos para examinar a hipótese de que o estímulo induzido pelo estresse melhora a MLP para experiências associadas a tais estímulos. Ao contrário do esperado, em cada experimento, a exposição a um estressor (imersão do braço em água gelada) interferiu negativamente na MLP. Apesar de variar os estímulos (palavras, figuras), sua valência emocional (positiva, negativa ou neutra), o tempo entre a aprendizagem e as induções de estresse (0 a 1 minuto) e as oportunidades para o ensaio pós-aprendizagem, cada experimento produziu uma reversão significativa do efeito hipotético. Ou seja, em cada experimento, a exposição a um estressor interferia negativamente na MLP. O estudo concluiu que a relação entre estresse e consolidação da memória é mais limitada do que se acreditava anteriormente.

Reflexões para o contexto educacional

Verifica-se que o estresse é um elemento que precisa ser considerado na gestão dos processos de aprendizagem. As situações que mais frequentemente causam estresse são aquelas em que o estudante se sente desamparado, quando encontra dificuldades que não consegue superar ou julga que são intransponíveis. Agentes estressores como ameaças de colegas ou um mau relacionamento com os professores, excesso de conteúdo ou processo de avaliação com tensão excessiva, bem como dificuldades acadêmicas mal resolvidas podem ser fontes que interferem negativamente no processo educacional.

Nesta linha de pensamento, nota-se a necessidade de se estar atento não só às emoções dos alunos, mas de todos os envolvidos no processo. A linguagem

emocional é corporal antes de ser verbal, e muitas vezes a postura, as atitudes e o comportamento do professor ou do aluno assumem uma importância da qual nem sempre é valorizada. Por conta desses fatores, o que é transmitido pode ser bem diferente do que se pretendia ensinar (COSENZA; GUERRA, 2011).

2.3.4 Relação entre emoções, formação de memórias e aprendizagem

Até aqui, foram evidenciadas as relações entre sistema límbico, estímulos, agentes estressores e formação de memórias, como condição necessária para que o processo de aprendizagem ocorra. Esta última seção explicita responder o objetivo da revisão sistemática, uma vez que, ao se discutir o papel da MLP, também se inserem outros tipos de memórias que apareceram ao longo dos estudos apresentados, como é o caso da MT. O estudo de Cocenas-Silva, Bueno e Detroit-Volet (2013) examinou o efeito da emoção na duração da MLP, sendo que a MLP é onde devem ser armazenadas de forma sólida as informações decorrentes do processo de aprendizagem. Para tanto, foi realizado um experimento onde, no primeiro dia, os participantes aprenderam uma tarefa temporal em uma condição de controle de alta excitação ou neutro que foi seguida por uma tarefa de interferência de 15 minutos. Depois de 24 horas, no dia 2, eles receberam um teste. Nesse teste de evocação, eles julgaram se as durações de comparação eram ou não semelhantes à duração padrão aprendida anteriormente. Os resultados mostraram que a discriminação temporal foi mais precisa na condição emocional do que na condição neutra. Assim, segundo os achados, a emoção fortaleceu os traços de memória, aumentando sua resistência contra os efeitos de interferência.

Em outro estudo, Wang (2015) investigou o efeito da emoção negativa na consolidação da memória de itens e memória de origem (associação de palavras). A associação de palavras é fundamental para entendimento de conceitos, analogias e inferências durante o processo de aprendizagem como um todo. Os participantes aprenderam palavras lidas por homens ou mulheres. Depois, eles assistiram a um videoclipe com tema negativo ou neutro. Os testes de memória foram realizados 25 minutos ou 24 horas após o aprendizado. O estudo produziu os seguintes resultados: primeiro, a emoção negativa aprimorou a consolidação da memória de itens medida pela memória de reconhecimento no período de 25 minutos e a consolidação

aprimorada da memória de itens medida pelo reconhecimento livre nos períodos de 25 minutos e 24 horas; segundo, a emoção negativa teve pouco efeito na consolidação da memória de origem, tanto no período de 25 minutos quanto no de 24 horas. Tais achados forneceram evidências dos efeitos diferenciais da emoção negativa na memória de itens e na memória de origem, e têm implicações no uso da emoção como estratégia para intervir na consolidação da memória e, por conseguinte, no processo de aprendizagem.

Wang e Sun (2015), em estudo semelhante, realizaram dois experimentos para examinar os efeitos dependentes do tempo da emoção negativa na consolidação de itens e monitoramento interno da memória de origem. No experimento 1, os participantes (N=121) aprenderam uma lista de palavras. Eles foram convidados a ler em voz alta metade das palavras e pensar na metade restante. Segundo os pesquisadores, foram instruídos a memorizar cada palavra e sua operação cognitiva associativa ("leitura" versus "pensamento"). Imediatamente após a aprendizagem, eles deveriam recordar-se livremente e assistiram a um videoclipe de 3 minutos, neutro ou negativo, quando 5, 30 ou 45 minutos haviam decorridos após a aprendizagem. 24 horas depois, eles retornaram para fazer testes surpresa de itens e memória de origem. O experimento 2 foi semelhante ao experimento 1, exceto que os participantes, sem realizar um teste imediato de recuperação livre, realizaram testes de memória de origem para todas as palavras codificadas imediatamente e 24 horas após a aprendizagem.

O experimento 1 mostrou que a emoção negativa melhorou a consolidação da memória de itens (medida pela taxa de retenção da recuperação livre), independentemente do atraso na obtenção da emoção, e que a emoção negativa melhorou a consolidação da memória de origem quando foi provocada com um atraso de 5 minutos, mas reduziu a consolidação da memória de origem quando foi obtida com um atraso de 30 minutos; quando provocada com um atraso de 45 minutos, a emoção negativa teve pouco efeito. Além disso, o experimento 2 replicou o efeito de aprimoramento na memória de origem no período de 5 minutos, mesmo quando os participantes foram testados em todas as palavras codificadas.

O presente estudo replicou parcialmente estudos anteriores sobre memória de itens e amplia a literatura, fornecendo evidências de um efeito dependente do tempo

da emoção negativa na consolidação da memória de origem com base no monitoramento interno.

Tyng *et al.* (2017) buscaram as evidências para entender os efeitos da emoção na aprendizagem e na memória e os papéis funcionais desempenhados por várias regiões do cérebro e suas interações mútuas em relação ao processamento emocional. Segundo os pesquisadores, a emoção tem uma influência substancial nos processos cognitivos nos seres humanos, incluindo percepção, atenção, aprendizagem, memória, raciocínio e solução de problemas. Segundo os achados, a emoção também facilita a codificação e ajuda a recuperar as informações com eficiência. No entanto, os efeitos da emoção na aprendizagem e memória podem variar, pois estudos relataram que a emoção melhora ou prejudica a aprendizagem e a retenção na MLP, dependendo de vários fatores, conforme levantados nesta revisão sistemática. Ainda no estudo de Tyng *et al.* (2017), achados de neuroimagem indicaram que a amígdala e o córtex pré-frontal cooperam com o lobo temporal medial de maneira integrada, o que proporciona a consolidação da memória moduladora da amígdala; o córtex pré-frontal mediando a codificação e formação da memória; e o hipocampo para aprendizagem bem-sucedida e retenção de MLP.

O estudo de Baudonnat *et al.* (2013) demonstrou que a dopamina tem sido fortemente associada a aspectos de aprendizagem e de motivação por reforço em situações simples, onde há um número limitado de estímulos para orientar o comportamento e uma gama restrita de resultados. Segundo os pesquisadores, em situações normais, no entanto, existem muitas sugestões em potencial e estratégias que podem ser adotadas, e é fundamental que os sujeitos determinem o que pode ser relevante em termos comportamentais em ambientes tão complexos. Isso requer não apenas detectar discrepâncias com o que eles experimentaram recentemente, mas também, identificar semelhanças com experiências passadas armazenadas na memória. Os autores evidenciaram o papel da dopamina na determinação de como e quando aprender sobre o mundo e como desenvolver políticas de escolha adequadas à situação enfrentada. Foram encontradas evidências de que a dopamina é moldada pela motivação e pela memória e, por sua vez, molda a formação da memória baseada em recompensa.

Para relacionar práticas de aprendizagem com aquisição de memórias mais duradouras, Gerbier e Toppino (2015) discutiram achados comportamentais de

neuroimagem e neurofisiológicos, relacionados ao efeito do que eles chamaram de práticas distribuídas. Segundo eles, para obter retenção duradoura, as informações devem ser praticadas repetidamente e de forma distribuída ao longo do tempo, potencializando assim os processos de aprendizagem, uma vez que tais práticas podem afetar a morfologia dos neurônios. Os autores evidenciaram que os estímulos espaçados de células do hipocampo podem desencadear o desenvolvimento de novas extensões dendríticas neuronais, o que sugere a criação de novas sinapses, potencializando a aprendizagem, além de aumentar a sobrevivência das células neurais mais novas.

Entender os mecanismos de funcionamento das memórias contribui para o entendimento das vias mais seguras de potencialização da aprendizagem. Segundo Dunsmoor (2015), os modelos neurobiológicos da MLP propõem um mecanismo pelo qual as memórias inicialmente fracas são fortalecidas por meio da ativação subsequente que envolve as vias neurais comuns minutos a horas depois. Segundo o autor, este modelo sináptico de marcação e captura foi levantado como hipótese para explicar como informações irrelevantes são seletivamente consolidadas após experiências marcantes. O estudo mostrou que a informação é seletivamente consolidada se informações conceitualmente relacionadas, representadas gradualmente em um substrato neural comum, são destacadas por meio de uma experiência de aprendizagem emocional. A partir dos experimentos, verificou-se que a memória para objetos neutros era aprimorada seletivamente se outros objetos da mesma categoria fossem combinados com choque. Esses achados forneceram evidências para um aprimoramento generalizado da memória retroativa, em que informações irrelevantes podem ser retroativamente creditadas como relevantes e, portanto, lembradas seletivamente, se informações conceitualmente relacionadas adquirirem relevância no futuro, por meio de algum vínculo emocional.

Pôde-se constatar, em suma, que a relação entre emoções, formação de memórias e aprendizagem se dá em decorrência do funcionamento dos sistemas límbico e de recompensa, pela modulação dos estímulos emocionais na consolidação das memórias, considerando grau e valência específicos para que haja interferência positiva ou negativa no processo de aprendizagem.

Reflexões para o contexto educacional

Os experimentos apresentados enfatizam a melhoria da modulação na consolidação de memórias, e de como este processo pode contribuir para criar um ambiente educacional mais propício à aprendizagem. Destaque para a MT, que é um componente essencial para garantir o bom funcionamento das funções executivas que, por sua vez, são responsáveis pela interação do sujeito com o mundo, influenciando diretamente nas tomadas de decisão.

Neste sentido, no ambiente educacional as funções executivas são primordiais para que o estudante possa ter sucesso em todas as etapas da educação, e as considerações sobre a influência das emoções se fazem presentes neste contexto. Contudo, é preciso levar em conta que as funções executivas se desenvolvem de forma gradual. O ambiente escolar deve ser bem estruturado para propiciar o desenvolvimento delas, valorizando as histórias individuais e respeitando as desigualdades. Os educadores precisam criar condições para que os estudantes se desenvolvam em termos de planejamento, desempenho, compreensão e expressão, a fim de que aprimorem a capacidade de autorregulação e saibam reconhecer limites, mas também identificar oportunidades, avaliar riscos e refletir sobre os próprios erros.

2.4 Considerações Finais do Mapeamento Sistemático

Os trabalhos avaliados neste mapeamento trazem evidências científicas que sugerem a relação entre emoções, formação de memórias, com ênfase na MLP, e aprendizagem, sendo esta última entendida tanto como uma mudança no comportamento que resulta da aquisição de conhecimento, quanto como um processo de formação e consolidação de células nervosas, fruto de modificações químicas e estruturais no sistema nervoso.

Tais evidências foram pautadas nos experimentos apresentados, os quais sugeriram que informações aprendidas em um contexto emocional são melhor moduladas pela MLP quando comparadas com eventos neutros. As memórias emocionais envolvem a integração de redes neurais cognitivas e emocionais, nas quais a ativação da amígdala aumenta o processamento de estímulos emocionais, modulando a consolidação da memória junto ao hipocampo, ao lobo temporal medial, bem como aos córtices visual, frontal e parietal, o que potencializa a aprendizagem.

Verificou-se também que fatores como o estresse e o tempo de estímulos emocionalmente impactantes anteriores à aprendizagem potencializam o sucesso do aprendiz.

Em resposta à questão de pesquisa, constatou-se que os efeitos causados por estímulos emocionalmente carregados na formação de memórias e aprendizagem estão evidenciados na melhoria da consolidação da memória de longo prazo, gerando estímulos à plasticidade sináptica. Além disso, quando o hipocampo forma representações de significado emocional, há uma influência direta na resposta da amígdala, modulando a codificação e o armazenamento de memórias.

Verificou-se também que o córtex orbitofrontal é importante no controle social das respostas emocionais e cuida da associação do processamento emocional com o processamento cognitivo ou racional do cérebro, com influência direta na aprendizagem. O controle dos componentes emocionais, portanto, deve ser respeitado e desenvolvido, o que pode contribuir para a melhoria da aprendizagem e para a preparação de sujeitos mais capazes de viver a vida em sociedade, em busca da realização pessoal.

3 FUNDAMENTOS NEUROCIÊNCIAS DA BASE TEÓRICA

3.1 Aprendizagem e Memória

A aprendizagem refere-se a uma mudança no comportamento que resulta da aquisição de conhecimento acerca do mundo, e a memória é o processo pelo qual esse conhecimento é codificado, armazenado e posteriormente evocado. A aprendizagem e a memória são essenciais para o pleno funcionamento e a sobrevivência independente de pessoas e animais (WAGNER *et al.*, 1998; KANDEL *et al.*, 2014).

Em 1861, Pierre Paul Broca descobriu que uma lesão na porção posterior do lobo frontal esquerdo (área de Broca) produz uma deficiência específica da linguagem. Logo, tornou-se claro que outras funções mentais, como a percepção e o movimento voluntário, também são mediadas por regiões bem definidas do encéfalo. Isso levou os pesquisadores a indagarem se existiam sistemas neurais delimitados relacionados com a memória (WAGNER *et al.*, 1998; KANDEL *et al.*, 2014).

Ao contrário da visão prevalente de que as funções cognitivas possuem localizações específicas no encéfalo, havia dúvida se a memória seria uma entidade localizada. Até meados do século XX, psicólogos duvidavam que a memória fosse uma função com áreas delimitadas no encéfalo, independente da percepção, da linguagem ou do movimento. Uma razão para essa dúvida era que o armazenamento da memória envolve partes diferentes do encéfalo. No entanto, já se sabe que tais regiões não são igualmente importantes. Há diversos tipos fundamentalmente distintos de memória, e certas regiões do encéfalo são muito mais importantes para alguns tipos de armazenamento (WAGNER *et al.*, 1998; KANDEL *et al.*, 2014).

Com o avanço das pesquisas na área de neurociências, tem-se a discussão de três ideias centrais sobre o tema: primeiro, a de que há diversas formas de aprendizagem e memória, cada qual com suas próprias e distintas propriedades cognitivas, mediadas por sistemas encefálicos específicos; segundo, a de que a memória pode ser dividida em processos separados: codificação, armazenamento, consolidação e evocação; e, por fim, a de que imperfeições e erros na evocação são sinais da natureza e da função da aprendizagem e da memória (WAGNER *et al.*, 1998; KANDEL *et al.*, 2014).

A memória pode ser classificada conforme duas dimensões: 1) o curso temporal do armazenamento; e 2) a natureza da informação armazenada. É considerado inicialmente o curso temporal.

3.1.1 Sistemas neurais das memórias de curto e de longo prazo

A memória de curto prazo mantém representações transitórias de informações relevantes para objetivos imediatos. Quando se reflete acerca da natureza da memória, geralmente pensa-se na memória de longa duração, podendo ser chamada também de “memória propriamente dita” ou “memória secundária”. Ou seja, pensa-se na memória como “o conhecimento de um estado prévio da mente após já ter sido uma vez removido da consciência”. Esse conhecimento depende da formação de um traço de memória que é durável, no qual a representação persiste, mesmo quando seu conteúdo ficar fora da percepção consciente por um longo período (MARTIN; CHAO, 2001; JONIDES *et al.*, 2008).

Nem todas as formas de memória, porém, constituem “estados prévios da mente”. De fato, a capacidade de armazenar informação depende da memória de curto prazo, chamada de MT, que mantém representações atuais, embora transitórias, de conhecimentos relevantes para certos objetivos. Nos seres humanos, a MT consiste em pelo menos dois subsistemas – um para a informação verbal e outro para a informação visuoespacial. O funcionamento desses dois subsistemas é coordenado por um terceiro sistema, denominado ‘processos de controle executivo’. Acredita-se que os processos de controle executivo aloquem recursos de atenção para os subsistemas verbal e visuoespacial, além de monitorar, manipular e atualizar as representações armazenadas (MARTIN; CHAO, 2001; JONIDES *et al.*, 2008).

Utiliza-se o subsistema verbal ao tentar manter informação com base na linguagem falada (fonológica) conscientemente, como, por exemplo, quando mentalmente se repete um número de telefone que se quer memorizar provisoriamente. O subsistema verbal consiste em dois componentes interativos: um armazenado, que representa conhecimento fonológico, e um mecanismo de ensaio ou repetição mental, que mantém essas representações ativas enquanto se precisa delas. Dados neuropsicológicos e de neuroimagem indicam que o armazenamento fonológico depende dos córtices parietais posteriores, e o ensaio depende

parcialmente de processos articuladores na área de Broca (MARTIN; CHAO, 2001; JONIDES *et al.*, 2008).

O subsistema visuoespacial da MT retém imagens mentais de objetos visuais e da localização dos objetos no espaço. Acredita-se que o ensaio da informação espacial e relativa a objetos envolva a modulação de tais representações nos córtices parietal, temporal inferior e occipital extraestriatal pelos córtices frontal e pré-motor (MARTIN; CHAO, 2001; JONIDES *et al.*, 2008).

Registros unitários (eletrofisiológicos) em células de primatas não humanos indicam que alguns neurônios pré-frontais mantêm representações espaciais, outros mantêm representações de objetos e ainda outros representam a integração de ambos os conhecimentos, espacial e de objetos. Embora os neurônios relacionados com a MT de objetos tendam a se situar no córtex pré-frontal ventrolateral, e aqueles relacionados com o conhecimento espacial tendam a se situar no córtex pré-frontal dorsolateral, todas as três classes de neurônios estão presentes em ambas as sub-regiões pré-frontais (MARTIN; CHAO, 2001; JONIDES *et al.*, 2008).

3.1.2 Conversão da memória de curto prazo em memória de longo prazo

Em meados da década de 1950, novas evidências acerca das bases neurais da memória de longa duração emergiram do estudo de pacientes que haviam sofrido a remoção bilateral do hipocampo e de regiões vizinhas no lobo temporal medial, como tratamento para a epilepsia. O primeiro caso estudado foi o de um paciente chamado Henry Molaison (H. M.) (SCHACTER; WIG; STEVENS, 2007).

H. M., um homem de 27 anos, apresentava havia mais de dez anos uma epilepsia intratável do lobo temporal, causada por uma lesão encefálica que ele sofrera aos 7 anos, em um acidente de bicicleta. Como adulto, suas crises tornaram-no incapaz de trabalhar e de levar uma vida normal. Foi removida cirurgicamente a formação hipocampal, a amígdala e partes da área associativa multimodal do córtex temporal, em ambos os hemisférios. Após a cirurgia, as crises de H. M. ficaram sob controle, mas ele passou a exibir um severo déficit de memória (ou amnésia). O mais notável na deficiência de H. M., porém, era sua especificidade (SCHACTER; WIG; STEVENS, 2007).

Segundo os autores, sua MT era normal, durando de segundos a minutos, indicando que o lobo temporal medial não é uma estrutura necessária para memórias transitórias. Ele também tinha MLP para eventos que haviam ocorrido antes da cirurgia: lembrava de seu nome, do trabalho que executava e de eventos da infância, embora sua memória não fosse muito robusta para informações adquiridas nos anos imediatamente anteriores à cirurgia. Além disso, ele ainda detinha o comando da linguagem, incluindo seu vocabulário, o que significava que a memória semântica estava preservada. Seu quociente de inteligência não mudou, permanecendo na faixa entre normal e brilhante (SCHACTER; WIG; STEVENS, 2007).

O que H. M. não possuía mais era a capacidade de transferir novas informações da MT para a MLP. Ele era incapaz de reter, por longos períodos, as informações acerca de pessoas, lugares ou objetos com os quais há pouco havia feito contato. Por exemplo, se lhe fosse pedido que lembrasse um número de telefone, H. M. podia repeti-lo imediatamente, passados segundos ou mesmo minutos, pois sua MT estava preservada. No entanto, os autores relatam que, se sofresse qualquer distração, ele esquecia o número. H. M. não conseguia reconhecer pessoas que havia conhecido após a cirurgia, mesmo após encontrá-las muitas vezes. O caso de H. M. não é único. Todos os pacientes com grandes lesões bilaterais nas áreas associativas límbicas do lobo temporal medial, resultantes de cirurgia ou de doença, apresentam deficiências semelhantes na MLP (SCHACTER; WIG; STEVENS, 2007).

O paciente H. M. é um caso histórico, pois sua deficiência elucidou a primeira ligação clara entre memória e lobo temporal medial, incluindo o hipocampo. Considerando-se as grandes dimensões do hipocampo propriamente dito, os pesquisadores indagavam o seguinte: quão extensa deve ser uma lesão bilateral para poder causar um déficit de memória? Evidências clínicas de diversos pacientes, assim como dados de animais experimentais, sugeriam que uma lesão restrita a qualquer dos componentes principais do sistema pode ter um efeito significativo sobre a MLP. Por exemplo, verificou-se que outro paciente, após uma parada cardíaca, tinha apenas uma lesão detectável: a destruição de células piramidais na região CA1 do hipocampo. Mesmo assim, a deficiência na memória deste paciente era qualitativamente semelhante àquela de H. M., embora fosse mais moderada quantitativamente (SQUIRE; KANDEL, 1999).

No entanto, as diferentes sub-regiões do lobo temporal medial, que juntas constituem o sistema de memória do lobo temporal medial, podem não desempenhar papéis equivalentes. Por exemplo, algumas áreas no circuito do lobo temporal medial podem ser importantes para o reconhecimento de objetos. Uma lesão no córtex perirrinal que poupa o hipocampo situado logo abaixo produz um déficit de reconhecimento de objetos maior que aquele verificado com uma lesão seletiva do hipocampo que não incluía o córtex adjacente (SQUIRE; KANDEL, 1999).

Em contrapartida, argumentam os pesquisadores, o hipocampo pode ser relativamente mais importante para a representação espacial que para o reconhecimento de objetos. Em camundongos e em ratos, lesões do hipocampo interferem na memória espacial e de contexto, e neurônios individuais do hipocampo codificam informação espacial específica. A imagem funcional do encéfalo em seres humanos saudáveis mostra que a atividade aumenta no hipocampo direito quando uma informação espacial é evocada, aumentando no hipocampo esquerdo quando palavras, objetos ou pessoas são lembrados. Esses achados fisiológicos são consistentes com observações clínicas nas quais lesões no hipocampo direito originam problemas de orientação espacial, enquanto lesões no hipocampo esquerdo causam defeitos na memória verbal (SQUIRE; KANDEL, 1999).

3.1.3 Classificações da memória de longo prazo: explícita ou implícita

Segundo Squire e Kandel (1999), outro achado acerca do paciente H. M. foi que nem todos os tipos de MLP ficaram prejudicados. Embora H. M. e outros pacientes com lesões no lobo temporal medial tenham profundas deficiências de memória, eles são capazes de formar e reter certos tipos de memórias duráveis tão bem quanto indivíduos saudáveis.

Por exemplo, H. M. aprendeu a desenhar os contornos de uma estrela olhando para a estrela e sua mão em um espelho. Do mesmo modo que indivíduos saudáveis aprendem a remapear a coordenação entre olho e mão, H. M. cometia muitos erros inicialmente, mas, após dias de treino, seu desempenho não tinha erros e era comparável àquele de indivíduos saudáveis. Ainda assim, segundo os autores, ele não era capaz de recordar conscientemente ter alguma vez realizado essa tarefa (SQUIRE; KANDEL, 1999).

Trabalhos posteriores esclareceram que as capacidades de MLP de H. M. e de outros pacientes amnésicos não se limitavam a habilidades motoras (SQUIRE; KANDEL, 1999). Esses pacientes retêm o aprendizado de reflexos simples, incluindo habituação, sensibilização, condicionamento clássico e condicionamento operante. Além disso, são capazes de melhorar seu desempenho em certas tarefas conceituais e de percepção. Por exemplo, eles têm bom desempenho em uma forma de memória conhecida como *priming*, na qual a percepção/detecção de uma palavra ou objeto aumenta após exposição prévia a essa palavra ou objeto. Assim, quando se mostram apenas as letras iniciais de palavras previamente estudadas, um paciente com amnésia é capaz de reconstituir a mesma quantidade de palavras que indivíduos normais, embora os amnésicos não tenham memória consciente de haver estudado recentemente tais palavras (SCHACTER; WIG; STEVENS, 2007).

Diante das evidências, os pesquisadores indagavam: será essa distinção entre formas de MLP em pacientes amnésicos uma diferença fundamental na função normal da memória? Para a busca da resposta, foram examinados indivíduos normais e descobriram dois tipos de MLP que diferiam pelo fato de envolverem ou não a percepção consciente necessária para a evocação (SCHACTER; WIG; STEVENS, 2007).

O primeiro tipo é uma forma inconsciente de memória observada durante o desempenho de uma tarefa e que é conhecida como 'memória implícita' (também chamada de memória não declarativa ou de procedimentos). A memória implícita manifesta-se geralmente de forma automática, com pouco processamento consciente por parte do indivíduo. Diferentes tipos de experiência podem produzir memórias implícitas, como o *priming*, o aprendizado de habilidades motoras, a memória de hábitos e os condicionamentos (SCHACTER; WIG; STEVENS, 2007).

Segundo os pesquisadores, o outro tipo é a evocação consciente de experiências prévias, bem como a evocação consciente do conhecimento de fatos acerca de pessoas, lugares e coisas. Esse tipo é conhecido como 'memória explícita' (ou memória declarativa). A memória explícita é altamente flexível, permitindo a associação de múltiplos fragmentos de informação sob diferentes circunstâncias. A memória implícita, por outro lado, permanece fortemente dependente das condições originais sob as quais se deu o aprendizado.

3.1.4 Classificações da memória explícita: episódica e semântica

Segundo Tulving e Schacter (1990), foi desenvolvida a ideia de que a memória explícita também pode ser classificada em episódica (memória da experiência pessoal ou memória autobiográfica) e semântica (memória para fatos e conceitos). Como exemplo, a memória episódica é utilizada para recordar que esteve em um lugar diferente, ou que ouviu uma música agitada tempos atrás. A memória semântica é utilizada para se apreender o significado de novas palavras ou conceitos. O lobo temporal medial desempenha um papel crítico em ambos os tipos de memória, como evidenciado em pacientes como H. M., que apresentou dificuldade em formar e reter novas memórias conscientes de suas experiências pessoais ou significado de novos conceitos.

Outras duas constatações importantes acerca da memória explícita são: o encéfalo não possui um sítio único de armazenamento de longa duração para memórias explícitas. Ao contrário, o armazenamento de qualquer item cognitivo está amplamente distribuído em muitas regiões encefálicas e pode ser acessado de forma independente (por meio de dicas visuais, verbais ou outros elementos sensoriais); e a memória explícita é mediada por pelo menos quatro tipos de processamento relacionados, porém distintos entre si, conforme já descritos nesta tese: codificação, armazenamento, consolidação e evocação (KANDEL *et al.*, 2014).

3.1.5 Processamento da memória explícita

A codificação é o processo pelo qual novas informações são observadas e conectadas com informações preexistentes na memória. A intensidade desse processo é criticamente importante para determinar quão bem o material aprendido será lembrado. Para uma memória persistir e ser bem lembrada, a informação que chega deve ser codificada de forma completa, em um processo denominado codificação profunda. Isso é feito percebendo-se atentamente a informação e associando-a a conhecimentos que já estejam bem estabelecidos na memória. A codificação da memória também é mais forte quando se está mais motivado a lembrar (CRAIK; LOCKHART, 1972; KANDEL *et al.*, 2014).

O armazenamento refere-se aos mecanismos e sítios neurais que permitem a retenção da memória ao longo do tempo. Uma das características notáveis do armazenamento de longa duração é que ele parece ter uma capacidade quase ilimitada; não existe limite conhecido para a quantidade de informação possível de ser armazenada a longo prazo. Em contraste, o armazenamento na MT, conforme já discutido, é muito limitado, com a possibilidade de retenção de poucos fragmentos de informação em um dado momento (CRAIK; LOCKHART, 1972; KANDEL *et al.*, 2014).

A consolidação é o processo que faz a informação ainda lábil e armazenada temporariamente ficar mais estável. A consolidação envolve a expressão de genes e a síntese proteica que produzem alterações estruturais nas sinapses (CRAIK; LOCKHART, 1972; KANDEL *et al.*, 2014).

Por fim, a evocação é o processo pelo qual a informação armazenada é evocada. Envolve trazer novamente à mente diferentes tipos de informação, armazenados em diferentes lugares no encéfalo. A evocação da memória é semelhante à percepção, na medida em que se trata de um processo construtivo e, portanto, está sujeita a distorções, da mesma forma que a percepção está sujeita a ilusões (CRAIK; LOCKHART, 1972; KANDEL *et al.*, 2014).

A evocação da informação é mais eficiente quando há alguma pista ou sinal que lembra o indivíduo de como ele inicialmente codificara uma experiência. Em um experimento, pesquisadores pediram a alguns participantes que codificassem sentenças como “O homem levantou o piano”. Mais tarde, em um teste, “algo pesado” foi uma pista mais efetiva para lembrar do piano do que sugestões como “algo com um belo som”. A outros participantes desse estudo foi solicitada a codificação da sentença “O homem afinou o piano”. Para eles, “algo com um belo som” foi uma pista mais eficiente para evocar “piano” que sugestões como “algo pesado”. A evocação, em especial de memórias explícitas, também depende parcialmente da MT (CRAIK; LOCKHART, 1972; KANDEL *et al.*, 2014).

3.1.6 Características neurocientíficas do conhecimento episódico

Embora estudos de pacientes amnésicos tenham aprimorado a compreensão de vários tipos de memória, lesões no lobo temporal medial afetam as quatro operações da memória – codificação, armazenamento, consolidação e evocação –,

sendo comum existir a dúvida sobre qual a contribuição do lobo temporal medial em cada um desses processos. Os pesquisadores discorrem que técnicas como a tomografia por emissão de pósitrons (PET) e a ressonância magnética funcional (fMRI)¹ permitem examinar encéfalos saudáveis no processo de construção de novas memórias ou de evocação de memórias preexistentes e, desse modo, identificar regiões específicas ativas durante diferentes processos (KANDEL *et al.*, 2014).

Estudos que examinam o encéfalo empregando fMRI mostram que a atividade no lobo temporal medial é maior quando os indivíduos estão envolvidos na codificação profunda (e.g. quando prestam atenção no significado da informação, analisando se cada palavra se refere a algo concreto ou abstrato) do que quando estão envolvidos em condições mais superficiais (e.g. avaliando se uma palavra está impressa em letras maiúsculas ou minúsculas). Segundo os pesquisadores, a atividade em porções do córtex pré-frontal esquerdo também está aumentada durante a codificação profunda, sugerindo que o processamento no lobo frontal e no lobo temporal medial contribua para a codificação de memórias episódicas (CRAIK; LOCKHART, 1972).

Experimentalmente, foi testada a relação entre as atividades nos lobos frontal e temporal medial durante a codificação de uma experiência e na posterior evocação daquela experiência. Os participantes foram examinados com a técnica da fMRI relacionadas com eventos durante o aprendizado de uma série de palavras (essa técnica permite que os pesquisadores examinem a atividade encefálica em função das respostas dos participantes a itens ou eventos específicos). A memória das palavras era então testada fora do aparelho, para comparar a evocação com a atividade registrada enquanto as séries de palavras eram aprendidas. No momento da codificação, enquanto os participantes estudavam as palavras que mais tarde seriam capazes de recordar, diversas regiões do córtex pré-frontal esquerdo exibiam atividade aumentada (WAGNER *et al.*, 2001). Anteriormente, usando um método semelhante para examinar a codificação de memórias de figuras, Brewer *et al.* (1998) observaram uma maior atividade no córtex pré-frontal direito durante a codificação de imagens que seriam evocadas mais tarde, em comparação com figuras que não poderiam ser evocadas.

Ambos os estudos também revelaram maior atividade no lobo temporal medial durante a codificação de estímulos que eram subsequentemente lembrados em

¹ Sigla corresponde ao termo em inglês *Functional Magnetic Resonance Imaging*

comparação com aqueles que eram esquecidos. Essa é outra evidência de que o aprendizado episódico depende da interação entre processos de controle cognitivo no córtex pré-frontal e de mecanismos de enlaçamento associativo no lobo temporal medial (KANDEL *et al.*, 2014).

Os pesquisadores seguem argumentando que a interação entre o lobo temporal medial e outras regiões corticais distribuídas também é um ponto central das abordagens conceituais acerca da consolidação da memória. Ressalta-se que o paciente H. M., cujo lobo temporal medial havia sido removido cirurgicamente, ainda era capaz de evocar memórias da infância. De fato, observações iniciais sugeriam que H. M. podia evocar muitas das experiências de sua vida até diversos anos antes da cirurgia. Segundo os pesquisadores, essas observações de H. M. e de outros pacientes amnésicos com lesões no lobo temporal medial evidenciam que memórias antigas não são armazenadas no próprio lobo temporal medial e que, portanto, devem estar armazenadas em outras regiões corticais (SQUIRE; KANDEL, 1999).

A região temporal medial pode desempenhar um papel temporário na consolidação da memória. Porém, após um período suficientemente longo, ela não seria mais necessária, na medida em que essas memórias já podem ser evocadas diretamente a partir de regiões corticais. Para os pesquisadores, esse achado é consistente com o fato de que pacientes amnésicos são mais capazes de evocar memórias remotas que memórias recentes, do período imediatamente anterior ao momento em que se tornaram amnésicos (SQUIRE; KANDEL, 1999).

Da mesma forma que os estudos da codificação, os estudos da evocação de conhecimentos episódicos têm mostrado o envolvimento do córtex pré-frontal e do lobo temporal medial. Em um desses estudos, os pesquisadores treinaram macacos para associar um objeto visual específico com uma dica visual que o precedia. Durante o treino, os macacos aprendiam que receberiam uma recompensa se pressionassem uma alavanca quando determinado objeto fosse mostrado, mas apenas quando tal objeto fosse precedido pela dica visual aprendida. Registros eletrofisiológicos revelaram que, após o treino, a dica visual era capaz de ativar neurônios no córtex temporal inferior do macaco durante a evocação da memória visual armazenada (SQUIRE; KANDEL, 1999).

Destaca-se que, mesmo após o macaco ter sido submetido à cirurgia encefálica para impedir o fluxo aferente de informação do córtex visual primário para o córtex

temporal inferior, a dica visual ainda era capaz de determinar a resposta comportamental correta e de provocar disparos nos neurônios do córtex temporal inferior. Isso sugere, segundo os pesquisadores, que a informação da dica visual deve chegar aos neurônios do córtex temporal inferior por uma via “descendente”, na qual sinais do córtex visual primário ativam neurônios no córtex pré-frontal, os quais, por sua vez, ativam neurônios no córtex temporal inferior. Quando essa via “descendente” também é interrompida cirurgicamente, o macaco não responde mais à dica visual, que agora é incapaz de disparar atividade nos neurônios do córtex temporal inferior. Estudos empregando PET e fMRI de pacientes aos quais foi solicitado que lembrassem ou reconhecessem palavras ou figuras previamente estudadas mostraram a atividade nos córtices pré-frontais anterior e lateral (SQUIRE; KANDEL, 1999).

A evocação de detalhes contextuais ou de eventos associados à memória episódica também envolve a atividade no lobo temporal medial, em especial do hipocampo. Acredita-se que a atividade no lobo temporal medial facilita a ativação de representações neocorticais que estavam presentes durante a codificação. Em consonância com este argumento, Naya, Yoshida e Miyashita (2001) demonstraram que sinais do lobo temporal medial precedem o recrutamento de conhecimentos episódicos no neocórtex. Wheeler, Petersen e Buckner (2000) e Nyberg *et al.* (2000) observaram padrões semelhantes de ativação em áreas associativas visuais e auditivas, tanto durante a codificação quanto durante a evocação de figuras e sons. Como ocorre durante a codificação da memória episódica, a evocação envolve uma interação complexa entre o lobo temporal medial e regiões corticais distribuídas, incluindo o córtex pré-frontal e outras áreas associativas de ordem hierarquicamente superior, argumentam os pesquisadores.

3.1.7 Características neurocientíficas do conhecimento semântico

O conhecimento semântico é o conhecimento geral acerca do mundo, englobando fatos, conceitos e informações sobre objetos, assim como as palavras e seus significados. O conhecimento semântico distingue-se do conhecimento episódico geralmente por não estar associado ao contexto exato no qual a informação

foi adquirida. Ele é armazenado de forma distribuída no neocórtex, incluindo os lobos temporal lateral e ventral (KANDEL *et al.*, 2014).

Kandel *et al.* (2014) discorrem que a organização e a flexibilidade do conhecimento semântico são notáveis. Por exemplo: considerando o conceito de “elefante”, quando um indivíduo aprende seu significado por meio de uma figura, parece simples. À medida que aprende mais, porém, muitas imagens de elefantes passam a estar associadas a um nome, inicialmente apenas falado e somente depois escrito. Posteriormente, segundo os pesquisadores, outros fragmentos de informações são associados: elefantes são seres vivos, vivem em determinado ambiente e têm padrões únicos de comportamento, emitem sons distintos e com frequência têm a cor cinza, podendo ainda participar de shows circenses. Dada essa estrutura associativa, que corresponderia coletivamente ao conceito de “elefante”, qualquer característica, como a simples palavra ‘elefante’, pode servir como dica que leva à recuperação de outras características associadas.

Evidencia-se que não há um sítio de armazenamento único para todo o conhecimento semântico adquirido ao longo da vida. Segundo os pesquisadores, os componentes semânticos de um conceito estão distribuídos por muitas regiões encefálicas. Regiões encefálicas específicas dedicam-se à representação de características específicas (e.g. forma, cor ou movimento), de modo que uma lesão em determinada região pode prejudicar um tipo específico de conhecimento associado a certo conceito, sem afetar outros (SQUIRE; KANDEL, 1999).

McCarthy e Warrington (1990) descreveram pacientes cujo conhecimento acerca de seres vivos estava prejudicado, enquanto seu conhecimento sobre objetos inanimados permanecia intacto. Por exemplo, um paciente definiu corretamente toalha como “material usado para secar pessoas”, mas definiu de modo incorreto uma vespa como um “pássaro que voa”. Outros pacientes apresentaram déficits contrários a esse. O cérebro parece organizar o conhecimento semântico de acordo com certas funções primitivas conceituais, por exemplo, forma e função. Uma vez que certas categorias são especialmente dependentes de informação acerca da forma (e.g. seres vivos), enquanto outras dependem do conhecimento de sua função (e.g. coisas inanimadas), lesões encefálicas focais podem resultar na perda da memória para determinadas categorias semânticas, enquanto poupam o conhecimento de outras.

Estudos de neuroimagem usando PET e fMRI fornecem mais evidências sobre como diferentes categorias de conhecimento estão representadas no encéfalo humano intacto. Quando se solicita que indivíduos nomeiem animais mostrados em figuras, há maior atividade na região temporal inferior esquerda, que representa a informação da forma dos objetos, do que quando as pessoas nomeiam figuras de ferramentas. Em contrapartida, a designação de ferramentas está associada à atividade de regiões pré-motoras do lado esquerdo, que representam a informação sobre padrões de movimentos associados ao uso de objetos, e em regiões temporais médias no hemisfério esquerdo, que representam a informação sobre como os objetos se movem no espaço (SQUIRE; KANDEL, 1999; KANDEL *et al.*, 2014).

3.1.8 Relação entre memória implícita e *priming* de percepções

A memória implícita armazena formas de conhecimento que normalmente são adquiridas sem esforço consciente e que orientam o comportamento de modo inconsciente. O *priming* é um tipo de memória implícita que, em pacientes amnésicos, funciona tão bem quanto em indivíduos normais, sugerindo não depender de estruturas do lobo temporal medial (SCHACTER; WIG; STEVENS, 2007).

Segundo os pesquisadores, dois tipos de *priming* foram propostos. O *priming* conceitual facilita o acesso ao conhecimento semântico relevante para uma tarefa, pois esse conhecimento foi utilizado anteriormente. Está relacionado com uma redução da atividade em regiões pré-frontais do lado esquerdo que atuam na evocação inicial do conhecimento semântico. Em contraste, o *priming* de percepções ocorre dentro de uma modalidade sensorial específica e depende de módulos corticais que operam utilizando informação sensorial sobre forma e estrutura de palavras e objetos (TULVING; SCHACTER, 1990; SCHACTER; WIG; STEVENS, 2007).

Lesões em regiões sensoriais unimodais do córtex prejudicam o *priming* de percepções específicas para modalidade. Por exemplo, um paciente com uma lesão no lobo occipital direito não exibia *priming* visual para palavras, mas sua memória explícita era normal. Essa condição é oposta àquela observada em pacientes amnésicos como H. M., fornecendo evidências adicionais de que os mecanismos neurais do *priming* diferem daqueles da memória explícita (TULVING; SCHACTER, 1990; SCHACTER; WIG; STEVENS, 2007).

O *priming* visual quase sempre está correlacionado com uma redução na atividade de áreas corticais visuais de ordem superior. Buckner e Wheeler (2001), utilizando fMRI, evidenciaram que a atividade no córtex extraestriatal era maior durante a exposição inicial a um objeto do que quando o objeto era apresentado outra vez posteriormente. Esses achados são análogos àqueles de que a atividade no córtex pré-frontal esquerdo se encontra reduzida durante o *priming* conceitual. A maioria das tarefas inclui tanto *priming* de percepções quanto conceitual, e provavelmente não haja grande distinção entre eles (SCHACTER; WIG; STEVENS, 2007).

De acordo com Schacter, Wig e Stevens (2007), outras formas de memória não declarativa se relacionam à aprendizagem de hábitos, habilidades cognitivas, motoras e de percepção, e à formação e expressão de respostas condicionadas. Em geral, essas formas de memória implícita são caracterizadas por uma aprendizagem progressiva, que se dá de modo gradual mediante repetição. Segundo os pesquisadores, os circuitos neurais que iniciam o hábito, a habilidade motora e a aprendizagem condicionada são independentes do sistema do lobo temporal medial, que é responsável pela memória explícita. Por exemplo, H. M. era capaz de adquirir novas habilidades visuomotoras, como a tarefa de desenhar utilizando um espelho.

Novas habilidades motoras, cognitivas ou de percepção também são aprendidas pela repetição. Com a prática, o desempenho torna-se mais acurado e rápido, e esses aperfeiçoamentos generalizam-se na aprendizagem de novas informações. A aprendizagem de habilidades parte de um estágio cognitivo, em que o conhecimento está explicitamente representado e quem aprende deve prestar atenção em seu desempenho, chegando a um estágio mais autônomo, em que a habilidade pode ser executada sem muita atenção consciente (TULVING; SCHACTER, 1990; SCHACTER; WIG; STEVENS, 2007).

A aprendizagem de habilidades sensório-motoras depende, em parte, dos núcleos da base, do cerebelo e do neocórtex. Prejuízos nas funções dos núcleos da base em pacientes com doenças como Parkinson e Huntington impedem a aprendizagem de habilidades motoras. Segundo os pesquisadores, pacientes com lesões cerebelares também têm dificuldade de aprender algumas habilidades motoras, e a imagem funcional de indivíduos saudáveis durante o aprendizado sensório-motor mostra alterações na atividade dos núcleos da base e do cerebelo.

Seguem argumentando que as habilidades comportamentais podem depender de alterações estruturais no neocórtex motor, como observado pela expansão da área de representação cortical dos dedos em músicos (SCHACTER; WIG; STEVENS, 2007).

Para Tulving e Schacter (1990), a aprendizagem de percepções melhora a capacidade de compreender sinais de entrada sensoriais novos, como aprender a ler um texto refletido em um espelho ou reconhecer objetos novos usando categorias familiares como referência. Pacientes amnésicos com lesão no lobo temporal medial podem aprender a ler textos espelhados, mas essa aprendizagem encontra-se moderadamente prejudicada em pacientes com a doença de Huntington, e traz variadas dificuldades para pacientes com a doença de Parkinson. Pacientes com lesões cerebelares não apresentam dificuldade para aprender percepções, embora a aprendizagem de habilidades motoras esteja prejudicada.

Um estudo de Poldrack *et al.* (2001), utilizando neuroimagem, sugere que a prática intensa de leitura de textos espelhados produz uma mudança nas partes do encéfalo envolvidas na tarefa. Nesse estudo, o desempenho em uma tarefa de leitura de textos no espelho antes do treinamento foi correlacionado com a atividade em regiões ventrais de processamento visual, assim como com grande atividade no córtex parietal. Após o treinamento, a atividade diminuiu no córtex parietal, mas aumentou no córtex temporal inferior esquerdo, uma região associada com a representação de formas visuais. Esses resultados refletem uma transição da necessidade de girar mentalmente as palavras escritas de forma espelhada para a capacidade de ler diretamente as letras invertidas. Segundo os pesquisadores, diferentes processos mentais estarão envolvidos à medida que essa capacidade de desempenho se move do estágio cognitivo para o autônomo. Alterações neurais semelhantes são observadas em estudos de imagem envolvendo a aprendizagem de habilidades motoras e visuomotoras.

A memória implícita também é a base da aprendizagem de hábitos ou do condicionamento associativo pavloviano, a aprendizagem gradual sobre relações previsíveis entre um estímulo e uma resposta. A aprendizagem de hábitos em seres humanos foi estudada usando-se uma tarefa de classificação probabilística, em que os participantes tentavam prever com acurácia um de dois possíveis desfechos, com base na apresentação de um conjunto de pistas, em que cada pista tinha uma relação probabilística com cada desfecho. Por exemplo, podia-se pedir aos participantes que

fizessem uma previsão do tempo com base em um conjunto de cartas que funcionam como pistas (TULVING; SCHACTER, 1990; SCHACTER; WIG; STEVENS, 2007).

Uma vez que as associações entre as dicas e os desfechos são probabilísticas, necessitando de numerosas tentativas para serem aprendidas, a memória explícita de tentativas específicas não é tão útil para um desempenho bem-sucedido como o acúmulo gradual de conhecimento acerca das associações estímulo-desfecho. Knowlton, Mangels e Squire (1996) mostraram que, ao contrário de pacientes com lesões no lobo temporal medial, pacientes com distúrbios nos núcleos da base exibem grave prejuízo nessa tarefa.

3.1.9 Classificações da memória implícita

Nesta subseção, serão descritos alguns achados de pesquisas com animais envolvendo a memória implícita. Tais estudos mostram existir dois tipos de memória implícita: a não associativa e a associativa. No aprendizado não associativo, um animal aprende sobre as propriedades de um único estímulo. No aprendizado associativo, o animal aprende sobre a relação entre dois estímulos ou entre um estímulo e um comportamento (WAGNER, 2002).

O aprendizado não associativo ocorre quando um indivíduo é exposto uma vez ou de forma repetida a um único tipo de estímulo. Duas formas de aprendizado não associativo são comuns na vida diária: a habituação e a sensibilização. A habituação, redução em uma resposta, ocorre quando um estímulo benigno é apresentado repetidamente. Por exemplo, a maior parte das pessoas se sobressalta quando ouve os primeiros ruídos de rojões em um dia festivo, mas, à medida que o dia prossegue e os rojões se sucedem, as pessoas acostumam-se ao barulho e não mais respondem da mesma forma. Segundo os pesquisadores, a sensibilização (ou pseudocondicionamento) é uma resposta acentuada a uma variedade de estímulos após a apresentação de um estímulo intenso ou nocivo. Por exemplo, um animal responderá de modo mais vigoroso a um estímulo tátil moderado após receber um beliscão doloroso. Além disso, um estímulo sensibilizante pode cancelar os efeitos da habituação, um processo denominado desabituação. Por exemplo, após a resposta de sobressalto a um ruído ser reduzida pela habituação, pode-se restaurar a

intensidade da resposta a esse ruído, aplicando-se um forte beliscão (WAGNER, 2002; KANDEL *et al.*, 2014).

Na sensibilização e na desabilitação, o momento de aplicação do estímulo não é importante, pois não há aprendizado de uma associação entre estímulos. Em contrapartida, os pesquisadores argumentam que com duas formas de aprendizado associativo, o momento em que o estímulo a ser associado é aplicado passa a ser de grande importância. O condicionamento clássico envolve o aprendizado de uma relação entre dois estímulos, enquanto o condicionamento operante envolve o aprendizado de uma relação entre o comportamento do organismo e as consequências daquele comportamento (WAGNER, 2002; KANDEL *et al.*, 2014).

3.1.10 Estímulos relacionados ao condicionamento clássico

O condicionamento clássico foi descrito inicialmente na virada do século XX por Pavlov (PAVLOV, 1927). A essência do condicionamento clássico é o pareamento de dois estímulos. O estímulo condicionado (CS, nas iniciais em inglês *conditioned stimulus*), como uma luz, um tom ou um toque, é escolhido porque não produz respostas evidentes, ou produz uma resposta fraca, geralmente não relacionada àquela que será aprendida no final. O reforço, ou estímulo não condicionado (US, nas iniciais em inglês *unconditioned stimulus*), como um alimento ou um choque, é escolhido porque normalmente produz uma resposta forte e consistente (a resposta não condicionada), como salivação ou retirada da perna. As respostas não condicionadas são inatas, sendo produzidas sem aprendizado. A apresentação repetida de um CS seguida por um US determina gradualmente uma resposta nova ou diferente, denominada resposta condicionada.

Uma forma de explicar o condicionamento é que o pareamento repetido de CS e US faz o CS se transformar em um sinal antecipatório para o US. Com suficiente experiência, um animal responderá ao CS como se estivesse antecipando o US. Por exemplo, se uma luz é repetidamente seguida pela apresentação de um pedaço de carne, após algumas repetições a visão da luz fará o animal salivar. Desse modo, o condicionamento clássico é a forma pela qual um animal aprende a prever eventos (WAGNER, 2002; KANDEL *et al.*, 2014).

Para os pesquisadores, a probabilidade de ocorrência de uma resposta condicionada diminui se o CS é apresentado sem o US. Esse processo é conhecido como extinção. Se uma luz que foi pareada com alimento é mais tarde repetidamente apresentada na ausência de alimento, ela deixará de evocar a salivação de modo gradativo. A extinção é um mecanismo adaptativo importante. Não seria adaptativamente adequado para um animal continuar a responder a dicas que já não têm mais sentido para ele. As evidências mostram que extinção não é sinônimo de esquecimento, pois algo novo é aprendido na extinção – o CS agora sinaliza que o US não ocorrerá (WAGNER, 2002; KANDEL *et al.*, 2014).

Durante um tempo, acreditou-se que o condicionamento clássico acontecia desde que o CS precedesse o US por um intervalo de tempo crítico. De acordo com essa visão, verifica-se que o CS é seguido por um US, uma conexão é reforçada entre a representação interna do estímulo e a resposta, ou entre representações de um estímulo e de outro. Acreditava-se que a força da conexão dependia do número de pareamentos de CS e US (WAGNER, 2002; KANDEL *et al.*, 2014).

Um conjunto de evidências indica que o condicionamento clássico não pode ser explicado de modo adequado simplesmente pelo fato de que dois eventos ou estímulos ocorrem um após o outro. Segundo os autores, não seria adaptativo depender unicamente da sequência. Em vez disso, todos os animais capazes de condicionamento associativo lembram-se de relações reais e não apenas de eventos sequenciais. Assim, o condicionamento clássico, e talvez todas as formas de aprendizado associativo, capacitam os animais a distinguir, de modo confiável, eventos que ocorrem juntos daqueles que estão apenas aleatoriamente associados (WAGNER, 2002; KANDEL *et al.*, 2014).

Achados de pesquisas mostraram que lesões em diversas regiões do encéfalo afetam o condicionamento clássico. Um exemplo é o condicionamento do reflexo protetor do piscar de olhos em coelhos, uma forma de aprendizado motor. Segundo os autores, um jato de ar direcionado ao olho causa naturalmente um piscar de olhos. Um piscar condicionado pode ser estabelecido pelo pareamento do jato de ar com um tom que o precede. A resposta condicionada (o piscar dos olhos em resposta ao tom) é abolida por uma lesão em um de dois sítios anatômicos: a lesão no verme do cerebelo abole a resposta condicionada, mas não afeta a não condicionada (piscar os olhos em resposta ao jato de ar). Observa-se que neurônios na mesma área do

cerebelo mostram aumento de atividade dependente do aprendizado, de modo semelhante a como se desenvolve esse comportamento condicionado. Uma lesão no núcleo interpósito, um núcleo cerebelar profundo, também abole o piscar de olhos condicionado. Desse modo, tanto o verme quanto os núcleos profundos do cerebelo desempenham o papel importante no condicionamento do piscar de olhos e talvez em outras formas de condicionamento clássico, envolvendo movimentos de músculos esqueléticos (WAGNER, 2002; KANDEL *et al.*, 2014).

3.1.11 Características do condicionamento operante

Um segundo paradigma no aprendizado associativo, descoberto por Thorndike (1911) e estudado sistematicamente por Skinner (1938), é o condicionamento operante (também denominado aprendizado por tentativa e erro). Em um exemplo típico de condicionamento operante, que é realizado em laboratório, um rato ou um pombo com fome é colocado em uma caixa de condicionamento na qual um animal é recompensado por uma ação específica. Por exemplo, a caixa pode ter uma alavanca em uma das paredes.

Em função de aprendizados anteriores, ou investigando a caixa ao acaso, os pesquisadores evidenciaram que o animal eventualmente acabará pressionando a alavanca. Se o animal receber prontamente um reforço positivo (p. ex., alimento) após pressionar a alavanca, ele começará a pressioná-la com mais frequência que o faria ao acaso. Pode-se dizer que o animal aprendeu que, entre seus muitos comportamentos (e.g. de limpeza, de orientação, de andar na caixa), um deles é seguido por alimento. Com essa informação, o animal provavelmente pressionará a alavanca sempre que tiver fome (WAGNER, 2002; KANDEL *et al.*, 2014).

Ao pensar-se no condicionamento clássico como a formação de uma relação preditiva entre dois estímulos (o CS e o US), o condicionamento operante pode ser considerado como a formação de uma relação preditiva entre uma ação e seu desfecho. Diferentemente do condicionamento clássico, que testa a capacidade de resposta de um reflexo a um estímulo, os autores argumentam que o condicionamento operante testa o comportamento que ocorre de modo espontâneo ou sem um estímulo identificável. Diz-se que comportamentos operantes são emitidos e não determinados por outro estímulo. Em geral, ações que são recompensadas tendem a se repetir,

enquanto ações seguidas por consequências aversivas, embora não necessariamente dolorosas, tendem a não se repetir. Acredita-se, portanto, que essa ideia simples, denominada lei do efeito, governe muito do comportamento voluntário (WAGNER, 2002; KANDEL *et al.*, 2014).

Uma vez que o condicionamento operante e o condicionamento clássico envolvem diferentes tipos de associação – uma associação entre uma ação e uma recompensa ou entre dois estímulos, respectivamente –, pode-se supor que essas duas formas de aprendizado sejam mediadas por diferentes mecanismos neurais. No entanto, uma vez que as leis do condicionamento operante e do conhecimento clássico são bastante similares, as duas formas de aprendizado podem utilizar os mesmos mecanismos neurais. Por exemplo, o período em que os estímulos ocorrem é crítico em ambos os condicionamentos. No operante, o reforço em geral deve ocorrer logo após a ação considerada. Se o reforço for muito retardado, tem-se apenas um condicionamento fraco. Da mesma forma, o condicionamento clássico em geral será fraco se o intervalo entre os estímulos condicionado e não condicionado for muito longo, ou se o estímulo não condicionado preceder o condicionado (WAGNER, 2002; KANDEL *et al.*, 2014).

3.1.12 Características do aprendizado associativo

Segundo Wagner (2002) e Kandel *et al.* (2014), animais geralmente aprendem a associar estímulos relevantes para sua sobrevivência. Por exemplo, eles rapidamente aprendem a evitar certos alimentos que foram seguidos por um reforço negativo, um fenômeno denominado aversão ao sabor.

Para os pesquisadores, diferentemente da maior parte das demais formas de condicionamento, a aversão ao sabor desenvolve-se mesmo quando a resposta não condicionada ocorre após um longo retardo, até horas depois do CS. Isso faz sentido em termos biológicos, pois os efeitos patológicos de alimentos nocivos e de toxinas de ocorrência natural normalmente se dão apenas depois de certo tempo após a ingestão. Para a maioria das espécies, incluindo os seres humanos, o condicionamento de aversão ao sabor ocorre apenas quando certos sabores estão associados à náusea. Essa aversão desenvolve-se apenas fracamente se um sabor é seguido por um estímulo doloroso que não produz náusea. Animais não parecem

desenvolver aversão a estímulos visuais ou auditivos que tenham sido pareados com náusea (WAGNER, 2002; KANDEL *et al.*, 2014).

3.1.13 Consequências das imperfeições da memória

A memória permite que o passado pessoal seja revisto, dá acesso a uma rede de fatos, associações e conceitos, e permite o aprendizado. Ela não é, contudo, perfeita (SCHACTER; GUERIN; JACQUES, 2011). Com frequência, eventos são esquecidos, rápida ou gradualmente; às vezes, o passado fica distorcido e, ocasionalmente, recordam-se eventos de forma involuntária. Na década de 1930, Frederic Bartlett relatou experimentos nos quais as pessoas liam histórias complexas e tentavam lembrá-las. Ele mostrou que as pessoas frequentemente recordavam várias características dessas histórias de modo incorreto, muitas vezes distorcendo a informação com base em suas expectativas de como as coisas deveriam ter acontecido (BARTLETT, 1932). O esquecimento e a distorção podem prover ideias importantes acerca de como funciona a memória. Schacter, Guerin e Jacques (2011) classificaram as imperfeições da memória em sete categorias básicas, que chamou de sete falhas da memória: transitoriedade, distração, bloqueio, erro de atribuição, sugestibilidade, viés e persistência.

A distração resulta da falha de atenção à experiência imediata. A ausência de atenção durante a codificação é uma fonte provável de falhas comuns da memória, como quando se esquece onde se deixou um objeto recentemente. A distração também ocorre quando se esquece de realizar determinada tarefa, como fazer as compras no mercado no caminho do trabalho para casa, embora inicialmente se tenha codificado a informação como relevante. Sabe-se pouco acerca das bases neurais da distração (SCHACTER; GUERIN; JACQUES, 2011).

Segundo os autores, o bloqueio refere-se a uma falta temporária de acesso à informação armazenada na memória. Com frequência, as pessoas têm uma percepção consciente parcial de uma palavra ou imagem que buscam, mas, mesmo assim, são incapazes de evocá-la completamente ou de modo acurado. Determinar qual informação está correta e qual está incorreta exige uma boa qualidade de esforço consciente (SCHACTER; GUERIN; JACQUES, 2011).

Em um estudo de fMRI, Maril, Wagner *et al.* (2001) examinaram voluntários enquanto eles tentavam lembrar nomes de pessoas ou lugares em resposta a certas dicas. Quando esses participantes entraram na situação de ter a informação “na ponta da língua”, regiões encefálicas que haviam sido implicadas em tarefas cognitivas – o cíngulo anterior e o córtex pré-frontal dorsolateral direito – exibiam atividade intensa. Essa atividade provavelmente reflete as tentativas do sujeito de separar informações corretas de informações incorretas para superar o bloqueio de memória.

A distração e o bloqueio são chamados de falhas de omissão: quanto mais se precisa recordar de uma informação, mais ela fica inacessível. Entretanto, a memória também se caracteriza pelas chamadas falhas de atribuição, situações em que a memória, de alguma forma, está presente, mas é incorretamente evocada (SCHACTER; GUERIN; JACQUES, 2011).

Erro de atribuição refere-se à associação incorreta de uma memória com determinado momento, lugar ou pessoa. O reconhecimento falso, um tipo de erro de atribuição, ocorre quando o indivíduo relata “lembrar” de itens ou eventos que nunca aconteceram. Essas falsas memórias foram documentadas em experimentos controlados, em que as pessoas declararam ter visto ou ouvido palavras ou objetos que, de fato, não lhes haviam sido apresentados anteriormente, mas que eram semelhantes, em significado ou aparência, àquilo que lhes havia de fato sido apresentado. Estudos utilizando PET ou fMRI mostraram que o hipocampo tem níveis de atividade semelhantes quando o reconhecimento é verdadeiro ou falso, o que pode ser uma das razões pelas quais as falsas memórias às vezes parecem ser memórias verdadeiras (SCHACTER; GUERIN; JACQUES, 2011).

A sugestibilidade também foi conceituada pelos pesquisadores, e refere-se à tendência de incorporar informações externas à memória, em geral como resultado de questões ou sugestões que conduzem o interrogado. Estudos empregando sugestões hipnóticas indicam que vários tipos de falsas memórias podem ser implantados em indivíduos altamente sugestionáveis, como a lembrança de ter ouvido ruídos altos à noite. Estudos com adultos jovens também mostraram que sugestões repetidas de que um indivíduo imagine uma experiência de sua infância podem produzir memórias episódicas que nunca ocorreram. Esses achados têm grande importância teórica, pois mostram que a memória não é meramente a reprodução exata de experiências passadas (SCHACTER; GUERIN; JACQUES, 2011).

Segundo os autores, o viés ou filtro se refere a distorções ou influências inconscientes sobre a memória que refletem conhecimentos gerais e crenças do indivíduo. As pessoas com frequência recordam-se do passado de modo impreciso, tornando-o consistente pelo uso daquilo que presentemente acreditam, sabem ou sentem. No entanto, assim como no caso da sugestibilidade, as pesquisas nessa área ainda devem avançar.

A persistência refere-se às memórias obsessivas, à recordação constante de informações ou eventos que se poderia querer esquecer. Estudos de neuroimagem têm lançado luz sobre fatores neurobiológicos que contribuem para memórias emocionais persistentes. Por exemplo, Cahill *et al.* (1996) realizaram pesquisas com PET de sujeitos enquanto observavam uma sequência de imagens que descrevia uma história emocional. Os principais achados relacionam-se com a atividade na amígdala, estrutura localizada próxima ao hipocampo, e que há muito se sabe estar envolvida com o processamento emocional. O nível de evocação dos componentes emocionais da história estava altamente relacionado com o nível de atividade na amígdala durante a apresentação da história. Esses e outros estudos relacionados apontam o envolvimento da amígdala na codificação e na evocação de experiências de elevada carga emocional, que tendem a emergir repetidamente na consciência de seus portadores (SCHACTER; GUERIN; JACQUES, 2011).

Embora a persistência seja incapacitante, os autores discorrem que ela também possui valor adaptativo. A persistência de memórias de experiências perturbadoras aumenta a probabilidade de recordação de informações acerca de eventos alertadores ou traumáticos em momentos em que tais memórias podem ser decisivas para a sobrevivência.

Para os autores, muitas imperfeições da memória podem ter valor adaptativo. Por exemplo, embora as várias formas de esquecimento (transitoriedade, distração e bloqueio) possam configurar-se como um problema, um sistema de memória que automaticamente retivesse cada detalhe de cada experiência poderia resultar em uma sobrecarga de informações. Isso é o que acontecia com um paciente estudado por Luria (1968). O paciente possuía memórias altamente detalhadas de experiências passadas que era incapaz de generalizar ou de pensar em um nível abstrato. Um sistema de memória saudável não codifica, armazena e evoca os detalhes de cada

experiência. Desse modo, a transitoriedade, a distração ou o bloqueio permitem evitar tal sobrecarga.

Nesta seção, verificou-se que: diversas formas diferentes de aprendizagem e memória podem ser distinguidas observando-se o comportamento; a memória pode ser analisada em termos de operações distintas, assim como imperfeições e erros na evocação podem fornecer informações reveladoras sobre a aprendizagem e a memória.

Viu-se ainda que as evidências apoiam o primeiro princípio, de que há diferentes formas de memória, tendo sido discutido que cada tipo envolve diferentes regiões ou combinações de regiões no encéfalo. Assim, a MT, que mantém, durante períodos curtos, informações relevantes para se alcançar um objetivo, tem diversos componentes neurais. A memória explícita envolve a codificação e a evocação de duas categorias de conhecimento: a memória episódica, que representa experiências pessoais, e a memória semântica, que representa conhecimentos e fatos gerais. A memória explícita em geral é evocada de modo deliberado e com alguma percepção de que se está envolvido em um ato de lembrar.

A memória implícita inclui formas de *priming* conceitual e de percepção, assim como a aprendizagem de hábitos e habilidades motoras e de percepção. Esse tipo de memória tende a ser inflexível e expressar-se sem percepção consciente durante o desempenho de tarefas. A memória implícita flui automaticamente durante a percepção, o pensamento e a ação (WAGNER, 2002; KANDEL *et al.*, 2014).

Progressos consideráveis foram alcançados com relação ao segundo princípio, de que a memória envolve processos separados de codificação, armazenamento, consolidação e evocação. A codificação de novas memórias depende de modo crítico de contribuições de regiões específicas dentro do córtex e do lobo temporal medial, como mostrado mais claramente em estudos utilizando fMRI (WAGNER, 2002; KANDEL *et al.*, 2014).

O início do armazenamento de longa duração da memória explícita requer o sistema do lobo temporal, como mostrado pelo estudo de pacientes amnésicos como H. M. O processo de consolidação estabiliza representações armazenadas, tornando as memórias explícitas independentes do lobo temporal medial. A evocação da memória episódica envolve o lobo temporal medial, assim como os córtices frontal e parietal. A memória implícita, em contrapartida, envolve uma grande variedade de

regiões encefálicas, frequentemente áreas corticais que dão suporte a sistemas específicos de percepção, conceituais ou motores, recrutados para processar um estímulo ou desempenhar uma tarefa (WAGNER, 2002; KANDEL *et al.*, 2014).

O terceiro princípio, de que o passado pode ser esquecido ou distorcido, tem como base estudos que demonstram que a memória não é um registro fiel de todos os detalhes de cada experiência. Memórias evocadas são o resultado de uma interação complexa entre várias regiões encefálicas, podendo ser modificadas ao longo do tempo por influências múltiplas. Várias formas de esquecimento e distorção dizem muito sobre a flexibilidade da memória, que permite que o encéfalo se adapte ao ambiente físico e social (WAGNER, 2002; KANDEL *et al.*, 2014).

3.2 Emoções e Sentimentos

Os estados emocionais impactam diretamente no comportamento humano. O termo emoção é utilizado comumente de duas formas. Algumas vezes, refere-se a respostas fisiológicas a certos tipos de estímulos; quando em perigo, por exemplo, os músculos ficam tensos e o coração bate rapidamente, e o indivíduo também pode sentir-se amedrontado. Mas esse termo também se refere a experiências conscientes, denominadas sentimentos, que frequentemente acompanham essas respostas do organismo (LEDOUX, 2000; DAMASIO; DAMASIO; TRANEL, 2012).

Essas respostas fisiológicas automáticas ocorrem tanto no encéfalo quanto no resto do corpo. No encéfalo, envolvem mudanças nos níveis de alerta e nas funções cognitivas, como atenção, processamento da memória e estratégias de decisão. No restante do corpo, os autores discorrem que estão relacionadas às respostas endócrinas, autônomas e musculoesqueléticas.

Segundo os pesquisadores, utiliza-se o termo 'sentimento' para se referir à experiência consciente dessas alterações somáticas e cognitivas. Em certo sentido, os sentimentos são significados que o encéfalo cria para representar os fenômenos fisiológicos gerados pelo estado emocional. Em suma, emoções são respostas comportamentais e cognitivas automáticas, geralmente inconscientes, disparadas quando o encéfalo detecta um estímulo significativo, positiva ou negativamente carregado. Sentimentos são as percepções conscientes das respostas emocionais (LEDOUX, 2000; DAMASIO; DAMASIO; TRANEL, 2012).

As reações emocionais têm sido conservadas ao longo da evolução das espécies. De acordo com os pesquisadores, as respostas comportamentais, que em geral são chamadas de respostas emocionais, são encontradas em organismos muito simples, que podem não ter consciência e, assim, não têm sentimentos. Uma célula bacteriana pode detectar substâncias nocivas e substâncias úteis e responder a elas adaptativamente. De fato, todos os organismos devem ter tal capacidade para sobreviver e prosperar (LEDOUX, 2000; DAMASIO; DAMASIO; TRANEL, 2012).

Segundo os pesquisadores, alguns estímulos (objetos, animais ou situações) disparam emoções automaticamente, mesmo na ausência de experiência. Sobre esses estímulos, diz-se que têm competência emocional. Além disso, alguns objetos e eventos, que seriam de outra forma insignificantes, e que ocorrem em conjunto com estímulos emocionalmente competentes, podem adquirir significado emocional pela aprendizagem associativa. Desse modo, enquanto estímulos emocionalmente competentes são naturalmente significativos, outros objetos e eventos adquirem competência emocional por suas associações com estímulos emocionalmente competentes.

Quando o cérebro detecta tais estímulos emocionalmente competentes, envia comandos a redes que controlam as glândulas endócrinas, o sistema nervoso autônomo e o sistema musculoesquelético. Segundo Kandel et. al (2014), o sistema endócrino é responsável pela secreção de hormônios na corrente sanguínea e por sua regulação, hormônios esses que afetam o tecido do organismo e também o cérebro. O sistema nervoso autônomo medeia alterações nos sistemas de controle fisiológico do organismo, incluindo o sistema cardiovascular e tecidos e órgãos viscerais na cavidade abdominal. O sistema motor esquelético medeia a manifestação de comportamentos, como congelamento, fuga ou luta e certas expressões faciais. Juntos, esses três sistemas controlam a expressão fisiológica dos estados emocionais.

As alterações autônomas e endócrinas envolvidas nos estados emocionais são parte dos mecanismos de regulação homeostática do organismo, que são acionados sempre que o corpo é confrontado com estímulos com carga intrínseca. Os pesquisadores discorrem que a resposta do organismo a uma emoção forte não é tão diferente da resposta a alterações em outros estados capazes de impulsionar à ação ou de alterações em outros processos reguladores do organismo, como fome, sede,

sexo e sono ou da resposta à dor ou às mudanças no metabolismo do organismo que ocorrem durante o exercício intenso. Esses mecanismos reguladores são mediados principalmente por estruturas subcorticais – amígdala, estriado, hipotálamo e tronco encefálico (DAMASIO; DAMASIO; TRANEL, 2012).

Depreende-se que a maioria dos estados emocionais pode ser observada, seja direta (por exemplo, nas expressões faciais) ou indiretamente, com a utilização de testes psicofisiológicos ou neurofisiológicos ou medidas endócrinas. Assim, muitas respostas emocionais são mensuráveis, e suas bases neurobiológicas podem ser investigadas objetivamente, tanto em seres humanos quanto em animais experimentais. Por outro lado, a mensuração de sentimentos subjetivos é um desafio maior e pode ser realizada na prática apenas em humanos.

3.2.1 A busca pelo encéfalo emocional

As modernas tentativas de compreender as emoções iniciaram no final do século XIX, a partir da seguinte questão: qual a natureza do medo? Uma pessoa corre do urso porque tem medo ou tem medo porque corre? Propôs-se que o sentimento consciente do medo é uma consequência das emoções, das alterações que ocorrem no organismo durante o ato de fugir – tem medo porque corre (ADOLPHS *et al.*, 2000; KANDEL *et al.*, 2014).

Cada sentimento resulta de seu próprio padrão peculiar de expressão emocional, ou assinatura corporal, controlado por conexões descendentes do córtex cerebral. Um sentimento surge quando a expressão corporal daquela resposta emocional penetra a consciência (DAMASIO; DAMASIO; TRANEL, 2012). Segundo os autores, a teoria da retroalimentação periférica derivou do conhecimento do encéfalo na época (1890), que estabelecia que o córtex tinha áreas devotadas ao movimento e às sensações. Pouco se sabia sobre as áreas específicas do encéfalo responsáveis por emoção e sentimento.

3.2.2 Primeiras teorias acerca do cérebro emocional

Na Teoria da retroalimentação periférica de James, foi proposto que estímulos emocionalmente competentes processados nos sistemas sensoriais eram

transmitidos ao córtex motor, produzindo respostas emocionais no organismo. O córtex seria retroalimentado com sinais que transmitiriam informação sensorial a respeito das respostas do organismo. O processamento cortical dessa retroalimentação sensorial seria o sentimento (LEDOUX, 2000; DAMASIO; DAMASIO; TRANEL, 2012).

Já na Teoria Central de Cannon-Bard, foi proposto que as emoções poderiam ser explicadas via processos que ocorrem dentro do sistema nervoso central. Em seu modelo, a informação sensorial seria transmitida ao tálamo, onde seria então retransmitida para o hipotálamo e para o córtex cerebral. Segundo os pesquisadores, o hipotálamo avaliaria a qualidade emocional do estímulo, e suas conexões descendentes para o tronco encefálico e para a medula espinal originariam as respostas emocionais. As vias talamocorticais originariam os sentimentos conscientes (LEDOUX, 2000; DAMASIO; DAMASIO; TRANEL, 2012).

Em outra abordagem, o Circuito de Papez, a teoria de Cannon-Bard foi ampliada, adicionando especificidade anatômica. A região cortical que receberia aferências hipotalâmicas para o surgimento de sentimentos seria o córtex cingulado. Os sinais de saída do hipotálamo alcançariam o cingulado via tálamo anterior, e as aferências do cingulado alcançariam o hipotálamo via hipocampo (LEDOUX, 2000; DAMASIO; DAMASIO; TRANEL, 2012).

Na virada do século XX, pesquisadores descobriram que os animais ainda eram capazes de respostas emocionais após a total remoção dos hemisférios cerebrais, sugerindo que alguns aspectos das emoções são mediados por regiões subcorticais. O fato de que a estimulação elétrica do hipotálamo podia determinar respostas autônomas similares àquelas que ocorrem como respostas emocionais no animal intacto sugeriu a Cannon que o hipotálamo poderia ser uma região-chave no controle das respostas de luta ou fuga e de outras emoções (LEDOUX, 2000; DAMASIO; DAMASIO; TRANEL, 2012).

Segundo Damasio, Damasio e Tranel (2012), na década de 1920, Cannon demonstrou que a transecção do encéfalo acima do nível do hipotálamo (por meio de um corte que separa o córtex e o tálamo do hipotálamo e de outras áreas mais abaixo, no encéfalo) produzia um animal que ainda era capaz de expressar raiva. No entanto, uma transecção abaixo do hipotálamo, separando apenas o tronco encefálico e a medula espinal, eliminava reações coordenadas de raiva natural. Isso implicava

claramente o hipotálamo nas reações emocionais. Cannon denominou tais reações mediadas pelo hipotálamo de “raiva simulada”, pois, nesse caso, não eram recebidos sinais de entrada de áreas corticais, que ele considerava cruciais para a experiência emocional.

Cannon e Bard propuseram uma teoria bastante influente da emoção, centrada no hipotálamo e no tálamo. De acordo com essa teoria, a informação sensorial processada no tálamo seria enviada tanto ao hipotálamo quanto ao córtex cerebral (LEDOUX, 2000; DAMASIO; DAMASIO; TRANEL, 2012). Para os autores, as projeções para o hipotálamo produziram respostas emocionais (via conexões com o tronco encefálico e a medula espinal), enquanto as projeções para o córtex cerebral produziram os sentimentos conscientes. Essa teoria implicaria ser o hipotálamo o responsável pela avaliação do encéfalo quanto ao significado emocional dos estímulos externos e que as reações emocionais dependeriam de sua estimativa.

Em 1937, Papez ampliou a teoria de Cannon-Bard. Ledoux (2000) salienta que como Cannon e Bard, Papez propôs que a informação sensorial do tálamo seria enviada para o hipotálamo. A partir daí, conexões descendentes para o tronco encefálico e a medula espinal originariam as respostas emocionais, e conexões ascendentes para o córtex cerebral originariam os sentimentos. No entanto, Papez ampliou os circuitos neurais dos sentimentos consideravelmente além da teoria de Cannon-Bard, interpondo um novo conjunto de estruturas entre o hipotálamo e o córtex cerebral. Ele argumentou que sinais do hipotálamo seguem primeiro para o tálamo anterior e, então, para o córtex cingulado, onde convergem sinais do hipotálamo e do córtex sensorial. Essa convergência é responsável pela experiência consciente do sentimento. O córtex sensorial projetaria, então, tanto ao córtex cingulado quanto ao hipocampo, que, por sua vez, estabelece conexões com os corpos mamilares do hipotálamo, completando, assim, a alça.

No final da década de 1930, Henrich Klüver e Paul Bucy removeram bilateralmente os lobos temporais de macacos e observaram uma variedade de distúrbios psicológicos, incluindo alterações nos hábitos de alimentação (os macacos colocavam na boca objetos não comestíveis) e no comportamento sexual (tentavam fazer sexo com parceiros inapropriados, como membros de outras espécies). Além disso, esses animais apresentavam uma falta de cuidado com objetos antes temidos

(p. ex., humanos e serpentes). Esse conjunto de achados veio a ser conhecido como síndrome de Klüver-Bucy (LEDOUX, 2000; KANDEL *et al.*, 2014).

A partir dos modelos de Cannon-Bard e Papez e dos achados de Klüver e Bucy, MacLean (1990) sugeriu, em 1950, que a emoção seria produto do “encéfalo visceral”. Segundo o autor, o encéfalo visceral incluía as várias áreas corticais que há muito vinham sendo chamadas de lobo límbico, assim designadas por Broca, por formarem uma borda na parede medial dos hemisférios. Posteriormente, o encéfalo visceral foi renomeado sistema límbico. O sistema límbico inclui as várias áreas corticais que constituíam o lobo límbico de Broca (especialmente as áreas mediais dos lobos e frontal) e as regiões subcorticais conectadas com essas áreas corticais, como a amígdala e o hipotálamo.

MacLean pretendia que sua teoria fosse uma elaboração das ideias de Papez. De fato, muitas áreas do sistema límbico de MacLean são partes do circuito de Papez. No entanto, MacLean não compartilhava a ideia de Papez de que o córtex cingulado seria a sede dos sentimentos. Em vez disso, ele acreditava que o hipocampo fosse a parte do encéfalo onde o mundo externo (representado nas regiões sensoriais do córtex lateral) encontra-se com o mundo interno (representado pelo hipotálamo e pelo córtex medial), permitindo que sinais internos confirmem peso emocional a estímulos externos, originando, assim, os sentimentos conscientes. Para MacLean, o hipocampo estava envolvido tanto na expressão de respostas emocionais no organismo quanto na experiência consciente dos sentimentos (MACLEAN, 1990; KANDEL *et al.*, 2014).

Achados subsequentes levantaram problemas para a teoria do sistema límbico de MacLean. Em 1957, foi descoberto que uma lesão no hipocampo levava a deficiências na conversão da memória de curta para a de longa duração, uma função distintamente cognitiva. Além disso, animais com lesões hipocampais são capazes de expressar emoções, e humanos com lesões hipocampais expressam e sentem emoções normalmente. Em geral, lesões em áreas do sistema límbico não têm os efeitos esperados sobre o comportamento emocional (KANDEL *et al.*, 2014).

A despeito disso, várias das demais ideias de MacLean acerca da emoção são ainda relevantes. MacLean acreditava que as respostas emocionais seriam essenciais para a sobrevivência e, portanto, envolveriam circuitos relativamente primitivos, que teriam sido conservados durante a evolução, e essa noção é chave para uma perspectiva evolutiva da emoção. Além disso, sua ideia de que os estados emocionais

e os processos cognitivos envolvem circuitos de certo modo distintos e podem funcionar de modo relativamente independentes uns dos outros, como implicado pela teoria de Cannon-Bard e todas as teorias subsequentes do encéfalo emocional, também tem algum mérito (MACLEAN, 1990; WHALEN; PHELPS, 2009).

3.2.3 O papel da amígdala nos circuitos das emoções

Embora lesões na maioria das áreas límbicas não apresentem os efeitos preditos pela teoria do sistema límbico sobre o comportamento emocional, uma área límbica mostrou consistentemente estar envolvida na emoção: a amígdala. Na metade da década de 1950, Weiskrantz (1956) buscou entender qual região do lobo temporal era responsável pelas alterações emocionais características da síndrome de Klüver-Bucy. Para tal, utilizou o condicionamento de esquiva, uma forma de condicionamento instrumental (WHALEN; PHELPS, 2009).

No condicionamento de esquiva, um animal aprende a executar respostas que evitam com sucesso um choque aversivo, o estímulo não condicionado. A esquiva bem-sucedida do choque reforça a resposta, isto é, aumenta a probabilidade da resposta. Macacos normais aprendem respostas instrumentais (i.e., pressionar uma alavanca) para evitar o choque, mas macacos com lesões na amígdala não o fazem. O pesquisador concluiu que uma função-chave da amígdala era conectar estímulos externos com suas consequências aversivas (punição) ou recompensadoras (WEISKRANTZ, 1956; WHALEN; PHELPS, 2009).

O medo tem sido uma emoção bastante popular na pesquisa em neurociências, por ser importante para a sobrevivência e também porque diversos protocolos experimentais estão disponíveis para o estudo do medo nos animais. Após a descoberta de Weiskrantz, muitos pesquisadores utilizaram o condicionamento de esquiva para estudar os mecanismos neurais do medo. O medo, no entanto, pode também ser estudado utilizando o condicionamento pavloviano e, no início da década de 1980, este havia se tornado o protocolo mais utilizado (WHALEN; PHELPS, 2009).

3.2.4 Condicionamento pavloviano para o estudo do medo

No condicionamento pavloviano do medo, uma associação é aprendida entre o estímulo não condicionado (US) (p. ex., um choque) e os estímulos condicionados (CS), que precedem o US. Por exemplo, um CS emocionalmente neutro (um tom) é apresentado por diversos segundos, e o animal recebe um choque no último segundo do CS. Após diversos pareamentos de tom e choque, a apresentação do tom isoladamente determina um congelamento defensivo e alterações associadas na atividade autônoma e endócrina. Além disso, muitos reflexos defensivos, como o piscar dos olhos e o sobressalto, são facilitados pela apresentação do tom isoladamente (LaBAR *et al.*, 1998; MOTTA *et al.*, 2009; WHALEN; PHELPS, 2009).

O condicionamento pavloviano de medo é a primeira fase do condicionamento de esquiva. O pareamento de US e CS inicialmente resulta no condicionamento de uma resposta, mas, na segunda fase, o animal aprende a realizar uma resposta instrumental para evitar o choque. No início da década de 1980, neurocientistas começaram a perceber que uma forma mais eficiente de estudar o medo aprendido era focalizar o estudo no primeiro estágio do condicionamento de esquiva – o condicionamento pavloviano de medo – e não ampliar o desenho experimental para a segunda fase (LaBAR *et al.*, 1998; MOTTA *et al.*, 2009; WHALEN; PHELPS, 2009).

Pesquisas realizadas em vários laboratórios estabeleceram que lesões da amígdala impedem a ocorrência do condicionamento pavloviano de medo. Animais com lesões da amígdala falham no aprendizado da associação entre CS e US e, assim, não expressam medo quando o CS é apresentado posteriormente de forma isolada (LaBAR *et al.*, 1998; MOTTA *et al.*, 2009; WHALEN; PHELPS, 2009).

A amígdala consiste em aproximadamente doze núcleos, mas os núcleos lateral e central são relevantes para o medo condicionado. Uma lesão em qualquer desses núcleos, mas não em outras regiões, impede o surgimento de medo condicionado. O núcleo lateral é o núcleo de entrada, que recebe sinais aferentes acerca do CS (p. ex., um tom) originários do tálamo. O núcleo central é a região de saída; neurônios desse núcleo projetam a área do tronco encefálico envolvidas no controle dos comportamentos defensivos e das respostas neurovegetativas e humorais associadas. Os núcleos lateral e central estão conectados por meio de

diversos circuitos intra-amigdalianos, incluindo conexões nos núcleos basal e intercalado (LaBAR *et al.*, 1998; MOTTA *et al.*, 2009).

Sinais de entrada sensoriais alcançam o núcleo lateral a partir do tálamo, tanto direta quanto indiretamente. Conforme predito pela hipótese de Cannon-Bard, sinais sensoriais vindos dos núcleos de estações talâmicas são retransmitidos para áreas sensoriais do córtex. Como resultado, amígdala e córtex são ativados simultaneamente. A amígdala, no entanto, é capaz de responder a um sinal de perigo antes que o córtex possa processar a informação referente ao estímulo. Segundo os autores, uma vez que o processamento cortical é necessário para a experiência consciente do medo, o estado emocional disparado pelos sinais talâmicos provavelmente será iniciado antes que se sinta conscientemente o medo (LaBAR *et al.*, 1998; MOTTA *et al.*, 2009).

Acredita-se que o núcleo lateral seja um local de alterações sinápticas durante o condicionamento de medo. Sinais de CS e US convergem no núcleo lateral; quando CS e US são pareados, a efetividade do CS é aumentada. O núcleo lateral parece ter divisões funcionais. Neurônios na parte mais dorsal da divisão dorsal parecem iniciar o aprendizado quando CS e US são pareados, ao passo que neurônios em uma parte adjacente ventral na divisão dorsal medeiam a MLP da associação CS-US. Segundo os autores, estudos vêm demonstrando que ocorre plasticidade sináptica em circuitos específicos da amígdala central. Desse modo, a amígdala central não apenas origina sinais de saída motores, mas também é parte dos circuitos por meio dos quais associações de medo são formadas e armazenadas, provavelmente pela transmissão de informações que chegam do núcleo lateral acerca do CS e do US (LaBAR *et al.*, 1998; MOTTA *et al.*, 2009).

A carga emocional de um estímulo é avaliada pela amígdala para determinar se há perigo presente. Se a amígdala detecta perigo, ela comanda a expressão de respostas comportamentais e fisiológicas por meio de conexões com o hipotálamo e com o tronco encefálico. Por exemplo, o comportamento de congelamento é mediado por conexões do núcleo central para a região da matéria cinzenta periaquedutal ventral. Além disso, a amígdala apresenta uma variedade de conexões que também lhe permitem influenciar outras funções cognitivas. Por exemplo, através de suas amplas projeções para áreas corticais, ela pode modular a atenção, a percepção, a memória e a tomada de decisão. Suas conexões com núcleos modulatórios

dopaminérgicos, noradrenérgicos, serotoninérgicos e colinérgicos que se projetam para áreas corticais também influenciam o processamento cognitivo (LaBAR *et al.*, 1998; MOTTA *et al.*, 2009).

Os mecanismos celulares e moleculares dentro da amígdala subjacentes ao medo aprendido, sobretudo no núcleo lateral, têm sido elucidados em detalhes. Os achados apoiam a visão de que o núcleo lateral é um local de armazenamento da memória de medo condicionado, argumentam os autores.

3.2.5 Relação entre a amígdala e o medo não condicionado em animais

Muitos animais dependem de sinais olfatórios inatos (não condicionados) para detecção de ameaças, parceiros para acasalar, alimento e assim por diante. Por exemplo, roedores exibem comportamento de congelamento e outros comportamentos defensivos quando detectam urina de raposa (LaBAR *et al.*, 1995; 1998; MOTTA *et al.*, 2009).

Alguns estudos têm progredido no delineamento dos circuitos subjacentes ao medo inato. Em mamíferos, ameaças não condicionadas envolvendo odor de predadores ou de congêneres são transmitidas do componente vomeronasal do sistema olfatório para a amígdala medial. Sinais de saída a partir da amígdala medial alcançam o hipotálamo ventromedial, que se conecta com o núcleo hipotalâmico pré-mamilar. Em contrapartida ao medo aprendido, que depende da região ventral da matéria cinzenta periaquedutal, as respostas de medo não condicionado dependem de conexões do hipotálamo com a região dorsal da matéria cinzenta periaquedutal (LaBAR *et al.*, 1995; 1998; MOTTA *et al.*, 2009).

3.2.6 Relação entre a amígdala e o medo nos humanos

Os achados básicos em animais, com relação ao papel da amígdala na emoção, têm sido confirmados em estudos em humanos. Assim, pacientes com lesões na amígdala não desenvolvem medo condicionado quando são expostos a um CS neutro pareado com um US (choque elétrico ou barulho alto). Pacientes com lesões na amígdala também não são capazes de reconhecer expressões faciais de

medo e não geram respostas autônomas de medo a essas expressões (PHELPS, 2006).

De acordo com Phelps (2006), em humanos normais, a atividade da amígdala aumenta durante o pareamento CS-US. Essa atividade é especialmente forte quando os estímulos são apresentados de forma subliminar. Em indivíduos normais, expressões faciais de temor também ativam a amígdala, mesmo quando apresentadas de modo subliminar. Esses achados enfatizam a importância da amígdala na avaliação subconsciente do significado de um estímulo.

Certas formas de processamento do medo são específicas do ser humano. Por exemplo, a simples informação verbal de que um CS pode ser seguido por um choque é suficiente para que o CS determine respostas de medo. O CS induz respostas autônomas características, mesmo que nunca tenha sido associado à emissão do choque. Os humanos também podem ser condicionados pela observação de outro indivíduo sendo condicionado – o observador aprende a temer o CS, embora o CS e o US nunca lhe tenham sido diretamente apresentados (PHELPS, 2006).

O autor segue argumentando que as capacidades de aprendizagem e memória emocionais da amígdala humana enquadram-se na categoria de aprendizagem e memória implícitas (a evocação inconsciente de habilidades motoras e de percepção). Em situações de perigo, no entanto, o hipocampo e outros componentes do sistema do lobo temporal medial envolvidos na aprendizagem e na memória explícitas (a evocação consciente de pessoas, lugares e coisas) codificarão a aprendizagem, de modo que indicadores de perigo aprendidos podem também ser evocados conscientemente.

Estudos de pacientes com lesão bilateral da amígdala ou do hipocampo ilustram as contribuições individualmente dessas duas estruturas para a memória implícita e explícita, respectivamente. Pacientes com lesão da amígdala não demonstram respostas fisiológicas a um CS, ao passo que pacientes com lesão hipocampal respondem normalmente ao CS, mas não têm memória consciente da experiência de condicionamento (PHELPS, 2006).

A função da amígdala encontra-se alterada em diversos transtornos psiquiátricos em humanos, sobretudo transtornos de medo e ansiedade. Além disso, a amígdala desempenha um papel importante no processamento de dicas relacionadas a drogas capazes de desencadear dependência, de acordo com o autor.

3.2.7 Relação entre amígdala e emoções positivas

Embora estudos acerca das bases neurais da emoção tenham focado as respostas aversivas, sobretudo o medo, outros estudos têm mostrado que a amígdala também está envolvida em emoções positivas, em particular no processamento de recompensas. Em macacos e ratos, a amígdala é necessária para associar estímulos neutros a recompensas (PHELPS, 2004; 2006).

Estudos em primatas não humanos e roedores têm seguido a sugestão de Weiskrantz, de que a amígdala conecta tanto estímulos de recompensa quanto de punição. Em um experimento, os pesquisadores treinaram macacos para associar imagens visuais abstratas a uma recompensa ou punição. O significado era então invertido (p. ex., pareando uma punição com um estímulo previamente associado a uma recompensa). Dessa forma, foi possível separar as contribuições da amígdala para o processamento visual e o valor do estímulo (valência). Mudanças nas valências das imagens modulavam a atividade neural da amígdala, e a modulação ocorria com suficiente rapidez para ser responsável pelo aprendizado comportamental (PHELPS, 2004; 2006; KANDEL *et al.*, 2014).

Evidências crescentes de estudos por imagem funcional em humanos também têm demonstrado que a amígdala está envolvida na emoção. Por exemplo, a amígdala humana é ativada quando os indivíduos observam fotografias de estímulos associados a alimento, sexo e dinheiro, ou quando as pessoas tomam decisões com base no valor de recompensa dos estímulos (PHELPS, 2004; 2006).

3.2.8 Outras áreas encefálicas e o processamento emocional

Além da amígdala, outras áreas encefálicas contribuem para o processamento emocional. Como visto no caso do medo condicionado e do não condicionado, a amígdala contribui para o processamento emocional como parte de um amplo circuito que inclui regiões do hipotálamo e do tronco encefálico, como, por exemplo, a substância cinzenta periaquedutal no tronco encefálico (LeDOUX, 1996; KANDEL *et al.*, 2014).

Áreas corticais são também importantes. Diversos estudos em humanos têm implicado a região ventral do córtex cingulado anterior, o insular e o córtex pré-frontal

ventromedial em vários aspectos do processamento emocional. Esses circuitos corticais são especialmente importantes em estados emocionais complexos (LeDOUX, 1996; KANDEL *et al.*, 2014).

Sentimentos complexos estão associados à interação social e vão de empatia e orgulho a embaraço e culpa. Assim como no caso de emoções primárias, como o medo, o prazer ou a tristeza, emoções sociais consistem em alterações corporais e comportamentos específicos e são experimentadas conscientemente, como sentimentos distintos. Esses sentimentos contribuem de forma importante para interações sociais normais (LeDOUX, 1996; KANDEL *et al.*, 2014).

Estudos de pacientes com distúrbios neurológicos e lesões focais no encéfalo têm aumentado o entendimento das bases neurais das emoções sociais. Por exemplo, lesões em alguns setores do córtex pré-frontal prejudicam emoções sociais e sentimentos relacionados. Além disso, esses pacientes apresentam mudanças no comportamento social, semelhantes ao comportamento de pacientes com personalidades sociopáticas ao longo do desenvolvimento. Pacientes com lesões em algumas regiões do córtex pré-frontal são incapazes de se manter em empregos, não podem manter relações sociais estáveis, são propensos a violar convenções sociais e não conseguem manter independência financeira. É comum a ruptura de laços familiares e de amizades após o desencadeamento dessa condição. Estudos revelam que, em condições experimentais controladas, os julgamentos morais desses pacientes apresentam falhas (LeDOUX, 1996; KANDEL *et al.*, 2014).

Diferentemente dos pacientes com lesões parietais ou parietofrontais, os pacientes com lesão frontal não apresentam déficits motores, como paralisia de membros e defeitos na fala e, desse modo, podem parecer, a princípio, neurologicamente normais. Suas capacidades de atenção, percepção, aprendizagem, evocação, linguagem e habilidades motoras não apresentam sinais de prejuízo. Alguns pacientes têm QI na faixa superior. Por essa razão, eles retornam a seus trabalhos e atividades sociais após a recuperação inicial da lesão encefálica. Apenas ao começarem a interagir com outros é que seus déficits são notados (LeDOUX, 1996; KANDEL *et al.*, 2014).

No córtex pré-frontal, o setor ventromedial apresenta particular importância. Na maioria dos pacientes com prejuízo nas emoções sociais, esse setor apresenta lesão bilateral, embora uma lesão restrita ao lado direito seja suficiente para causar

sintomas antissociais. A região crítica engloba as áreas 12, 11, 10, 25 e 32 de Brodmann, que recebem muitas projeções dos setores dorsolateral e dorsomedial do córtex pré-frontal. Algumas dessas áreas projetam-se extensivamente para áreas subcorticais relacionadas às emoções: amígdala, hipotálamo e matéria cinzenta periaquedutal no tegmento do tronco encefálico (LeDOUX, 1996; KANDEL *et al.*, 2014).

Pacientes com essas lesões frontais não apresentam alterações na frequência cardíaca ou no grau de sudorese nas palmas das mãos quando lhes são apresentados estímulos que normalmente causam emoções, embora eles possam descrever as fotografias com perfeição. Indivíduos normais são igualmente eficientes na descrição das fotografias, mas apresentam respostas psicofisiológicas a elas. Diferentemente dos indivíduos normais, pacientes com lesões frontais não apresentam alterações detectáveis na condutância da pele, um sinal de ativação simpática, durante o período que precede a tomada de decisões arriscadas e desvantajosas, sugerindo que sua memória emocional não está engajada durante esse período crítico. Também ao contrário de indivíduos normais, esses pacientes não mostram bom desempenho em tarefas nas quais precisam tomar uma decisão sob condições de incerteza e nas quais recompensas e punição são fatores importantes (LeDOUX, 1996; KANDEL *et al.*, 2014).

Observa-se que, quando perguntados acerca de punição, recompensa ou responsabilidade, pacientes adultos com lesão pré-frontal respondem como se ainda tivessem o conhecimento básico das regras, mas suas ações indicam que não as usam adequadamente em situações reais. Essa dissociação sugere que seus defeitos comportamentais não são causados por perda de conhecimento factual, mas sim por dificuldade em acessar tal conhecimento, talvez em função de deficiência no processamento emocional (LeDOUX, 1996; KANDEL *et al.*, 2014).

O imageamento funcional em humanos normais mostra que o córtex frontal ventromedial é ativado durante o período que precede uma decisão. A mesma região é ativada em tarefas envolvendo punição e recompensa, apoiando a noção de que o significado emocional da punição e da recompensa é relevante para a tomada de decisão. A punição e a recompensa são frequentemente delineadas em experimentos envolvendo decisões econômicas e morais (LeDOUX, 1996; KANDEL *et al.*, 2014).

O córtex pré-frontal, sobretudo no setor ventromedial, opera em paralelo com a amígdala. Durante uma resposta emocional, áreas ventromediais governam a atenção conferida a certos estímulos, influenciam o conteúdo evocado da memória e ajudam a elaborar planos mentais concebidos como resposta a um estímulo desencadeador. Segundo os pesquisadores, uma vez que influenciam a atenção, tanto a amígdala quanto o córtex pré-frontal ventromedial provavelmente também alteram processos cognitivos, por exemplo, acelerando ou retardando o fluxo de representações sensoriais. Todas essas alterações são ao final incorporadas na circuitaria da MT no córtex pré-frontal dorsolateral, que contribui para o processamento dos sentimentos (LeDOUX, 1996; KANDEL *et al.*, 2014).

3.2.9 Compreensão dos correlatos neurais dos sentimentos

Sentimento foi definido como a experiência consciente de uma emoção. Assim sendo, as tentativas de estudar os correlatos neurais dos sentimentos em animais experimentais são difíceis, pois os sentimentos são inerentemente subjetivos. Evidências para os correlatos neurais dos sentimentos originam-se sobretudo de estudos de imageamento funcional em humanos e de testes neuropsicológicos de pacientes com lesões encefálicas específicas (LeDOUX, 2000; DAMASIO; DAMASIO; TRANEL, 2012; KANDEL *et al.*, 2014).

Um estudo de imageamento funcional utilizou PET para testar a ideia de que os sentimentos estão correlacionados com a atividade em regiões somatossensoriais corticais e subcorticais que recebem aferências relacionadas especificamente ao ambiente interno – as vísceras, as glândulas endócrinas e o sistema musculoesquelético. Pediu-se a indivíduos normais que recordassem episódios pessoais envolvendo quatro emoções diferentes – tristeza, felicidade, raiva e medo – e tentassem experimentar de novo, tão proximamente quanto fosse possível, a emoção que acompanhava aqueles eventos. A partir do momento em que era pedido a um dos participantes que experimentasse novamente determinado episódio ou emoção até o final do escaneamento, o nível de atividade em diversas regiões corticais e subcorticais era analisado continuamente, junto com diversos parâmetros psicofisiológicos, como a condutância da pele (KANDEL *et al.*, 2014).

Os achados demonstraram que havia mudanças na atividade dos córtex insular, córtex somatossensorial secundário (S-II), córtex cingulado, hipotálamo e parte superior do tronco encefálico, e o padrão de alteração diferia segundo a emoção. Os padrões de ativação não apresentavam sobreposição. Segundo os autores, esses resultados apoiam a ideia de que pelo menos uma parte do substrato neural para os sentimentos corresponda a alterações no padrão de atividade causadas pela emoção sendo induzida.

Quando, por exemplo, os participantes experimentavam tristeza, o setor subgenual do córtex cingulado era ativado. Essa região é de especial interesse, pois é também ativada diferentemente em pacientes com depressão bipolar. Além disso, essa região parece mais estreita em imagens obtidas por ressonância magnética (RM) estrutural de pacientes com depressão crônica. A Amígdala não é ativada durante a experiência consciente de sentimentos, evidência de que ela tenha função principalmente em estados emocionais inconscientes (KANDEL *et al.*, 2014).

Em humanos, setores do córtex insular ativados durante a evocação de sentimentos também são ativados durante a sensação consciente de dor e temperatura. O córtex insular recebe informação homeostática (sinais de temperatura e dor, alterações no pH sanguíneo, nas concentrações de dióxido de carbono e oxigênio no sangue) através de vias que se originam nas fibras nervosas periféricas. Essas fibras aferentes incluem, por exemplo, as fibras C e A δ . Essas fibras formam sinapses com neurônios da lâmina I do corno posterior da medula espinal ou na parte caudal do núcleo do nervo trigêmeo no tronco encefálico. As vias a partir da lâmina I e do núcleo do trigêmeo projetam para os núcleos do tronco encefálico; daí para o tálamo e, então, para o córtex insular. A identificação desse sistema funcional é outra evidência para a ideia de que sinais nas vias aferentes somatossensoriais desempenham um papel no processamento dos sentimentos. Além disso, em pacientes com comprometimento autônomo puro, uma doença na qual a informação aferente visceral está gravemente comprometida, estudos de imageamento funcional revelam um embotamento dos processos emocionais e atenuação da atividade das áreas somatossensoriais que contribuem para os sentimentos (LeDOUX, 2000; DAMASIO; DAMASIO; TRANEL, 2012; KANDEL *et al.*, 2014).

De acordo com os autores, como outros sentimentos, os sentimentos sociais acionam os córtices insular e somatossensoriais primário e secundário (S-I e S-II),

como foi demonstrado em experimentos de neuroimageamento funcional avaliando empatia para a dor e, separadamente, admiração e compaixão (KANDEL *et al.*, 2014).

Uma maior compreensão acerca dos correlatos neurais dos sentimentos também tem vindo do exame de pacientes com lesões focais. Uma lesão no córtex somatossensorial direito (S-II, S-I e ínsula) leva a prejuízos em sentimentos sociais, como a empatia. Consistente com esse achado, pacientes com lesões no córtex somatossensorial direito falham em adivinhar com precisão os sentimentos por trás de expressões faciais de outros indivíduos. Essa capacidade de ler faces não está prejudicada em pacientes com lesões comparáveis do córtex somatossensorial esquerdo, indicando que o hemisfério cerebral direito é dominante, pelo menos no processamento de alguns sentimentos. Sentimentos corporais, como dor e prurido, permanecem intactos, assim como sentimentos de emoções básicas, como medo, alegria e tristeza (LEDOUX, 2000; DAMASIO; DAMASIO; TRANEL, 2012; KANDEL *et al.*, 2014).

Por outro lado, segundo os autores, uma lesão no córtex insular humano, especialmente no esquerdo, pode interromper comportamentos de dependência, como o fumo. Isso sugere que os córtices insulares desempenham um papel na associação de dicas externas com estados internos, como prazer e desejo. É interessante que uma lesão bilateral completa dos córtices insulares humanos, como a causada por encefalite por herpes simples, não impede sentimentos emocionais ou sentimentos corporais, sugerindo que os córtices somatossensoriais e os núcleos subcorticais no hipotálamo e no tronco encefálico também estejam envolvidos na geração de estados de sentimentos.

Finalmente, as bases neurais para o componente hedônico ou aspecto prazeroso dos estados de sentimentos estão sendo elucidadas em estudos animais por Smith e Berridge (2005). Esses estudos consistentemente implicam o *nucleus accumbens* e outros núcleos da base, especialmente o estriado ventral e o pálido ventral. Um número crescente de estudos de imageamento funcional em humanos – especialmente no campo da neuroeconomia, que combinam métodos de pesquisa das neurociências, economia experimental e comportamental e psicologia cognitiva e social para investigar a tomada de decisão em humanos – aponta na mesma direção, argumentam Kandel *et al.* (2014).

Verificou-se nesta seção que na fisiologia geral da regulação da vida, os estados emocionais situam-se entre os processos simples dos reflexos e da regulação homeostática por um lado e os processos cognitivos por outro.

As emoções servem como dicas para o comportamento adequado em resposta a desafios e oportunidades no ambiente, permitindo a um organismo empregar rapidamente comportamentos específicos vantajosos. O processamento neural responsável pelos estados emocionais e seu efeito sobre o comportamento é amplamente inconsciente. De fato, estudos de imageamento funcional mostram que a amígdala é rapidamente ativada por estímulos que são impedidos de chegar à percepção consciente. No entanto, embora o processamento neural inicial de estímulos emocionalmente competentes possa ser inconsciente, esse processamento pode levar a sentimentos, a percepção consciente das respostas encefálicas aos estímulos (KANDEL *et al.*, 2014).

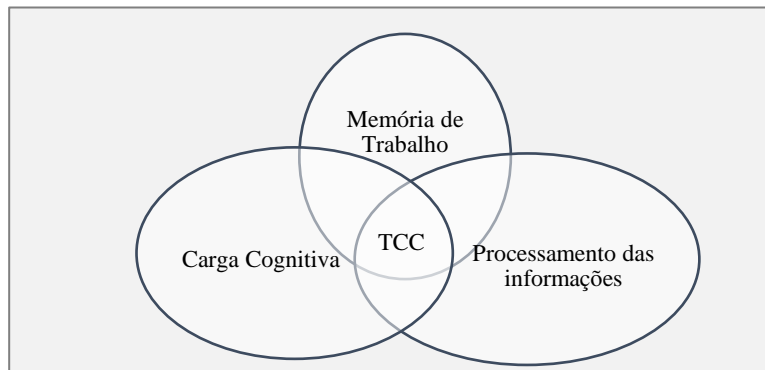
Qual poderia ser o papel adaptativo dos sentimentos? Uma vez que estados emocionais podem surgir automática e efetivamente, qual poderia ser a vantagem de trazer à consciência as alterações fisiológicas que constituem as emoções? A observação de pacientes com lesões encefálicas nos quais os sentimentos encontram-se gravemente comprometidos fornece uma possível resposta: a perda ou prejuízo dos processos neurais responsáveis pelos sentimentos diminui a capacidade de antecipar e planejar o comportamento.

Sentimentos conscientes facilitam o aprendizado acerca de objetos e situações que causam respostas emocionais. Desse modo, os sentimentos acentuam o significado comportamental das emoções e orientam o processo imaginativo necessário para o planejamento de ações futuras. Em suma, estados emocionais inconscientes são sinais automáticos de perigo e proveito, ao passo que os sentimentos conscientes, uma vez que recrutam capacidades cognitivas, dão maior adaptabilidade nas respostas a situações perigosas ou vantajosas. De fato, tanto emoções quanto sentimentos também desempenham um importante papel no comportamento social, incluindo a formação de julgamentos morais e a elaboração de decisões econômicas (KANDEL *et al.*, 2014).

3.3 Teoria da Carga Cognitiva

A TCC parte da ideia, experimentalmente verificada (SWELLER; MAWER, 1982; SWELLER, 1988), da existência de uma carga cognitiva necessária para a compreensão das informações durante o processo de aprendizagem. Tais informações são processadas, inicialmente, pela MT, que possui limitações em termos de duração e capacidade de armazenamento. Assim, o ponto central da TCC é considerar a necessidade de não sobrecarga da MT, para que não haja comprometimento na aprendizagem do sujeito (CLARK; NGUYEN; SWELLER, 2006). A Figura 3 apresenta as áreas centrais envolvidas na TCC:

Figura 3 – Elementos centrais da TCC



Fonte: Elaboração própria, 2021.

A TCC considera a forma como os recursos cognitivos são usados durante o processo de aprendizagem. Muitas destas formas são desenvolvidas por métodos de instrução que envolvem os sujeitos em atividades cognitivas distantes dos reais objetivos da tarefa em questão. A carga cognitiva gerada por essas atividades, muitas vezes irrelevantes, pode dificultar a aprendizagem (CHANDLER; SWELLER, 1991). Experimentos já evidenciaram a utilização de estratégias que geram consequências negativas para a aprendizagem (COOPER; SWELLER, 1987; WARD; SWELLER, 1990).

3.3.1 Memória de Trabalho

A MT é uma memória transitória, consciente, onde são armazenadas e processadas as informações necessárias ao desempenho de uma tarefa ou ao

entendimento de um conteúdo que esteja sendo aprendido. Seu funcionamento depende de uma coordenação executada espacialmente pela região pré-frontal do córtex cerebral (CONSENZA; GUERRA, 2011). Ela é fundamental para o pensamento e a aprendizagem, pois permite aos indivíduos fazer conexões entre pensamentos e ideias que estejam ativos na memória com informações armazenadas na MLP (FENESI *et al.*, 2015).

Nos seres humanos, a MT consiste em pelo menos dois subsistemas, nomeadamente um para a informação verbal e outro para a visuoespacial. O funcionamento desses dois subsistemas é coordenado por um terceiro sistema, denominado 'Processos de Controle Executivo'. Acredita-se que os processos de controle executivo aloquem recursos de atenção para os subsistemas verbal e visuoespacial, além de monitorar, manipular e atualizar as representações armazenadas (KANDEL *et al.*, 2014).

Utiliza-se o subsistema verbal ao tentar manter informação com base na linguagem falada conscientemente. O subsistema verbal consiste em dois componentes interativos: um armazenado, que representa conhecimento fonológico, e um mecanismo de ensaio (a repetição mental), que mantém essas representações ativas enquanto se precisa delas. O subsistema visuoespacial retém imagens mentais de objetos visuais e da localização dos objetos no espaço. Acredita-se que o ensaio da informação espacial e relativa a objetos envolva a modulação de tais representações nos córtices parietal, temporal inferior e occipital extraestriatal pelos córtices frontal e pré-motor (KANDEL *et al.*, 2014).

Ao longo do desenvolvimento da Teoria da Carga Cognitiva, foram realizados experimentos que buscaram relacionar a carga cognitiva e seu impacto na MT a partir de algumas variáveis, nomeadamente Autoavaliações, Medidas fisiológicas e Tarefas secundárias, conforme descrição a seguir:

- **Autoavaliações por meio de questionários**

O questionário de autoavaliação consiste em um item no qual os alunos indicam qual a “quantidade percebida de esforço mental” em uma escala de 9 pontos. Nas pesquisas que utilizam essa forma de medição, o esforço mental relatado é visto como um índice da carga cognitiva, que terá um certo grau de impacto na MT (PAAS, 2003). Nestes questionários, pedia-se aos participantes para avaliarem seus esforços

mentais. O valor mais alto nessa escala subjetiva correspondia à expressão “muito muito alto”, enquanto o valor mais baixo correspondia à expressão “muito muito baixo”.

- **Medidas fisiológicas**

Uma dessas técnicas combina a medida da pressão sanguínea com a variação dos batimentos cardíacos. Reações da pupila também são usadas e tidas como sensíveis às variações da carga cognitiva. Outro método para medir o impacto da carga cognitiva na MT tem sido a utilização de imagens neurológicas obtidas por meio da Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET) e também por meio da ressonância magnética (VOLKE *et al.* 1999; GERLICK; JAUSOVEC, 1999; MURATA, 2005).

As medidas fisiológicas, tais como ritmo do coração e dilatação da pupila, não são medidas diretas da carga cognitiva. Elas apresentam uma ligação causal indireta com a carga cognitiva. Como exemplo, relatam que uma alta carga cognitiva pode levar a um alto estresse no indivíduo, podendo gerar mudanças no ritmo do coração, possivelmente como uma resposta emocional aos materiais didáticos (BRUKEN; PLASS; LEUTNER, 2003). Embora esse método seja utilizado para visualizar regiões do cérebro ativadas em estudos sobre a MT envolvendo tarefas como a memorização de palavras, compreensão de sentenças ou rotações visuais, ainda é inconclusivo para o estudo de processos complexos de aprendizagem e a conexão entre a carga sobre a MT, além de que a atividade no córtex pré-frontal ainda não é completamente compreendida (SOUZA, 2010).

- **Tarefas Secundárias**

Nesta abordagem, a realização da tarefa principal, como por exemplo, dirigir um carro, é acompanhada de uma tarefa secundária, como reagir o mais rápido possível a uma mudança de cor (BRUKEN; PLASS; LEUTNER, 2003), ou detectar um estímulo auditivo ou reagir a estímulos visuais (e.g. uma letra colorida na tela) (CLERNIAK; GERJETS, 2009), dentre outros. A análise de tarefas secundárias é baseada na limitação dos recursos cognitivos. Em razão dessa limitação, a execução de uma tarefa afeta o desempenho da outra. Assim, a análise do desempenho de uma tarefa permite inferir o nível de demanda cognitiva associado à outra tarefa (SOUZA, 2010). Segundo os autores, a carga cognitiva associada à tarefa principal pode ser inferida a partir da análise do desempenho na tarefa secundária, ou seja, um aumento

de carga cognitiva na tarefa principal pode ser evidenciado pela diminuição do desempenho na tarefa secundária, em virtude da sobrecarga na MT.

3.3.2 Evidências empíricas da Memória de Trabalho

Em 1885, surge a primeira pesquisa experimental referente ao decaimento da memória com o tempo (SOUZA, 2010). Herman Ebbinghaus sabia que o significado de uma palavra facilita a sua lembrança. Para neutralizar esse efeito facilitador, o pesquisador utilizou sílabas sem sentido. Uma de suas descobertas foi a existência de limites no tempo de armazenamento das informações na MT. A partir daí, foi possível construir um gráfico de decaimento da memória (curva do esquecimento) (BADDELEY, 1982). O declínio mais rápido dessa curva ocorre nos primeiros 20 minutos. No final dos anos 50, começou-se a investigar não o esquecimento que ocorre nos primeiros 20 minutos, mas o que ocorre dentro de um intervalo de tempo de alguns segundos.

Peterson (1959) desenvolveu uma técnica que consistia na apresentação ao sujeito de um grupo de três consoantes, tais como XTM seguido de um número, tal como 582. Pedia-se ao sujeito que repetisse o número e depois prosseguisse enumerando seus algarismos de trás para frente por algumas vezes, após o que deveria tentar repetir as consoantes. Sua intenção, ao fazer o sujeito se concentrar nos números em ordem decrescente, pronunciando-os ("309, 306, 303 etc."), era impedir que o sujeito pudesse ficar repetindo mentalmente as letras (ABC), o que impediria o decaimento natural da lembrança das 3 letras. Nessas circunstâncias, os participantes esqueciam muito rapidamente. A tarefa secundária "pedia-se ao sujeito que repetisse o número, digamos 309, e depois prosseguisse, 306, 303, etc. até a luz vermelha acender" (PETERSON, 1959, p. 194) interferia inibindo a lembrança das três letras alguns segundos depois. O pesquisador verificou que após 18 segundos ocorria um esquecimento severo das três letras. Esses 18 segundos assim obtidos dessa experiência são frequentemente citados como um indicador da "duração" da MT (SOLSO, 1995).

Em 1956, Miller realizou experimentos baseados também em lembranças de letras e palavras, e concluiu que a MT armazena no máximo 7 ± 2 itens simultaneamente. Essa limitação da capacidade significa que não se terá dificuldade

em memorizar e repetir uma lista de, por exemplo, 6 itens, mas haverá dificuldade em memorizar uma lista de 10 itens (“novos” e não relacionados entre si), seja em uma lista de dígitos, letras ou palavras (COWAN, 2009).

3.3.3 Tipos de Carga Cognitiva

Nesta subseção, serão conceituados os tipos de carga cognitiva, evidenciando o papel de cada na retenção de informações na MT, o que influencia diretamente no processo de aprendizagem.

3.3.3.1 Carga Cognitiva Estranha

É a carga cognitiva que em nada contribui para o processo de aprendizagem, causando efeito reverso, ou seja, consumindo parte da capacidade da MT que poderia estar sendo utilizada para a aprendizagem (SOUZA, 2010). A carga cognitiva gerada tanto pelo efeito da atenção dividida quanto pelo efeito redundância é irrelevante e estranha à aprendizagem, por isso é classificada como uma “Carga Cognitiva Estranha” (AYRES; SWELLER, 2005). Está relacionada às condições postas para a apresentação de informações, no que tange aos aspectos textuais ou de representação de figuras (SZULEWSKI *et al.*, 2021).

3.3.3.2 Carga Cognitiva Intrínseca

A carga cognitiva intrínseca é aquela que diz respeito à natureza/dificuldade intrínseca do conteúdo, que está relacionada ao grau de interatividade entre os elementos que compõem a informação a ser apreendida. Quanto maior for essa interatividade, mais complexo é o conteúdo e maior será a carga cognitiva intrínseca envolvida na aprendizagem (SOUZA, 2010; CLARK; NGUYEN; SWELLER, 2006). Pode-se afirmar também que esta carga cognitiva está relacionada à complexidade das informações que se quer absorver (SZULEWSKI *et al.*, 2021).

3.3.3.3 Carga Cognitiva Relevante

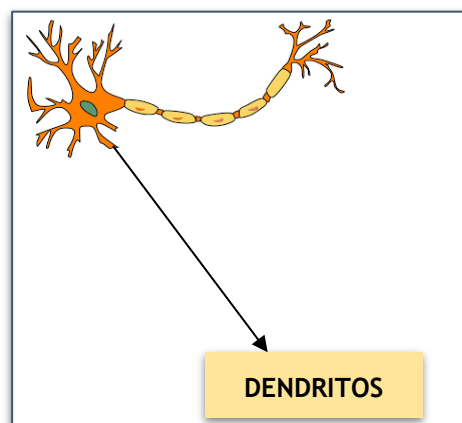
A Carga Cognitiva Relevante está associada a processos que são relevantes para a aprendizagem, tais como aquisição de esquemas e automatização. É a carga que contribui diretamente para a aprendizagem, por meio da construção das estruturas cognitivas e dos processos que melhoram o desempenho dos aprendizes (VAN MERRIENBOER; KESTER; PAAS, 2006). Refere-se também aos recursos cognitivos necessários ao processamento, construção e automação de esquemas mentais, que relacionam elementos para otimizar a compreensão da informação. (SZULEWSKI *et al.*, 2021).

3.3.4 Efeitos que envolvem a Memória de Trabalho

3.3.4.1 Efeito da Atenção Dividida

De um modo geral, os materiais didáticos apresentam duas fontes de informação: texto e figuras. Na maioria dos casos, texto e figuras ficam espacialmente separados, obrigando o aprendiz a olhar, ora para o texto, ora para a figura, dividindo a atenção. Isso cria um esforço cognitivo (carga cognitiva), uma vez que, para a compreensão do texto, o aprendiz deve lê-lo, guardá-lo na MT, e então procurar na figura o referente correspondente (SOUZA, 2010; AYRES; SWELLER, 2005). Este esforço cognitivo é denominado efeito da atenção dividida, verificado experimentalmente por Tarmizini e Sweller (1988), e ilustrado pela Figura 4.

Figura 4 – Representação do Efeito da Atenção Dividida



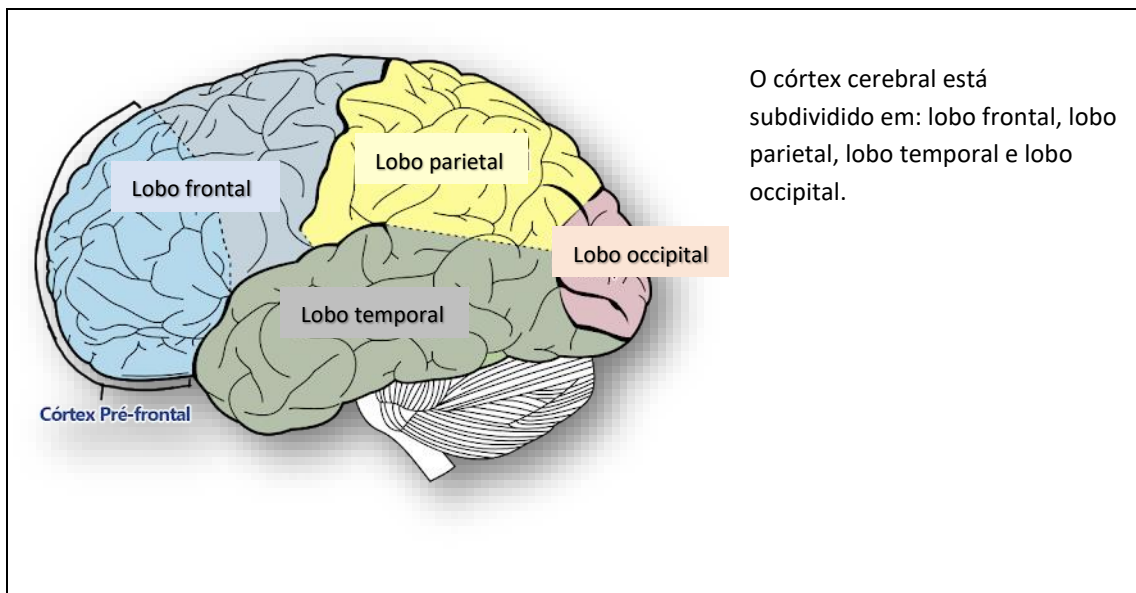
Fonte: Imagem adaptada de Pixabay.com

Na ilustração, verifica-se que o espaço geográfico entre a representação do dendrito e sua denominação indicada pela seta pode sobrecarregar a MT. Ayres e Sweller (2005) discorrem que essa carga cognitiva causada pela separação espacial das duas fontes de informação pode ser eliminada caso seja feita a integração espacial das fontes. Por ser uma carga considerada irrelevante para a aprendizagem, ela é classificada como uma “Carga Cognitiva Estranha”. A recomendação de fazer a integração espacial das fontes é denominada de Princípio da Atenção Dividida.

3.3.4.2 Efeito Redundância

Após a descoberta do efeito da atenção dividida, verificou-se que não era válido para qualquer tipo de material didático (SOUZA, 2010). O efeito redundância é o surgimento da carga cognitiva estranha causada pela apresentação de um conteúdo por meio de texto e figuras, sendo que um repassa a mesma ideia do outro, ou seja, causam redundância na leitura das informações. Experimentalmente, tal efeito foi verificado por Chandler e Sweller (1991), e pode ser ilustrado pela Figura 5.

Figura 5 - Representação do Efeito Redundância



Fonte: Imagem adaptada de Pixabay.com

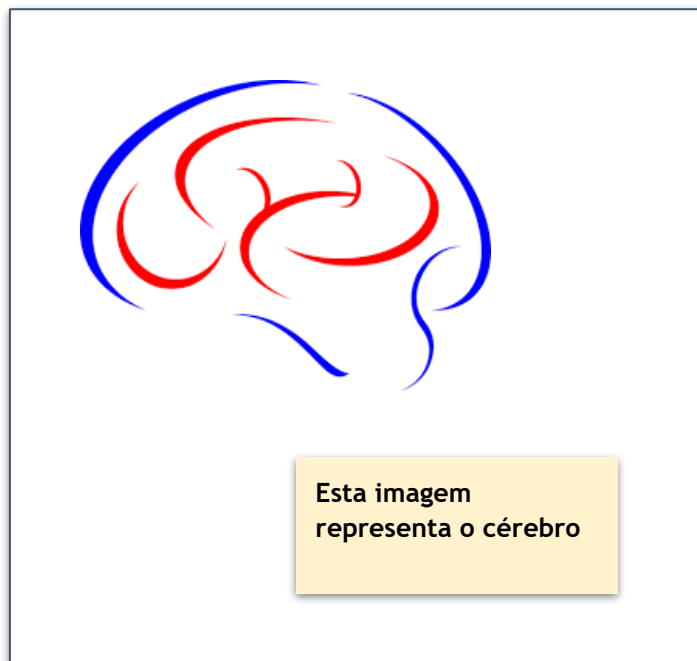
Na Figura 5, verifica-se que tanto a imagem quanto o texto auxiliar expressam a mesma ideia, situação que pode gerar o Efeito Redundância.

Eliminando-se a informação redundante, liberam-se esses recursos para a aprendizagem (CHANDLER; SWELLER, 1991; SWELLER; CHANDLER, 1994). Essa recomendação é denominada de Princípio da Redundância, que afirma que os aprendizes aprendem mais profundamente a partir da animação e narração do que a partir da animação, narração e texto, por exemplo (MORENO, 2004).

3.3.4.3 Efeito Modalidade

A MT possui um sistema de armazenamento para informação auditiva e outro para informação visual (SOUZA, 2010). A capacidade da MT de um aprendiz é efetivamente aumentada quando a aprendizagem se dá por meio de material didático que utiliza a modalidade dual (auditiva e visual), ou seja, dois canais de percepção (MOUSAVI; LOW; SWELLER, 1995). Há evidências de que a eficiência cognitiva aumenta quando se substitui o texto escrito que acompanha uma figura, pelo texto falado (SOUZA, 2010), conforme ilustrado pela Figura 6. A eficiência cognitiva conseguida em razão dessa substituição do texto escrito pelo texto falado é denominada de Efeito Modalidade (CLARK; NGUYEN; SWELLER, 2006). A recomendação para esta adequação na apresentação dos conteúdos é chamada Princípio da Modalidade (SOUZA, 2010).

Figura 6 - Representação sobre o Efeito Modalidade



Fonte: Imagem adaptada de Pixabay.com

No caso da ilustração representada pela Figura 6, para potencializar a eficiência cognitiva e evitar o Efeito Modalidade, o trecho que está no retângulo cor de rosa indicando sobre o que trata a imagem deve ser substituído por áudio-narração.

É mister considerar que se as explicações via áudio apenas reforçam as informações que a própria figura já contém, a duplicação da informação via modo dual é redundante e pode prejudicar a aprendizagem (LEAHY; CHANDLER; SWELLER, 2003). Quando uma informação visual como uma figura precisar de uma explicação, é recomendável que seja via áudio (Princípio da Modalidade) ou texto integrado (para evitar o Efeito da Atenção Dividida) (CLARK; NGUYEN; SWELLER, 2006).

3.3.5 Diretrizes da Teoria da Carga Cognitiva

Das 29 diretrizes propostas pela TCC, nesta tese foram consideradas as 07 que estão relacionadas diretamente com materiais multimídia (videoaula), nomeadamente o uso de diagramas, diagramas e áudio-narração, uso de sinais, integração entre texto e figuras, redução do conteúdo ao essencial, eliminação de elementos estranhos e eliminação de redundância na apresentação.

3.3.5.1 Uso de diagramas

Esta diretriz considera o uso de diagramas para ajudar na construção de uma compreensão mais profunda, uma vez que há sólidas pesquisas e razões psicológicas para que os diagramas sejam utilizados no ensino (CLARK; NGUYEN; SWELLER, 2006). Todos os elementos em um visual podem ser vistos simultaneamente, diferentemente de sentenças que devem ser processadas em sequência. Isso leva a uma menor busca visual em tarefas que envolvem a coordenação de múltiplos elementos espaciais, o que resulta em uma maior eficiência no processamento psicológico. Do mesmo modo, argumentam os autores, os diagramas fornecem uma representação mais explícita das tarefas espaciais. Um diagrama requer menos inferências porque mostra relações espaciais que deveriam ser inferidas a partir de texto (LARKIN; SIMON, 1987). Argumentam ainda que existe uma correspondência mais próxima entre o diagrama e os requisitos da tarefa.

3.3.5.2 Diagramas e áudio-narração

Esta diretriz afirma que se deve explicar diagramas com palavras apresentadas em áudio-narração. A TCC considera que a MT possui múltiplos sistemas de armazenamento: um para informações visuais e outro para auditivas. A utilização do texto falado em uma apresentação canaliza as informações auditivas para o subcomponente auditivo da MT, liberando o canal visual (subcomponente visual da MT) para o processamento de outras informações, impedindo que haja sobrecarga em ambos os subcomponentes, promovendo um aumento efetivo da capacidade da MT (CLARK; NGUYEN; SWELLER, 2006).

Assim, de acordo com os pesquisadores, na apresentação de diagramas ou figuras acompanhadas de explicações em textos, deve-se apresentar o texto como narração (áudio). A eficiência cognitiva conseguida em razão da substituição do texto escrito pelo texto falado é, conforme já verificado, chamada de Efeito Modalidade.

3.3.5.3 Uso de sinais

Segundo esta diretriz, verificada experimentalmente por Jeung, Chandler e Sweller (1997), deve-se usar sinais para focar a atenção em conteúdos visuais e textuais importantes. As evidências sugeriram que o efeito modalidade não era alcançado quando os diagramas apresentavam uma alta complexidade. Contudo, pela adição de sinais indicativos nos diagramas (setas, por exemplo), o efeito modalidade era recuperado.

Nestes experimentos, segundo os autores, foram comparados três formatos diferentes de apresentação de exemplos geométricos: a) diagramas sem sinais indicativos, explicados por meio de narração falada; b) diagramas com sinais indicativos que piscavam, explicados por meio de narração falada; e c) diagramas sem pistas, explicados por texto. Para os diagramas complexos, a aprendizagem por meio da narração foi melhor do que a aprendizagem por meio de textos, somente quando a parte relevante do diagrama era indicada por sinais indicativos para chamar a atenção da parte que estava sendo explicada.

3.3.5.4 Integração entre texto e figuras

Esta diretriz está relacionada ao Efeito da Atenção Dividida, segundo o qual deve-se integrar o texto explicativo próximo aos visuais correspondentes nas páginas e telas. Este efeito foi verificado, experimentalmente, por Tindal-Ford (TINDAL-Ford; CHANDLER; SWELLER, 1997), quando o pesquisador comparou dois tipos diferentes de apresentações: uma com integração espacial e outra sem. Neste mesmo experimento, o pesquisador acrescentou mais um formato de apresentação no qual substituiu o texto pelo áudio. As evidências sugeriram que o texto sem integração possibilitou uma menor aprendizagem. A pesquisa mostrou ainda que, tanto na apresentação com formato integrado, quanto na apresentação em que ocorreu a substituição do texto por áudio, os alunos aprenderam duas vezes mais do que na apresentação sem integração. Neste mesmo estudo, quando se compararam os efeitos sobre a aprendizagem decorrentes da versão em que o áudio foi substituído por texto, com os efeitos da aprendizagem decorrentes da versão na qual havia integração espacial entre texto e partes da figura a ele correspondentes, não houve diferença significativa.

3.3.5.5 Redução do conteúdo ao essencial

Para apresentação inicial do conteúdo, deve-se considerar a limitação da MT para a seleção das informações a serem inseridas no material instrucional, com vistas a não sobrecarga da MT (CLARK; NGUYEN; SWELLER, 2006). Souza (2010) relata o experimento desenvolvido por Mayer, em 1995. Foram comparados os efeitos sobre a aprendizagem de três versões de resumos (sobre processos climáticos) que continham um número de palavras diferentes: a) ilustrações com textos de 50 palavras; b) com textos de 100 palavras e c) com textos de 550 palavras. Os resultados sugeriram que o texto contendo o menor número de palavras foi o que produziu maior aprendizagem.

3.3.5.6 Eliminação de elementos estranhos

Segundo esta diretriz, deve-se eliminar visuais, texto e áudio estranhos ao conteúdo a ser aprendido. Carga cognitiva estranha ao conteúdo sobrecarrega a MT, conforme já descrito nesta tese. Segundo Harp e Mayer (1997), deve-se eliminar visuais ou áudio que foram incluídos apenas para motivar o aluno, pois, segundo eles, as evidências mostram que o melhor modo de ajudar o aluno a gostar de um conteúdo é contribuir com sua compreensão.

3.3.5.7 Eliminação de redundância na apresentação

Segundo esta diretriz, deve-se eliminar a redundância nos modos de apresentação do conteúdo (e.g. quando o áudio repete literalmente o texto escrito, isso pode gerar o efeito em questão). Esta diretriz está relacionada ao Efeito Redundância, conforme já apresentado.

3.4 Aprendizagem Multimídia

De acordo com Mayer (2009), os recursos multimídia são alternativas interessantes para melhorar a aprendizagem, tendo em vista que podem fazer uso de estímulos visuais e auditivos. O termo multimídia, segundo Braga *et al.* (2019, p.2), pode ser compreendido como um “conjunto de diversos meios técnicos, com o objetivo de apresentar as informações de diversas formas e por meio de diferentes modalidades sensoriais”. Desse modo, o recurso multimídia pode ser percebido a partir de três níveis: (a) nível técnico – vinculado às ferramentas que são condutoras de sinais, como computadores e monitores; (b) nível semiótico – relacionado à forma de apresentação desses sinais, como textos, imagens e sons e; (c) nível sensorial – vinculado à modalidade de recebimento de sinais, visual ou auditiva.

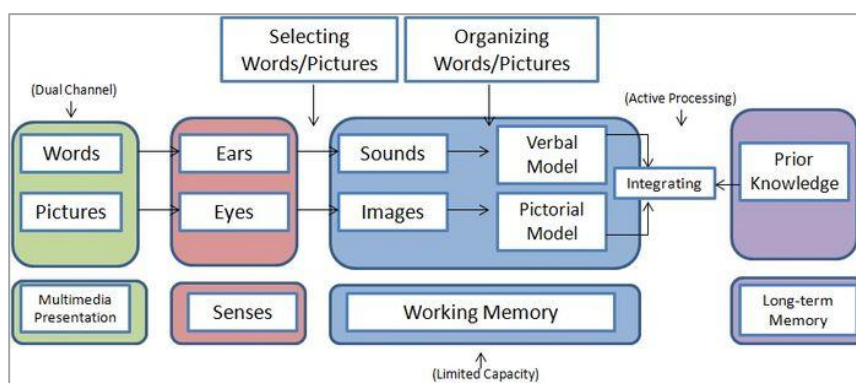
No âmbito do ensino, os níveis são percebidos da seguinte forma: quando o professor envia sistematicamente informações aos alunos, por meio de aula expositiva, tem-se um elemento condutor de sinal, atuando no nível técnico dos recursos multimídia. Ao utilizar uma *smart TV*, computador ou outro dispositivo para exibição de videoaulas, tais equipamentos são os condutores de sinais, atuando

também no nível técnico. Já a forma como a videoaula apresenta as ideias, conceitos ou informações – seja com narração, textos ou figuras – corresponde ao nível semiótico da aula. Estas informações apresentadas textualmente (narração ou texto escrito) ou visualmente (figuras ou diagramas) serão recebidas pelos estudantes através dos canais visual ou auditivo, representando o nível sensorial dos recursos multimídia (BRAGA *et al.*, 2019).

Schnotz e Lowe (2003) destacam que os três níveis apresentados são igualmente relevantes para o processo de aprendizagem, uma vez que impactam diretamente o processamento da informação. Os autores argumentam que diversas ferramentas multimídia voltadas ao ensino, apesar de possuírem a possibilidade de utilização de ambos os canais semióticos/sensoriais (visual ou auditivo), utilizam majoritariamente um dos canais, por exemplo, apresentando textos escritos e imagens simultaneamente, o que pode gerar sobrecarga na MT, conforme já verificado neste referencial teórico.

Mayer (2005) sustenta que a aprendizagem multimídia é baseada em três pressupostos: o do canal duplo, no qual o sujeito possui canais de processamento de informação separados (visual e verbal); o da capacidade limitada (relacionado à MT), no qual há limitação no processamento de informação em cada um dos canais; e o da aprendizagem ativa, no qual há processamento cognitivo essencial em ambos os canais (Figura 7).

Figura 7 – Modelo de Processamento da Informação



Fonte: Mayer (2005).

Segundo Mayer (2005), a aprendizagem multimídia se dá por meio de animação e narração, processada em três memórias: sensorial, de trabalho e de longo prazo. De acordo com o modelo apresentado na Figura 4, as informações são

captadas pela memória sensorial por meio dos olhos (palavras e imagens) e ouvidos (palavras); em seguida, são processadas e selecionadas nos canais visual e auditivo, onde ocorrem, respectivamente, a seleção de palavras e de imagens, e do texto narrado. Na MT, há uma organização entre imagens e palavras formando os modelos pictorial e verbal. Por fim, segundo o autor, ocorre a integração das informações que, juntamente com o conhecimento prévio, constrói-se a MLP. Argumenta ainda que as informações armazenadas na MLP afetam as percepções do mundo dos sujeitos e influenciam nas tomadas de decisão.

Os princípios da Aprendizagem Multimídia de Mayer foram elaborados a partir dos pressupostos da TCC, e consideram as formas de elaborar os recursos multimídia para que os alunos aprendam melhor:

- **Princípio Multimídia:** deve-se combinar palavras e imagens, em detrimento de apenas palavras;
- **Princípio da Contiguidade Temporal:** deve-se apresentar palavras e imagens de forma simultânea, ao invés de sucessivamente;
- **Princípio da Coerência:** deve-se excluir palavras, imagens ou sons não relevantes ao assunto abordado;
- **Princípio da Personalização:** deve-se priorizar a inserção de texto no estilo de conversação, em vez de estilo formal;
- **Princípio da Voz:** deve-se priorizar a inserção de voz humana nas narrações das aulas multimídia, em detrimento de voz mecânica;
- **Princípio da imagem:** deve-se avaliar a necessidade da presença da imagem do professor nos materiais multimídia;
- **Princípios da Redundância:** deve-se evitar a inserção de texto e figuras que representem o mesmo significado;
- **Princípio da Modalidade:** deve-se usar duas modalidades de forma que uma complemente a ideia da outra, como no caso de áudio e texto;
- **Princípio da Atenção Dividida:** deve-se inserir texto e figuras que estejam relacionados dentro de um espaço geográfico próximo;
- **Princípio da Sinalização:** deve-se usar sinais para destacar os elementos essenciais.

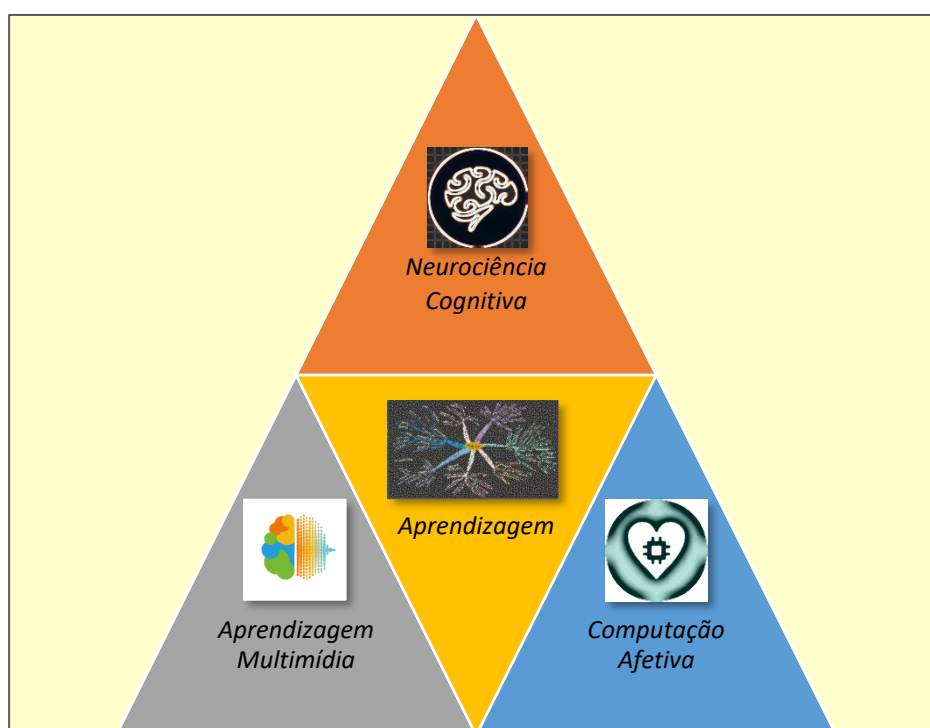
4 MODELO CONCEITUAL – MAPEM

O **M**odelo Conceitual de Apoio à **A**prendizagem com Base em **E**moções e Formação de **M**emórias é denominado MAPEM, acrônimo resultante das iniciais em negrito. A definição de modelo conceitual toma por base as categorias de modelos de dados, no que concerne aos modelos de alto nível ou conceituais, ou seja, que estão relacionados aos modos de percepção de dados. Modelos de dados conceituais utilizam conceitos como entidades, atributos e relacionamentos, sendo que uma entidade representa um conceito do mundo real, um atributo representa uma propriedade que descreve a entidade e o relacionamento entre duas ou mais entidades representa uma associação entre elas (ELMASRI; NAVATHE, 2011). Neste estudo, foram consideradas as entidades e seus relacionamentos.

4.1 Áreas Científicas do MAPEM

As áreas científicas que sustentam o modelo são Neurociência Cognitiva, Aprendizagem Multimídia e Computação Afetiva, focando a Aprendizagem (Figura 8).

Figura 8 - Áreas Científicas do MAPEM



Fonte: Elaboração própria, 2021.

O quadro 4 apresenta as áreas científicas e seus respectivos elementos constituintes.

Quadro 4 – Áreas científicas da tese e Elementos constituintes

Neurociência Cognitiva	Aprendizagem Multimídia	Computação Afetiva
Aprendizagem	Recursos Audiovisuais	Interação homem-computador
Memórias	Carga Cognitiva	Captura de expressões faciais
Emoções	Processamento das Informações	Decodificação de emoções

Fonte: Elaboração própria, 2021.

A primeira se constitui como um campo de pesquisa que investiga o cérebro e as formas de sustentação das atividades mentais relacionadas à cognição, compreendendo, desta forma, o comportamento humano a partir do processamento cognitivo. Deste modo, a Neurociência Cognitiva pode ser compreendida como sendo uma subdivisão das Neurociências que se ocupa em investigar como se dão os processos cognitivos complexos no cérebro (KANDEL *et al.*, 2014). A segunda se refere ao processo de aprendizagem por meio de recursos cognitivos que consideram elementos audiovisuais para o processamento das informações (MAYER, 2005). A terceira é uma área que utiliza as emoções humanas na produção de hardwares e softwares, fornecendo ao computador a habilidade de detectar tais emoções (D'MELLO; CALVO, 2013).

4.2 Entidades e Relacionamentos do MAPEM

Como objeto central da tese, o modelo conceitual de apoio à aprendizagem com base em emoções e formação de memórias (Figura 5) pode ser subdividido de acordo com os seguintes elementos, distribuídos pelos Quadros 5 e 6.

Quadro 5 – Entidades do Modelo Conceitual

Entidades	Descrição
Videoaula	Recurso multimídia que pode fazer uso de estímulos audiovisuais;
Princípio da Atenção Dividida	Integração espacial entre texto e figuras;
Princípio da Modalidade	Utilização de narração para a explicação de figuras;
Princípio da Redundância	Eliminação de texto e figuras que apresentem informações redundantes;
Memória de Trabalho	Memória responsável pelo processamento consciente das informações;
Emoções	Respostas fisiológicas a certos tipos de estímulos.

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Quadro 6 – Entidades e Relacionamentos do Modelo Conceitual

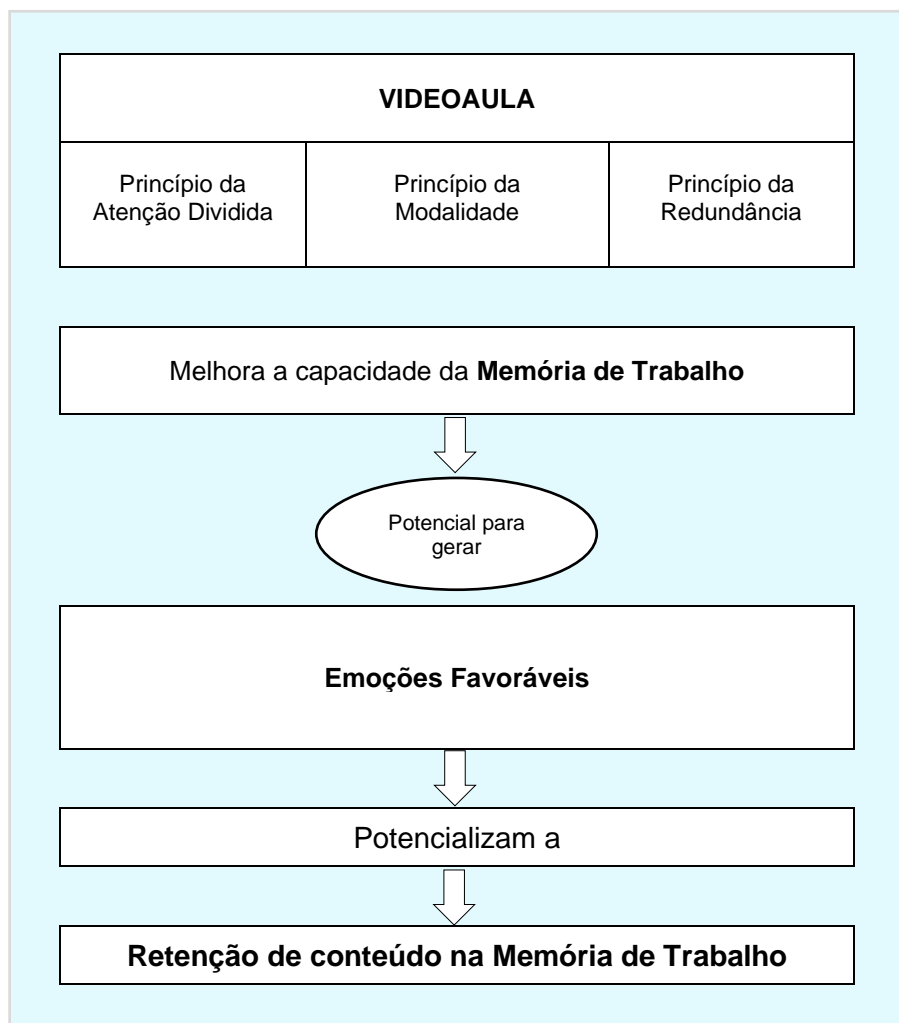
Entidades	Relacionamentos
Videoaula	As diretrizes enunciadas por cada um dos princípios são a base para a construção das videoaulas.
Princípio da Atenção Dividida	
Princípio da Modalidade	
Princípio da Redundância	
Entidades	Relacionamentos
Videoaula	A videoaula construída com base no relacionamento anterior promove a melhoria da capacidade da Memória de Trabalho.
Princípio da Atenção Dividida	
Princípio da Modalidade	
Princípio da Redundância	
Memória de Trabalho	
Entidades	Relacionamentos
Videoaula	A melhoria da capacidade da Memória de Trabalho se configura como um potencial para gerar emoções favoráveis à potencialização da retenção de informações no referido tipo de memória.
Princípio da Atenção Dividida	
Princípio da Modalidade	
Princípio da Redundância	
Memória de Trabalho	
Emoções	

Fonte: Elaboração própria, 2021.

4.3 O MAPEM e seus elementos

A Figura 6 apresenta os elementos que constituem o MAPEM, organizados em forma de processo e, posteriormente, representado pela Figura 9.

Figura 9 – Processo que envolve o MAPEM



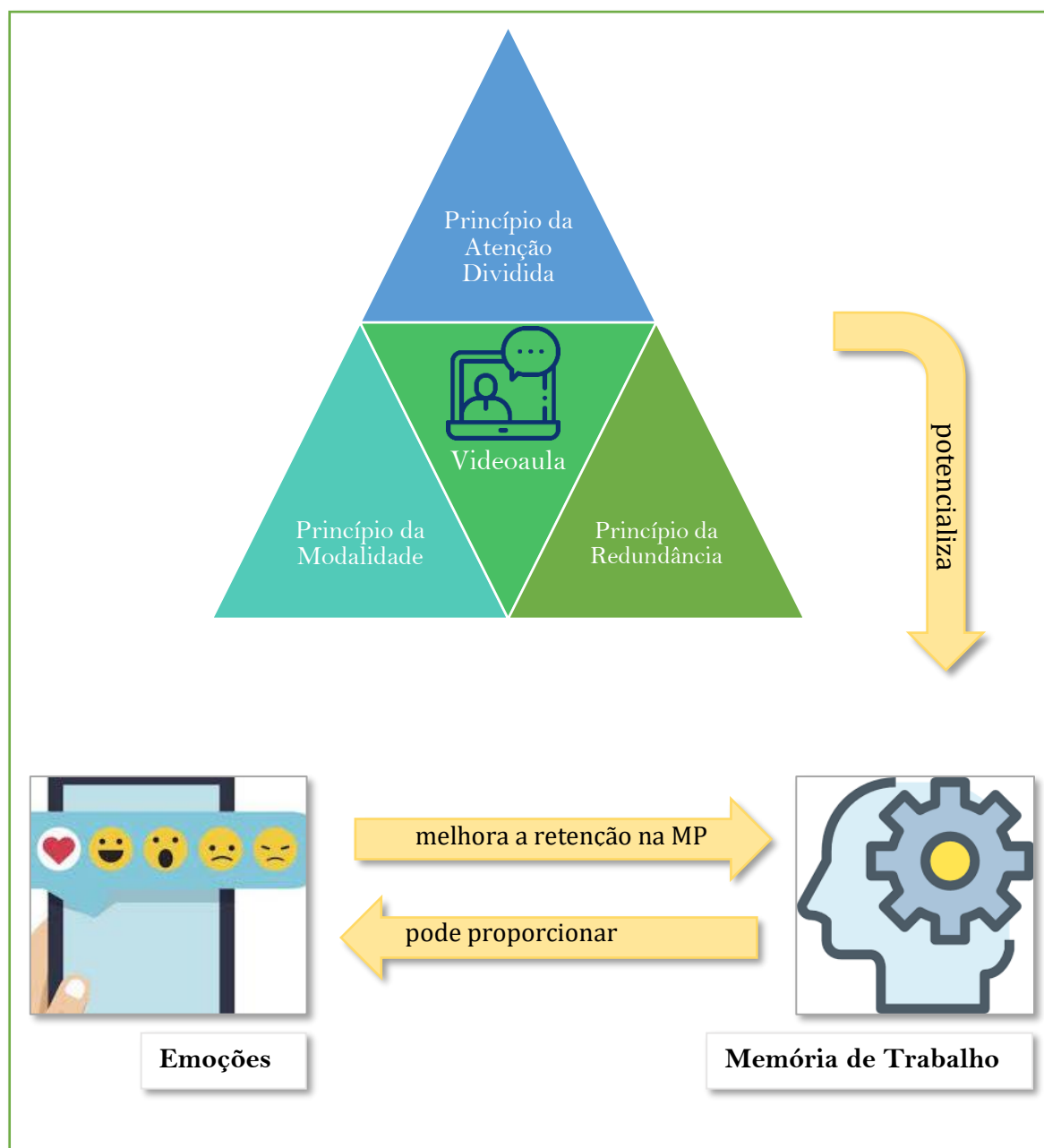
Fonte: Elaboração própria, 2021.

Segundo o processo que envolve o MAPEM, a videoaula organizada e formatada a partir dos Princípios da Atenção Dividida, Modalidade e Redundância pode melhorar a capacidade da MT, uma vez que ela é limitada, tanto em termos de duração quanto de capacidade de armazenamento, o que se configura como um potencial para gerar nos aprendizes emoções favoráveis à potencialização da retenção de informações na MT.

Nota-se que a identificação do padrão de atividade elétrica cerebral configura-se como uma informação a mais para contribuir com as análises, mas que não fez parte diretamente da concepção do modelo, em virtude da dificuldade encontrada durante a realização dos experimentos para: finalizar a videoaula, ajudar o participante a retirar o *headset* e deixá-lo em condições de responder as perguntas. Tal procedimento poderia interferir no processo de retenção de informações na MT.

A Figura 10 representa o MAPEM propriamente dito.

Figura 10 - Representação do MAPEM

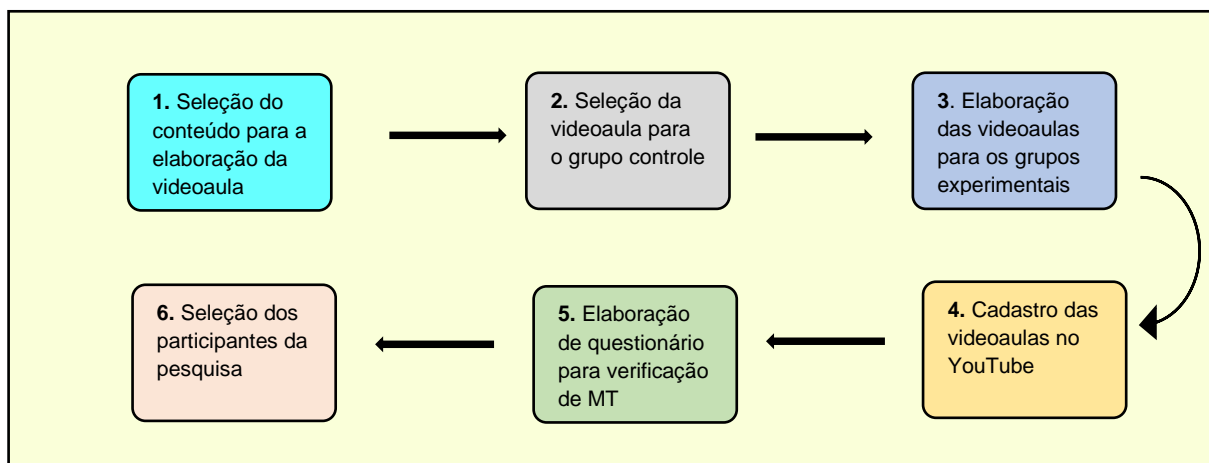


Fonte: Elaboração própria, 2021.

4.4 Processo para a Instanciação do MAPEM

A Figura 11 sintetiza as 6 etapas de preparação para a instanciação do modelo conceitual.

Figura 11 - Etapas para a instanciação do MAPEM



Fonte: Elaboração própria, 2021.

4.4.1 Seleção do conteúdo para a elaboração das videoaulas

O conteúdo selecionado priorizou o ensino de conceitos, definições e classificações sobre o tema, tem caráter introdutório e ainda não tinha sido estudado pelos participantes da pesquisa. Após discussão e buscas por temas possíveis, foi selecionado “Introdução aos Estudos Epidemiológicos”.

4.4.2 Seleção da videoaula para o grupo controle

A vídeoaula selecionada apresentou texto e narração, somente com a voz do professor, com duração de 11 minutos, e abordou o tema de forma introdutória, apresentando características de uma videoaula convencional, com tópicos, textos, figuras e marcações, como pode ser visualizado no link <https://www.youtube.com/watch?v=Jl18GmGOyil>.

4.4.3 Elaboração das videoaulas para os grupos experimentais

O conteúdo inserido nas videoaulas 1 e 2 tiveram por base a videoaula do grupo controle, a fim de garantir que conteúdos semelhantes fossem apresentados em todos os cenários do experimento. Para isso, o conteúdo da videoaula do grupo controle foi extraído na íntegra (Apêndice A) e adaptado para as videoaulas 1 e 2.

Na videoaula para o Grupo 1 (cenário 1), foram inseridos itens que sobrecarregam a MT, ou seja, que estimulam o aparecimento dos efeitos Redundância e da Atenção Dividida, e a não aplicação do Princípio da Modalidade, conforme referencial teórico abordado, como pode ser visualizado em <https://youtu.be/MKAJd1c2IJ8>.

Para o Grupo 2 (cenário 2), a videoaula buscou minimizar a sobrecarga na MT, ou seja, foi elaborada considerando os princípios da Redundância, da Modalidade e da Atenção Dividida, como pode ser visualizado em <https://youtu.be/v3XhyvnpQfs>.

A seguir, são apresentados os slides construídos para as videoaulas, com suas respectivas sinalizações, indicando princípios e efeitos gerados com base na TCC, iniciando pela videoaula 1.

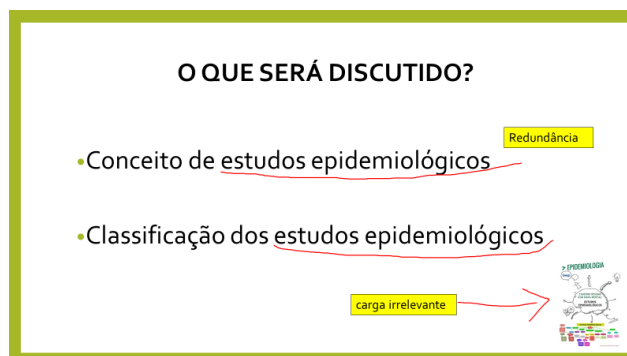
Figura 12 – Slide 1 da videoaula 1



Fonte: Elaboração própria, 2021

O slide 1, representado pela Figura 12, apresenta uma imagem que foi colocada com função meramente ilustrativa, ou seja, para gerar uma carga cognitiva (carga irrelevante) que não contribui para o entendimento das informações constantes no slide, especialmente também porque as letras que aparecem na imagem estão em um tamanho de fonte que dificulta a leitura das palavras.

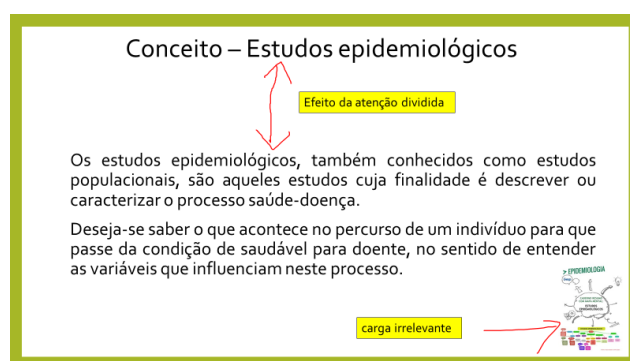
Figura 13 – Slide 2 da videoaula 1



Fonte: Elaboração própria, 2021

O slide 2, representado pela Figura 13, apresenta duas vezes o mesmo termo: estudos epidemiológicos. Dessa forma, a repetição pode gerar o Efeito Redundância, em virtude de não haver complementaridade na utilização dos mesmos, podendo sobrecarregar a MT. Observa-se também que a mesma imagem utilizada no slide 1 foi inserida no canto inferior direito do slide 2, a fim de se constituir como uma carga irrelevante, pelo fato de não contribuir com o entendimento das informações dos slides, podendo também sobrecarregar a MT.

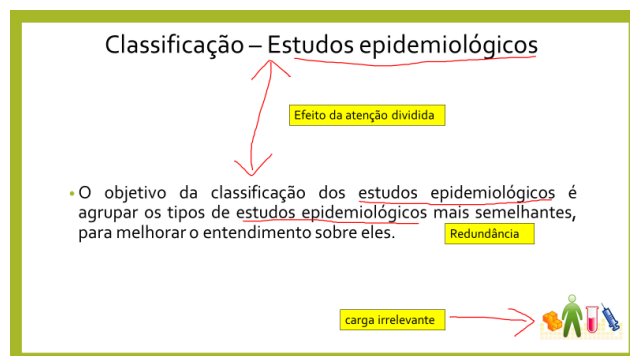
Figura 14 – Slide 3 da videoaula 1



Fonte: Elaboração própria, 2021

O slide 3, representado pela Figura 14, além de manter a imagem que consome carga cognitiva irrelevante, apresenta uma distância que poderia ser diminuída entre o título e o texto, representado pela marcação em vermelho, que contribui para gerar o Efeito da Atenção Dividida, em virtude do deslocamento do olhar causado durante a leitura das duas partes (SOUZA, 2015).

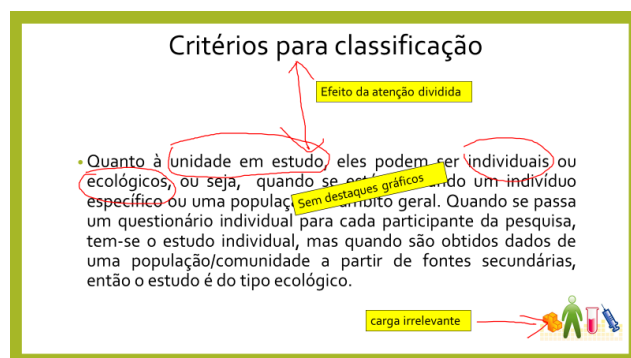
Figura 15 – Slide 4 da videoaula 1



Fonte: Elaboração própria, 2021

O slide 4, representado pela Figura 15, gera a possibilidade de, além de causar o Efeito da Atenção Dividida, pelas mesmas razões descritas na Figura 14, repete novamente dois termos iguais (estudos epidemiológicos), sem que tal repetição seja necessária para o entendimento das informações que estão sendo repassadas, além de apresentar uma nova imagem (sem relação direta com o tema) no canto inferior direito, para servir de carga cognitiva irrelevante.

Figura 16 – Slide 5 da videoaula 1



Fonte: Elaboração própria, 2021

O slide 5, representado pela Figura 16, além de voltar a apresentar elementos que possam gerar Efeito da Atenção Dividida e carga cognitiva irrelevante, elenca um critério dos estudos epidemiológicos, subdividido em dois itens de classificação, mas sem utilizar qualquer destaque gráfico, podendo gerar dificuldades na compreensão das informações. De acordo com Jeung, Chandler e Sweller (1997), a diretriz “usar

“sinais para focar a atenção em conteúdos visuais e textuais importantes” pode contribuir para a diminuição da sobrecarga na MT.

Figura 17 – Slide 6 da videoaula 1

Critérios para classificação

Efeito da atenção dividida

- Quanto à intervenção do investigador, os estudos podem ser observacionais, onde só há observação do processo sem o pesquisador intervir efetivamente; ou eles podem ser experimentais, em que o pesquisador intervém em um grupo do estudo, e não há exposição a este mesmo fator para outro grupo. Como exemplo do primeiro tipo, o investigador determina quem são os indivíduos doentes e quem são os não doentes, ou quem são os indivíduos expostos e os indivíduos não expostos, mas sem intervenção. Já do segundo tipo, ele pode aplicar uma droga a um grupo e um placebo para outro grupo, para futura avaliação dos efeitos.

Sem destaques gráficos

carga irrelevante

Fonte: Elaboração própria, 2021

O slide 6, representado pela Figura 17, além de apresentar as mesmas características descritas pela Figura 16, insere uma nova imagem no canto inferior direito, a fim de gerar a sobrecarga na MT, por meio da presença da carga cognitiva irrelevante.

Figura 18 – Slide 7 da videoaula 1

Critérios para classificação

Efeito da atenção dividida

- Quanto ao propósito geral do estudo, os estudos podem ser descritivos, quando visam somente descrever o processo sem a comparação; e analíticos, onde ocorre a comparação entre grupos com o intuito de identificar diferenças. Como exemplo, quando surgiram os primeiros casos da síndrome da imunodeficiência humana, deu-se a necessidade de se descrever o conjunto de sinais e sintomas dos pacientes, encaixando-se em relatos de casos ou série de casos, ou seja, ainda havia poucas informações, por isso a descrição se fazia necessária. Como exemplo dos analíticos, pode-se citar a comparação entre dois grupos, ver as diferenças entre eles, dentro de uma análise mais elaborada.

Sem destaques gráficos

carga irrelevante

Fonte: Elaboração própria, 2021

O slide 7, representado pela Figura 18, apresenta as mesmas características descritas na Figura 17.

Figura 19 – Slide 8 da videoaula 1

Variáveis: independente e dependente

Efeito da atenção dividida

- Variável independente é a variável que corresponde ao fator causal suspeito. Como exemplo, cita-se o tabagismo, pois se configura como um fator causal para o câncer de pulmão. Nesse caso, tabagismo é considerado como uma variável independente, ou seja, é o fator causal;
- Variável dependente é a variável que corresponde à condição final ou à doença propriamente dita. Seguindo a mesma linha do exemplo dado, seria o equivalente ao câncer de pulmão, ou seja, a variável que depende de um fator causal para aparecer, por isso o nome variável dependente.

carga irrelevante

Fonte: Elaboração própria, 2021

O slide 8, representado pela Figura 19, apresenta as mesmas características descritas na Figura 18, porém, insere uma nova imagem no canto inferior direito, a fim de gerar a sobrecarga na MT, por meio da presença da carga cognitiva irrelevante.

Figura 20 – Slide 9 da videoaula 1

Tipos de estudos epidemiológicos

- Relato de caso é a descrição do processo saúde-doença do indivíduo, que envolve a história do paciente, incluindo a semiologia, os exames e toda a evolução do processo;
- Série de casos é a descrição do processo saúde-doença de vários indivíduos, que envolve a história dos pacientes, incluindo a semiologia, os exames e toda a evolução do processo;
- Estudo de Correlação (Estudo Ecológico) é o estudo das comunidades ou populações de forma indireta, ou seja, a partir de bancos de dados secundários, como exemplo o DataSUS. Com os dados coletados, é possível analisar as variáveis e formular hipóteses;
- Estudo Transversal (Estudo Seccional) é o estudo onde se coletam os dados da população-alvo numa única oportunidade, buscando-se, simultaneamente, variáveis independente e dependente relacionadas ao que se está estudando;

carga irrelevante


Fonte: Elaboração própria, 2021

O slide 9, representado pela Figura 20, apresenta as mesmas características descritas na Figura 19.

Figura 21 – Slide 10 da videoaula 1

Tipos de estudos epidemiológicos

- **Estudo de Coorte** é o estudo onde a escolha da população se baseia na variável independente, por exemplo, o tabagismo. Para fazer parte do estudo, seriam escolhidas pessoas fumantes que, ao longo do tempo, seriam acompanhadas para análise do desfecho, que poderia ser o câncer de pulmão;
- **Estudo de Caso-controle** é o estudo onde a escolha da população se baseia na variável dependente, por exemplo, o câncer de pulmão. Para fazer parte do estudo, seriam escolhidas pessoas com câncer de pulmão e sem câncer de pulmão, a fim de fazer uma comparação entre as duas populações. Porém, deve-se estudar o **passado** dos indivíduos, para identificação dos fatores de risco e as características que possivelmente levaram ao aparecimento da doença;
- **Ensaio clínico** é **sem destaques gráficos** um estudo experimental ou de intervenção, onde o próprio investigador determina quem será exposto e quem não é exposto ao tratamento (novo fármaco, por exemplo) que está sendo testado, sendo essa uma das principais diferenças entre o ensaio clínico e os estudos de Coorte, Caso-controle e Transversal;
- **Metanálise** é o estudo feito com base em diversos outros estudos acessados por meio de ferramentas de busca, como PubMed e Scielo. A Metanálise permite tirar conclusões mais gerais que não seriam conseguidas analisando individualmente cada um dos estudos.

carga irrelevante → 

Fonte: Elaboração própria, 2021

O slide 10, representado pela Figura 21, apresenta as mesmas características descritas na Figura 20, porém, volta a inserir a mesma imagem dos slides 4 e 5 no canto inferior direito, com o intuito de gerar a sobrecarga na MT por meio da presença da carga cognitiva irrelevante.

Figura 22 – Slide 11 da videoaula 1

Referências

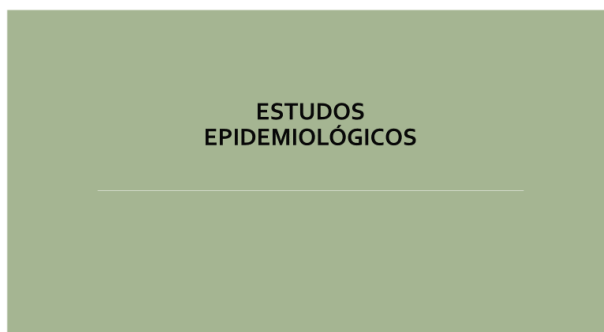
- FRANCO, L. J.; PASSOS, A. D. C. **Fundamentos de Epidemiologia**. 2. ed. SP: Manole, 2010.
- BONITA, R.; BEAGLEHOLE, R.; KJLLSTROM, T. **Epidemiologia Básica**. 2. ed. SP: Santos, 2010.

Fonte: Elaboração própria, 2021

O slide 11, representado pela Figura 22, finaliza a videoaula apresentando as referências usadas.

Para **videoaula 2**, onde foram aplicados os princípios da TCC para evitar a sobrecarga na MT, foram construídos para os experimentos os seguintes slides:

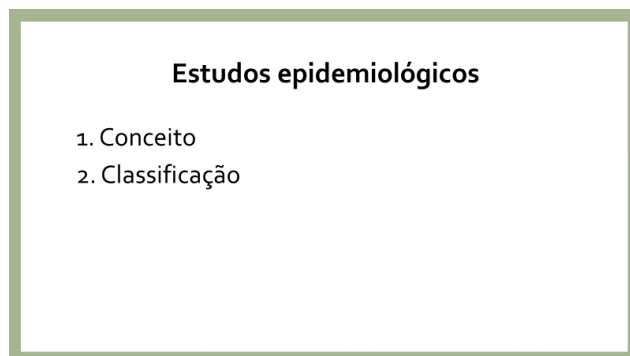
Figura 23 – Slide 1 da videoaula 2



Fonte: Elaboração própria, 2021

Para os slides da videoaula 2, foi escolhida uma cor neutra com o propósito de não chamar atenção dos participantes para algo que, neste caso, é considerado irrelevante. No entanto, em outros cenários, as cores mais fortes podem contribuir para chamar atenção dos estudantes para algo que se queira destacar. O slide 1 da videoaula 2, representado pela Figura 23, apresenta o título da videoaula, sem nenhuma figura ou imagem dentro da proximidade espacial.

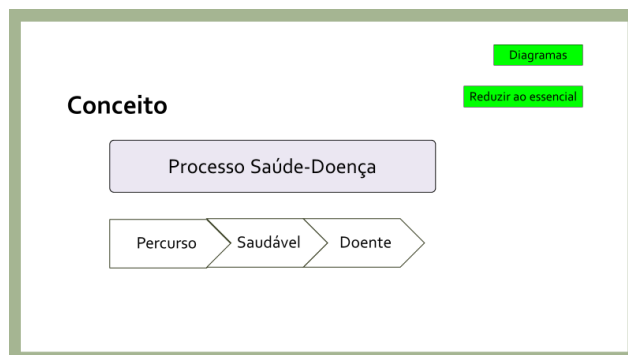
Figura 24 – Slide 2 da videoaula 2



Fonte: Elaboração própria, 2021

O slide 2 da videoaula 2, representado pela Figura 24, apresenta de forma sintética o que será abordado na videoaula em questão. O áudio da videoaula complementa o que está escrito no slide, buscando o Princípio da Modalidade, sempre com o propósito de reduzir a sobrecarga na MT (CLARK; NGUYEN; SWELLER, 2006). Durante toda a elaboração da videoaula 2, este princípio foi aplicado.

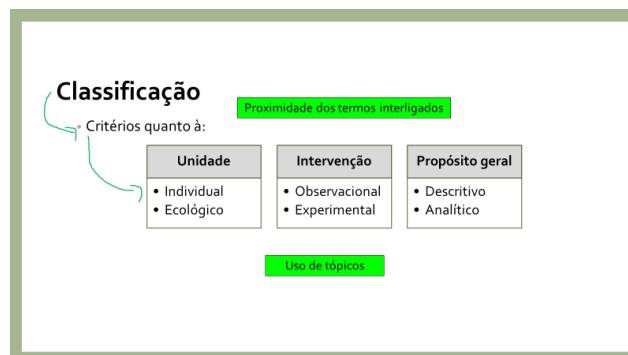
Figura 25 – Slide 3 da videoaula 2



Fonte: Elaboração própria, 2021

O slide 3 da videoaula 2, representado pela Figura 25, apresenta duas diretrizes da TCC: uso de diagramas e redução do conteúdo ao essencial (CLARK; NGUYEN; SWELLER, 2006). Um diagrama requer menos carga cognitiva porque mostra relações que deveriam ser inferidas a partir de texto (LARKIN; SIMON, 1987). Da mesma forma, inserir somente o essencial contribui para a não sobrecarga da MT.

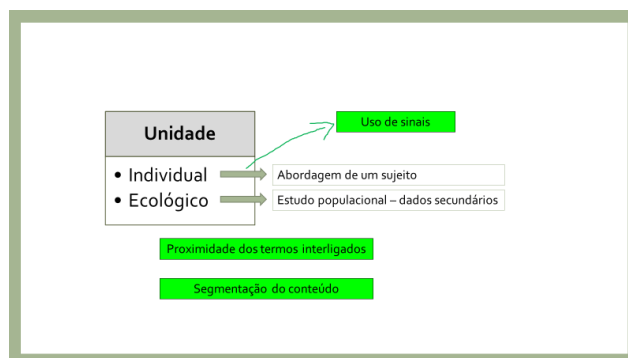
Figura 26 – Slide 4 da videoaula 2



Fonte: Elaboração própria, 2021

O slide 4 da videoaula 2, representado pela Figura 26, apresenta os termos espacialmente próximos, com o intuito de diminuir as chances de gerar o Efeito da Atenção Dividida, além de usar tópicos para destacar o ponto central das informações que estão sendo transmitidas.

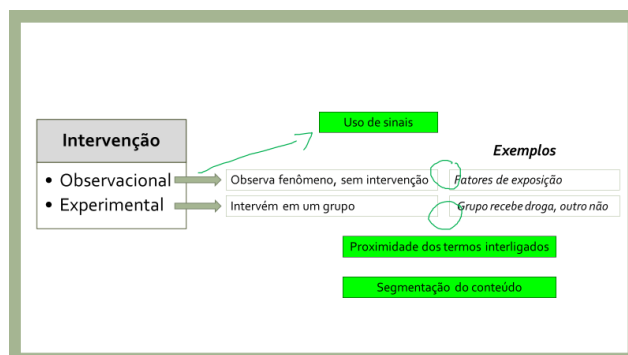
Figura 27 – Slide 5 da videoaula 2



Fonte: Elaboração própria, 2021

O slide 5 da videoaula 2, representado pela Figura 27, além de apresentar as mesmas características descritas na Figura 26, evidencia o uso de sinais, o que, segundo Jeung, Chandler e Sweller (1997), quando agregado à narração que complementa o texto escrito, potencializa a MT.

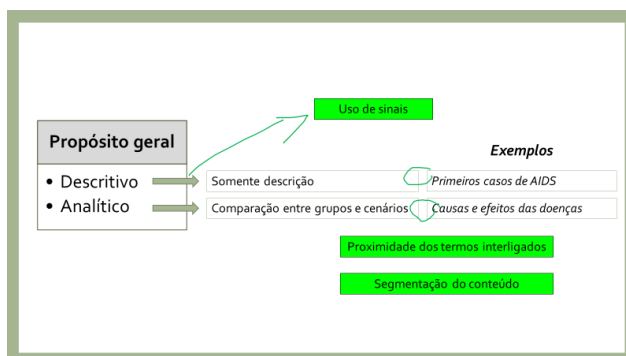
Figura 28 – Slide 6 da videoaula 2



Fonte: Elaboração própria, 2021

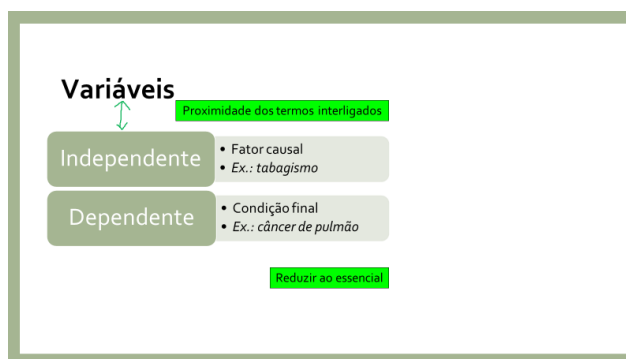
O slide 6 da videoaula 2, representado pela Figura 28, apresenta as mesmas características descritas na Figura 27. Destaca-se que a segmentação de conteúdo possibilita a aquisição de esquemas e estes, por sua vez, são construídos a partir da redução do conteúdo ao essencial. Os esquemas promovem carga cognitiva relevante, o que contribui para a melhoria da aprendizagem (VAN MERRIENBOER; KESTER; PAAS, 2006).

Figura 29 – Slide 7 da videoaula 2



Fonte: Elaboração própria, 2021

Figura 30 – Slide 8 da videoaula 2



Fonte: Elaboração própria, 2021

Os slides 7 e 8 da videoaula 2, representados pelas Figuras 29 e 30, apresentam as mesmas características já descritas anteriormente.

Figura 31 – Slide 9 da videoaula 2

Tipos de Estudos epidemiológicos

Tipos	Unidade em estudo		Intervenções do pesquisador		Propósito geral	
	Individual	Ecológico	Observacionais	Experimentais	Descritivos	Análitico
1. Relato de caso						
2. Série de casos						
3. Correlação (Ecológico)						
4. Transversal (Seccional)						
5. Coorte						
6. Caso-controlado						
7. Ensaio clínico						
8. Metanálise						

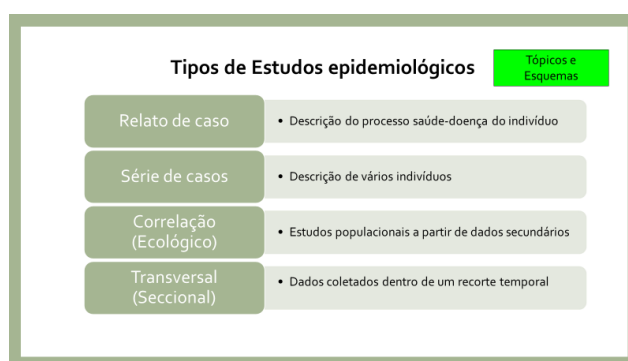
Visão geral

Identificação das classificações

Fonte: Elaboração própria, 2021

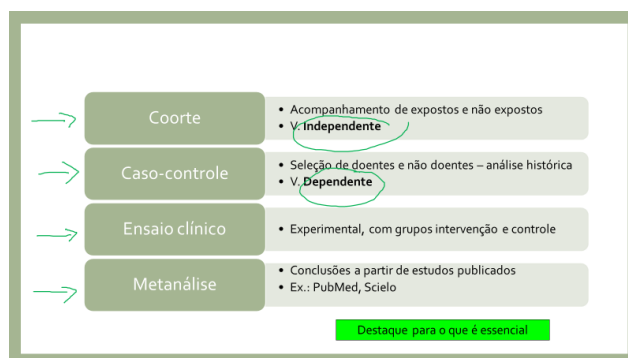
O slide 9 da videoaula 2, representado pela Figura 31, apresenta a visão geral do conteúdo que envolve os tipos de estudos epidemiológicos, os critérios de classificação e as subdivisões pertencentes a cada um dos critérios. Verifica-se a presença de indicações numéricas nos tipos de estudos, a fim de facilitar a retenção de itens na MT, itens estes que seriam explicados um a um nos slides seguintes.

Figura 32 – Slide 10 da videoaula 2



Fonte: Elaboração própria, 2021

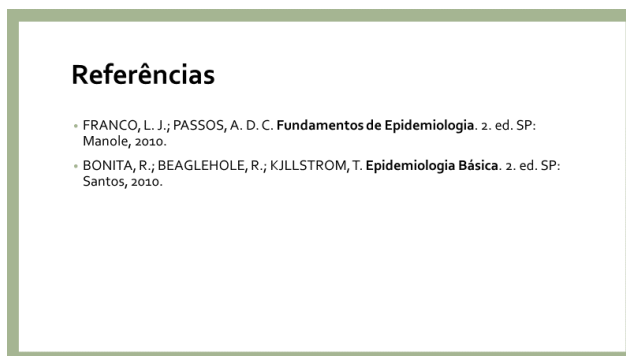
Figura 33 – Slide 11 da videoaula 2



Fonte: Elaboração própria, 2021

Os slides 10 e 11 da videoaula 02, representados pelas Figuras 32 e 33, apresentam tópicos, esquemas e destaques gráficos que, em combinação com a narração, onde o áudio complementa as ideias que estão sintetizadas de forma textual, contribui para a não sobrecarga da MT, uma vez que pode produzir o Efeito Modalidade, que ocorre quando há a combinação coerente entre os modos visual e auditivo (MOUSAVI; LOW; SWELLER, 1995).

Figura 34 – Slide 12 da videoaula 2



Fonte: Elaboração própria, 2021

O slide 12, representado pela Figura 34, finaliza a videoaula 2 apresentando as referências usadas.

Em relação à duração de tempo, as três videoaulas tiveram duração média de 11 minutos, tempo este determinado a partir do estudo de Messer (2019), o qual buscou identificar elementos constituintes da produção e do consumo de videoaulas no YouTube, analisando suas características gerais e específicas, incluindo a duração do vídeo. A pesquisa identificou as 200 videoaulas (de um determinado conteúdo) mais populares elencadas pelo YouTube, e fez uma seleção randômica de 20 para as análises pormenorizadas.

4.4.4 Cadastro das videoaulas no YouTube

As videoaulas utilizadas com os 3 grupos participantes da pesquisa foram cadastradas no YouTube, a fim de que a ferramenta computacional utilizada nesta tese, a ser descrita em seções posteriores, pudesse exibi-las no momento da realização dos experimentos.

4.4.5 Elaboração de questionário para verificação da MT

Para que fosse averiguado junto aos participantes, logo após a visualização das videoaulas, qual o nível de retenção de informações na MT, foi elaborado um questionário com seis perguntas abertas sobre o tema (APÊNDICE C).

4.4.6 Seleção da amostra e apresentação da pesquisa aos participantes

Fizeram parte da amostra estudantes de graduação de uma IES privada de Santarém-PA. Como critérios de inclusão foram considerados os seguintes: a) estudantes regularmente matriculados na IES, com idade a partir de 18 anos; e b) estudantes pertencentes aos cursos de saúde, que estivessem cursando disciplinas teóricas. O segundo critério se fez necessário em virtude de haver períodos de alguns cursos que ofertam somente disciplinas práticas, o que inviabilizaria a elaboração das videoaulas dentro das características teóricas desta pesquisa. Como critérios de exclusão foram considerados: a) estudantes pertencentes ao primeiro ou ao último período dos cursos; b) estudantes com alguma patologia neurológica; e c) estudantes com sintomas gripais no dia da realização do experimento. O primeiro critério se fez necessário em virtude de o estudante ingressante ainda estar em fase de adaptação e o concluinte de talvez não ter engajamento nos experimentos, por já estarem com foco na finalização do curso.

Os sujeitos foram selecionados de turmas que contivessem alunos de vários cursos estudando juntos, o que ocorre com as chamadas turmas integradas do 2º período dos cursos de saúde da IES participante. A partir do acesso às listas de alunos matriculados nestas turmas, um sorteador virtual selecionou cinquenta participantes para que estes fossem convidados a participar dos experimentos. A partir daí, foi criado um grupo de *WhatsApp* para dar as informações aos selecionados, convidar para a pesquisa e apresentar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice B) para que, os que aceitassem participar nas condições estabelecidas pelo termo, pudessem devolvê-lo assinado em até duas semanas, a contar da data do primeiro contato (julho/2021).

Após esclarecimentos de dúvidas, tanto por discussões via grupo de *WhatsApp* quanto por videoconferências, foram marcadas as datas para a realização dos experimentos, como se segue: a etapa para captura das expressões faciais foi realizada nos dias 21/08 e 28/08 de 2021, sendo que os presentes totalizaram a amostra de 28 estudantes; e a etapa para registro dos padrões de atividade elétrica cerebral foi realizada nos dias 10, 14 e 17 de dezembro de 2021, com 03 participantes.

4.4.7 Ferramentas para Coleta de Dados

Para a instanciação do modelo conceitual, foram utilizadas as ferramentas denominadas CADAP (Cara de Aprender) e Emotiv Epop^x, cujas funcionalidades estão descritas nesta seção terciária.

4.4.7.1 A Plataforma Computacional Cara de Aprender e a Computação Afetiva

Como discutido ao longo do referencial teórico desta tese, verifica-se a influência dos estados emocionais nos processos cognitivos (PEKRUN, 2011), podendo tanto acelerar como perturbar o andamento de tais processos (PIAGET, 1989). Quando o estudante experimenta emoções negativas que dificultam o processo de aprendizagem, tutores humanos podem desenvolver estratégias que impactem positivamente no estado afetivo do aprendiz, com tendência para uma mudança do estado emocional (LEHMAN *et al.*, 2008; GRAESSER; D'MELLO, 2011; PEKRUN, 2011).

Dessa forma, tutores artificiais, como os Sistemas Tutores Inteligentes (STI) e Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA), podem desenvolver funções semelhantes (MORAIS *et al.*, 2017). Para que um ambiente computacional de aprendizagem possa adaptar suas estratégias de ensino aos estados afetivos do aluno, ele deve possuir, no mínimo, as seguintes capacidades: detectar os estados afetivos do estudante (CONATI, 2011; D'MELLO; CALVO, 2013) e adaptar estratégias cognitivas e afetivas de acordo com os estados afetivos do estudante (CALVO; D'MELLO, 2011; ARROYO *et al.*, 2014).

Picard (1997 apud PAXIÚBA, 2019) define Computação Afetiva como a área relacionada com o que surge de ou deliberadamente influencia as emoções, sendo dividida em dois ramos: o primeiro estuda mecanismos para reconhecer emoções humanas por meio de máquinas na interação homem-computador e o segundo investiga a simulação de emoções em máquinas (síntese de emoções), a fim de descobrir mais sobre as emoções humanas e construir robôs que pareçam mais reais.

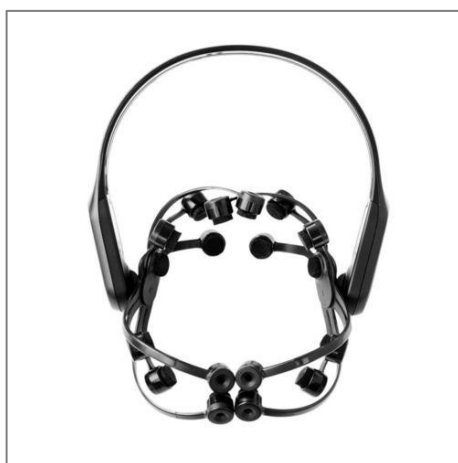
A plataforma computacional Cara de Aprender (CADAP), situado no primeiro ramo da Computação Afetiva, foi desenvolvido como ferramenta de apoio para buscar evidências e estudar as relações entre emoções e aprendizagem (PAXIÚBA, 2019).

Segundo a autora, os mecanismos de reconhecimento, como no caso das expressões faciais, são compostos por um hardware que detecta os sinais fisiológicos e um software que é responsável por decodificar a informação enviada pelo equipamento. Três videoaulas foram cadastradas para que pudessem ser visualizadas nos dias de realização dos experimentos.

Na plataforma CADAP, a captura das expressões faciais foi feita durante a visualização das videoaulas, sendo que os dados capturados foram armazenados em uma base de conhecimento e, posteriormente, analisados à luz da Estatística Descritiva e Inferencial. Os dados foram armazenados em planilhas de Excel, onde a emoção decodificada teve um escore atribuído (0 a 100) para cada ponto de captura, ou seja, ao longo do tempo de exibição da videoaula, o software fez milhares de capturas de sinais das expressões faciais e os traduziu em um dado quantitativo. Posteriormente, no próprio Microsoft Excel, foi calculada a média aritmética dos escores capturados ao longo do tempo de exibição da videoaula, chegando a um escore médio atribuído a cada participante, por emoção monitorada.

4.4.7.2 Emotiv Eoc^x e seus fundamentos neurocientíficos

Figura 35 - Imagem do Emotiv Eoc



Fonte: www.medicalexpo.com

O headset denominado Emotiv Eoc^x (ilustrado pela Figura 35) é um dispositivo móvel de Eletroencefalografia (EEG) que realiza um processo eletrofisiológico para registrar a atividade elétrica do cérebro. A parte externa do cérebro é constituída por

uma camada de substância cinzenta conhecida como córtex cerebral. O córtex cerebral contém bilhões de neurônios organizados em circuitos complexos que se encarregam de funções como linguagem, memória, planejamento, raciocínio crítico, etc. O córtex cerebral costuma ser dividido em regiões denominadas lobos: frontal, parietal, temporal e occipital (COSENZA; GUERRA, 2014).

O lobo frontal está envolvido com a memória de curto prazo e planejamento de ações futuras, além do controle do movimento; o lobo parietal relaciona-se com a sensação somática, a formação de uma imagem corporal e sua relação com o espaço extrapessoal; o lobo occipital está envolvido com a visão; e o lobo temporal está relacionado com a audição e, por meio de suas estruturas profundas, o hipocampo e os núcleos da amígdala, com o aprendizado, a memória e a emoção. A atividade elétrica das áreas corticais do cérebro pode ser medida por meio da EEG (KANDEL *et al.*, 2014).

Analisar dados de EEG é uma forma eficaz para o estudo de processos cognitivos; dentre outras coisas, pode ajudar os pesquisadores a entender os processos cerebrais que fundamentam o comportamento humano, incluindo as emoções e a aprendizagem.

O EEG mostra padrões de atividade (caracterizados por frequência e amplitude da atividade elétrica) que se correlacionam com vários estágios de consciência. O EEG humano normal apresenta atividade na faixa de 1 a 30 Hz, com amplitudes variando de 20 a 100 μV (KANDEL *et al.*, 2014).

Segundo os autores, as bilhões de células do cérebro produzem sinais elétricos que formam padrões não lineares chamados ondas cerebrais. Um dispositivo de EEG mede a atividade elétrica no córtex cerebral, a camada externa do cérebro. Sensores de EEG são colocados na cabeça do participante, para que os eletrodos detectem ondas cerebrais de forma não invasiva.

Sensores de EEG podem registrar até vários milhares de instantâneos da atividade elétrica gerada no cérebro em um único segundo. As ondas cerebrais gravadas são enviadas para amplificadores e, em seguida, para um computador ou nuvem para processar os dados.

O EEG mede alguns tipos específicos de ondas cerebrais (KANDEL *et al.*, 2014). Os eletrodos de um dispositivo de EEG capturam a atividade elétrica expressa em várias frequências. Usando o algoritmo *Fast Fourier Transform* (FFT), esses sinais

brutos de EEG podem ser identificados como ondas distintas com frequências diferentes. A frequência, que se refere à velocidade das oscilações elétricas, é medida em ciclos por segundo – Hertz (Hz). As ondas cerebrais são categorizadas por frequência em quatro tipos principais: Beta, Alpha, Theta e Delta. A seguir, são descritas algumas das funções associadas às referidas frequências.

a) Ondas Delta (faixa de frequência de até 4 Hz)

A atividade delta é encontrada predominantemente em bebês. As ondas delta estão associadas a estágios profundos do sono em indivíduos mais velhos. As ondas delta foram documentadas interictalmente (entre as crises) em pacientes com crises de ausência, que envolvem lapsos de atenção breves e repentinos. São caracterizadas por ondas de baixa frequência (cerca de 3 Hz) e alta amplitude. Ritmos delta podem estar presentes durante a vigília – eles respondem à abertura dos olhos e também podem ser intensificados pela hiperventilação.

b) Ondas Teta (4 Hz a 7 Hz)

O ritmo teta detectado na medição de EEG é frequentemente encontrado em adultos jovens, particularmente nas regiões temporais e durante a hiperventilação. Em indivíduos mais velhos, a atividade teta com uma amplitude maior do que cerca de 30 mV é vista com menos frequência, exceto durante a sonolência.

c) Ondas Alfa (7 Hz a 13 Hz)

As ondas alfa são frequentemente associadas a um estado mental relaxado, calmo e lúcido. Podem ser encontradas nas regiões occipital e posterior do cérebro. As ondas alfa podem ser induzidas fechando os olhos e relaxando, e raramente estão presentes durante processos cognitivos intensos, como pensamento, cálculo mental e resolução de problemas. Na maioria dos adultos, as ondas alfa variam em frequência de 9 a 11 Hz.

d) Ondas Beta (14 Hz a 30 Hz)

As ondas beta estão mais intimamente associadas a estar consciente ou em estado de vigília, atenção e alerta. As de baixa amplitude estão associadas à concentração ativa ou a um estado de espírito ocupado ou ansioso. As ondas beta

também estão associadas a decisões motoras. Durante atividade mental intensa, as ondas beta de baixa amplitude são mais proeminentes nas áreas frontais e em outras regiões.

4.4.7.3 Protocolo para uso do Emotiv EPOC^X

O uso do headset Emotiv EPOC^X seguiu o protocolo descrito abaixo, de acordo com Corrêa Sobrinho (2020).

- Inicialmente, deve-se carregar o capacete. Ele deve ser ajustado para a posição desligado (off) e ser mantido carregando por aproximadamente 8 horas para que alcance a carga completa.
- Em seguida, deve-se hidratar os sensores com solução salina para o contato com o couro cabeludo, a fim de potencializar a captação dos dados.
- No terceiro passo, colocam-se os sensores nos braços do capacete, girando suavemente cada um no sentido horário, até se ouvir um clique.
- Como última etapa, deve-se ajustar o capacete na cabeça do participante, posicionando corretamente os sensores de referência (SR-P3/P4) logo atrás de cada orelha para, então, conectá-lo via Bluetooth ou USB e pressionar os sensores de referência por 20 segundos.

4.5 Instanciação do MAPEM

Para a instanciação do modelo, o desenho metodológico utilizado foi a Pesquisa Experimental. O delineamento estabelecido tem como base Lazar, Feng e Hochheiser (2017). Segundo os autores, a Pesquisa Experimental consiste essencialmente em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. No caso do experimento em questão, o objeto de estudo são as emoções prevalentes no momento da visualização de videoaulas elaboradas fora das diretrizes da TCC (cenário 1) e dentro das diretrizes (cenário 2), bem como formação da MT alcançada após a visualização (Quadro 7).

Quadro 7 – Objeto de estudo, variáveis, formas de controle e observação

Objeto de Estudo	Variáveis que podem influenciar	Formas de controle da variável	Formas de observação dos efeitos
Emoções e formação de MT	Videoaulas de conteúdo teórico com seus respectivos elementos audiovisuais: texto escrito ou narrado e figuras.	a) Inserir elementos nas videoaulas que potencializam a sobrecarga na MT; b) Inserir diretrizes nas videoaulas que reduzam a sobrecarga na MT; c) Estabelecer um grupo controle com videoaulas sem modificações.	a) Para verificação dos efeitos nas emoções: uso da plataforma Cadap; b) Para verificação da formação de MT: aplicação de questionário com perguntas abertas, imediatamente após a visualização das videoaulas.

Fonte: Elaboração própria, 2021.

A pesquisa experimental deve apresentar as seguintes propriedades:

- Manipulação: o pesquisador precisa manipular pelo menos uma das características dos elementos estudados.
- Controle: o pesquisador precisa introduzir um ou mais controles na situação experimental, sobretudo criando um grupo de controle.
- Distribuição aleatória: a designação dos elementos para participar dos grupos experimentais e de controle deve ser feita aleatoriamente (LAZAR; FENG; HOCHHEISER, 2017).

Nesta tese, a manipulação se deu nas características das videoaulas elaboradas para os cenários propostos. Foi criado um grupo controle, no qual os participantes assistiram a uma videoaula pronta, retirada do YouTube, e a distribuição aleatória se deu com a utilização de sorteadores virtuais para a distribuição dos participantes pelos três grupos: dois experimentais e um de controle.

Dessa forma, segundo os autores, ao conduzir um experimento, o pesquisador quer estudar as saídas (emoções e formação de MT) modificando algumas variáveis de entrada do processo (videoaulas com e sem diretrizes da TCC). Antes de iniciar a execução de um experimento, no entanto, é necessário definir as variáveis dependentes e as independentes. As independentes são as variáveis manipuladas ou controladas. As dependentes são as que fazem parte do objeto de estudo. O Quadro 8 mostra tais variáveis no presente estudo:

Quadro 8 – Distribuição das variáveis do estudo

Variáveis Dependentes	Variáveis Independetes
a) Emoções b) Formação de MT	Videoaulas de conteúdo teórico em dois cenários: a) Com elementos que potencializam a sobrecarga na MT; b) Com diretrizes que reduzem a sobrecarga na MT.

Fonte: Elaboração própria, 2021

4.5.1 Prova de Conceito do Modelo

Para esta etapa da pesquisa, os experimentos consideraram 28 participantes voluntários divididos randomicamente, sendo 10 no Grupo 1 (videoaula 1, com sobrecarga da MT), 09 no Grupo 2 (videoaula 2, sem sobrecarga da MT) e 09 no Grupo controle (assistiram à aula do YouTube).

As sessões para a visualização das videoaulas para captura das expressões faciais foram organizadas e realizadas como se segue: os sujeitos divididos por dia de experimento (19 no primeiro dia, sendo 11 no turno matutino e 8 no vespertino); e 9 estudantes estiveram presentes no segundo dia. As sessões ocorreram em um dos laboratórios de informática da IES participante. Com a divisão dos grupos feita de forma randômica anteriormente e, ao entrarem no laboratório, os sujeitos se dirigiam aos lugares previamente assinalados para ocuparem os assentos. As videoaulas já estavam carregadas nos respectivos notebooks, prontas para serem visualizadas.

Antes do início da aula, algumas orientações básicas foram dadas (e.g. testar o fone de ouvido antes de iniciar o experimento, deixar o celular no modo silencioso) para que não houvesse distrações durante a sessão e tentar manter a atenção durante a visualização das videoaulas, uma vez que os participantes responderiam ao questionário descrito anteriormente.

Ressalta-se que as questões abertas requeriam respostas curtas (objetivas), uma vez que as informações estariam sendo processadas na MT, ou seja, não haveria tempo para consolidação de informações e posterior evocação para dar respostas mais complexas. Foi explicado também que fazia parte da pesquisa o número de questões que eles conseguissem responder e que, portanto, não havia problema caso não lembrassem das respostas, e que isso estaria relacionado às características da MT. Neste momento também, os sujeitos foram informados que a folha de papel com

o nome de cada participante que estava sobre as mesas indicando o notebook a ser usado continha no verso as questões que deveriam ser respondidas imediatamente após a visualização das videoaulas.

A escolha por utilizar o questionário escrito se deu em virtude de oferecer o menor nível de interferência possível que pudesse tirar a atenção dos participantes no período de tempo compreendido entre o final da visualização das videoaulas e o primeiro contato com as perguntas do questionário. Assim, o único movimento que os estudantes deveriam fazer era: clicar no botão que finalizava a videoaula e virar o papel para ter acesso às perguntas. Em cima de cada papel já havia uma caneta para os participantes. O tempo para responder ao questionário era livre, sendo que o tempo máximo usado por um estudante foi de 10 minutos.

Para a verificação dos padrões de atividade elétrica cerebral durante a visualização das videoaulas, 03 estudantes utilizaram o Emotiv Epoc^x, equipamento de Eletroencefalografia (EEG) utilizado em pesquisas científicas relacionadas à cognição. Para esta fase dos experimentos, cada participante assistiu a uma videoaula diferente. Após a colocação do dispositivo com a ajuda do pesquisador, a visualização da videoaula foi iniciada. Enquanto o estudante assistia ao vídeo, o software EmotivPRO 3.1.2.388 foi utilizado para fazer a gravação da captura dos dados de frequência da atividade elétrica, para posterior análise.

Dos 14 eletrodos que o dispositivo possui, optou-se nesta pesquisa por considerar os 08 que estão relacionados com o lobo frontal e os 02 relativos ao lobo temporal, em virtude de: i) o lobo frontal estar envolvido com a memória de trabalho; e ii) lobo temporal estar relacionado ao aprendizado, às emoções e à memória de longo prazo. O Quadro 9 mostra a divisão dos eletrodos pelas respectivas áreas corticais:

Quadro 9 - Divisão dos eletrodos por área cortical

Lobo frontal	Lobo temporal	Lobo parietal	Lobo occipital
AF3 AF4 F3 F4 F7 F8 FC5 FC6	T7 T8	P7 P8	O1 O2

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

4.5.2 Metodologia de Análise de dados

Para analisar os dados extraídos da plataforma CADAP, inicialmente, buscou-se identificar o comportamento dos dados em relação à Normalidade, uma vez que, para a escolha de testes estatísticos paramétricos ou não paramétricos, deve-se avaliar se há distribuição normal das variáveis nas populações (LEVIN, 1987).

Com o uso do software estatístico BioEstat versão 5.3, verificou-se a Normalidade dos dados, por meio do Teste de Shapiro-Wilk, usado para amostras com $2 < n < 51$. Os testes de normalidade sofrem influência do tamanho amostral quanto à sua eficiência. Em amostras pequenas (entre 4 e 30 unidades), há inflação do erro tipo I (rejeitar H_0 quando deveria aceitá-lo), sendo indicados testes como o de Shapiro-Wilk (MIOT, 2017). Para as variáveis que apresentaram distribuição não normal, foi utilizado o Teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, teste estatístico de modelo livre de distribuição de probabilidades, para análise de médias de k amostras independentes, do mesmo tamanho ou desiguais; e, para as variáveis com distribuição normal, o teste aplicado foi a ANOVA, teste estatístico cujo modelo de distribuição de probabilidades é o da variância para k amostras ou tratamentos independentes (LEVIN, 1987).

Os dados gerados pelo software EmotivPRO foram analisados de maneira individual, uma vez que a generalização de dados relativos à atividade elétrica cerebral não fazia parte da pergunta central da tese, não sendo, portanto, necessária a análise estatística para esta fase dos experimentos. Além disso, esta tese teve a intenção de lançar luz de forma inicial para esta abordagem, tendo em vista o caráter complementar que a análise desta fase dos experimentos proporcionou aos resultados finais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta a análise dos dados extraídos por meio da plataforma CADAP, que sintetizou os escores referentes aos estados emocionais capturados a partir das expressões faciais dos participantes, e também do dispositivo Emotiv Epc^x, que registrou níveis de frequências da atividade elétrica cerebral dos sujeitos durante a visualização das videoaulas.

5.1 Análise de dados da plataforma CADAP

Após tabulação dos dados e aplicação dos testes estatísticos devidos, os resultados foram apresentados em forma de tabelas, com os escores médios de cada uma das emoções decodificadas pela plataforma CADAP, divididos em colunas que representam os cenários do experimento, sendo que foi utilizado o termo Aula 1 para designar a videoaula 1, e assim sucessivamente. As tabelas seguintes trazem os resultados dos testes com seus respectivos valores de p, a um nível de significância de 5%.

Para cada emoção, foram feitas algumas considerações individuais, em virtude de o processo de aprendizagem e de evocação de emoções serem considerados fenômenos individuais, ainda que, ao final da apresentação das sete tabelas de emoções, esteja elucidada a aplicação dos testes estatísticos para comparação dos escores médios, a fim de responder a questão de pesquisa e oferecer um certo grau de inferência nos resultados.

A Tabela 1 evidencia os escores médios da emoção 'medo', distribuídos pelos três cenários do experimento. Em termos de comparação individual, destaca-se a presença do número de participantes que teve o escore zerado para esta emoção: três para a videoaula 1 e seis para a videoaula 2, ou seja, 2/3 dos participantes que assistiram à videoaula elaborada com base nas diretrizes da TCC apresentaram escore zero no que tange à emoção 'medo'.

Tabela 1 – Escores médios / Medo

Aula 1	Aula 2	Aula 3
0.07	0.12	0.12
0.00	0.00	0.13
0.00	0.00	0.02
0.22	0.12	0.00
0.01	0.00	0.00
0.00	5.29	0.00
0.11	0.00	0.00
0.01	0.00	0.13
0.04	0.00	

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Os escores médios relativos às sete primeiras emoções consideradas nos experimentos (medo, alegria, raiva, tristeza, desgosto, desprezo e surpresa) apresentaram comportamento de não normalidade dos dados, após aplicação do teste de Shapiro-Wilk, levando à aplicação do Teste de Kruskal-Wallis para a comparação entre as amostras.

A Tabela 2 apresenta o resultado da aplicação do teste de Kruskal-Wallis para a emoção ‘medo’, evidenciando não haver diferença estatisticamente significativa ($p=0,8216$) entre as amostras.

Tabela 2 – Teste Kruskal-Wallis / Medo

Variáveis	Resultados
	H = 0,3930
	Graus de liberdade = 2
	(p) Kruskal-Wallis = 0,8216

Fonte: BioEstat versão 5.3

A Tabela 3 evidencia os escores médios da emoção ‘alegria’, distribuídos pelos três cenários do experimento. Em termos de comparação individual, destaca-se que tanto a videoaula 1 quanto a 2 apresentaram dois participantes que zeraram os escores médios relativos a esta emoção.

Tabela 3 – Escores médios / Alegria

Aula 1	Aula 2	Aula 3
1.54	0.39	1.89
0.15	0.10	0.22
0.0	0.09	0.46
1.18	0.68	0.00
0.48	0.00	0.10
0.59	0.24	0.03
0.0	0.31	0.13
0.79	0.08	0.15
1.19	0.00	

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

A Tabela 4 apresenta o resultado da aplicação do teste de Kruskal-Wallis para a emoção ‘alegria’, evidenciando não haver diferença estatisticamente significativa ($p=0,2507$) entre as amostras.

Tabela 4 – Teste Kruskal-Wallis / Alegria

Variáveis	Resultados
	H = 2,7673
	Graus de liberdade = 2
	(p) Kruskal-Wallis = 0,2507

Fonte: BioEstat versão 5.3

A Tabela 5 evidencia os escores médios da emoção ‘raiva’, distribuídos pelos três cenários do experimento. Em termos de comparação individual, destaca-se que a videoaula 2 apresentou dois participantes com escore zero para esta emoção em comparação com a videoaula 1, que apresentou um participante.

Tabela 5 – Escores médios / Raiva

Aula 1	Aula 2	Aula 3
0.08	0.04	0.03
0.00	0.24	0.01
0.13	0.01	2.23
0.01	0.15	0.00
0.20	0.00	0.01
0.02	0.15	0.13
0.01	0.14	0.07
0.10	0.00	0.01
0.13	0.05	

Fonte: Dados da plataforma CADAP, 2021.

A Tabela 6 apresenta o resultado da aplicação do teste de Kruskal-Wallis para a emoção 'raiva', evidenciando não haver diferença estatisticamente significativa ($p=0,8082$) entre as amostras.

Tabela 6 – Teste Kruskal-Wallis / Raiva

Variáveis	Resultados
	H = 0,4258
	Graus de liberdade = 2
	(p) Kruskal-Wallis = 0,8082

Fonte: BioEstat versão 5.3

A Tabela 7 evidencia os escores médios da emoção 'tristeza', distribuídos pelos três cenários do experimento. Em termos de comparação individual, destaca-se que quatro participantes que assistiram às videoaulas 2 e 3 zeraram o escore médio relativo a esta emoção, em comparação com os que visualizaram a videoaula 1, onde somente um zerou.

Tabela 7 – Escores médios / Tristeza

Aula 1	Aula 2	Aula 3
0.01	0.07	1.15
0.06	0.00	0.00
0.06	0.00	1.27
0.00	0.04	0.11
0.01	0.26	0.00
0.10	0.00	0.00
0.40	0.28	0.26
0.16	0.40	0.00
0.28	0.00	

Fonte: Dados da plataforma CADAP, 2021.

A Tabela 8 apresenta o resultado da aplicação do teste de Kruskal-Wallis para a emoção ‘tristeza’, evidenciando não haver diferença estatisticamente significativa ($p=0,8185$) entre as amostras.

Tabela 8 – Teste Kruskal-Wallis / Tristeza

Variáveis	Resultados
	H= 0,4006
	Graus de liberdade = 2
	(p) Kruskal-Wallis = 0,8185

Fonte: BioEstat versão 5.3

A Tabela 9 evidencia os escores médios da emoção ‘desgosto’, distribuídos pelos três cenários do experimento. Em termos de comparação individual, destaca-se que não houve participante que tenha zerado o escore médio relativo a esta emoção.

Tabela 9 – Escores médios / Desgosto

Aula 1	Aula 2	Aula 3
0.53	0.04	0.41
0.31	0.06	0.14
0.58	0.16	2.23
0.51	0.31	0.81
0.06	0.04	0.54
0.08	0.01	0.01
2.59	0.77	0.11
0.55	0.29	0.02
0.06	0.02	

Fonte: Dados da plataforma CADAP, 2021.

A Tabela 10 apresenta o resultado da aplicação do teste de Kruskal-Wallis para a emoção ‘tristeza’, evidenciando não haver diferença estatisticamente significativa ($p=0,1906$) entre as amostras.

Tabela 10 – Teste Kruskal-Wallis / Desgosto

Variáveis	Resultados
	H= 3,3149
Graus de liberdade =	2
(p) Kruskal-Wallis =	0,1906

Fonte: BioEstat versão 5.3

A Tabela 11 evidencia os escores médios da emoção ‘desprezo’, distribuídos pelos três cenários do experimento. Em termos de comparação individual, destaca-se que somente a videoaula 2 apresentou participantes que zeraram o escore médio relativo a esta emoção, num total de 03.

Tabela 11 – Escores médios / Desprezo

Aula 1	Aula 2	Aula 3
0.86	0.05	1.14
4.36	2.08	11.58
1.01	2.66	6.27
0.31	1.05	0.03
0.24	0.00	0.22
0.48	0.00	0.06
7.26	0.04	0.09
0.34	0.00	1.64
0.20	0.01	

Fonte: Dados da plataforma CADAP, 2021.

A Tabela 12 apresenta o resultado da aplicação do teste de Kruskal-Wallis para a emoção ‘desprezo’, evidenciando não haver diferença estatisticamente significativa ($p=0,1263$) entre as amostras.

Tabela 12 – Teste Kruskal-Wallis / Desprezo

Variáveis	Resultados
	H= 4,1387
Graus de liberdade =	2
(p) Kruskal-Wallis =	0,1263

Fonte: BioEstat versão 5.3

A Tabela 13 evidencia os escores médios da emoção ‘surpresa’, distribuídos pelos três cenários do experimento. Em termos de comparação individual, destaca-se que não houve participante que tenha zerado o escore médio relativo a esta emoção.

Tabela 13 – Escores médios / Surpresa

Aula 1	Aula 2	Aula 3
1.52	0.5	4.74
2.22	0.15	7.64
1.05	1.86	4.54
0.73	0.47	1.25
0.7	0.21	0.15
1.34	0.26	0.08
3.86	1.01	0.59
0.49	0.77	1.45
0.65	0.03	

Fonte: Dados da plataforma CADAP, 2021.

A Tabela 14 apresenta o resultado da aplicação do teste de Kruskal-Wallis para a emoção 'surpresa', evidenciando não haver diferença estatisticamente significativa ($p=0,0978$) entre as amostras.

Tabela 14 – Teste Kruskal-Wallis / Surpresa

Variáveis	Resultados
	H= 4,6498
Graus de liberdade =	2
(p) Kruskal-Wallis =	0,0978

Fonte: BioEstat versão 5.3

Conforme verificado nas Tabelas de 1 a 14, os dados apontam que não houve diferença estatisticamente significativa ($p>0,05$) em relação aos escores médios das emoções (medo, alegria, raiva, tristeza, desgosto, desprezo e surpresa) decodificadas pelo software quando comparados os três cenários do experimento.

A Tabela 15 apresenta o número de itens corretos do questionário respondido pelos participantes, após assistirem às videoaulas nos três cenários do experimento, utilizado para averiguar as informações retidas na MT. Tal questionário foi composto por seis perguntas abertas, mas que requeriam respostas curtas e diretas, totalizando nove itens para serem lembrados.

Tabela 15 – N° de acertos às perguntas do questionário

Aula 1	Aula 2	Aula 3
2	4	1
1	4	4
3	4	5
1	5	8
2	8	3
3	2	4
2	4	8
4	4	3
2	3	6
2		

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

A Tabela 16 apresenta a Estatística Descritiva dos dados, na forma preliminar.

Tabela 16 – Estatística Descritiva relativa ao n° de acertos (continua)

Variáveis	Aula 1	Aula 2	Aula 3
Tam. da Amostra =	10	9	9
Mínimo =	1.0000	2.0000	1.0000
Máximo =	4.0000	8.0000	8.0000
Amplitude Total =	3.0000	6.0000	7.0000
Mediana =	2.0000	4.0000	4.0000
Primeiro Quartil (25%) =	2.0000	4.0000	3.0000
Terceiro Quartil (75%) =	2.7500	4.0000	6.0000
Desvio Interquartílico =	0.7500	0.0000	3.0000
Média Aritmética =	2.2000	4.2222	4.6667
Variância =	0.8444	2.6944	5.5000
Desvio Padrão =	0.9189	1.6415	2.3452
Erro Padrão =	0.2906	0.5472	0.7817
Coefficiente de Variação =	41.77%	38.88%	50.25%
Assimetria (g1) =	0.6014	1.5091	0.2160
Curtose (g2) =	0.3962	3.9393	-0.6163
Média Harmônica =	1.8462	3.7370	3.2335
N (média harmônica) =	10	9	9

Tabela 16 – Estatística Descritiva relativa ao nº de acertos (conclusão)

Variáveis	Aula 1	Aula 2	Aula 3
Média Geométrica =	2.0237	3.9714	4.0237
N (média geométrica) =	10	9	9
Variância (geom.) =	1.0891	1.0611	1.1937
Desvio Padrão (geom.) =	1.5579	1.4472	1.8938

Fonte: BioEstat versão 5.3

Com base na Tabela 16, pode-se destacar que a videoaula 2 apresenta maior homogeneidade dos dados, considerando que o coeficiente de variação foi de 38,8%, o que sugere que há uma menor dispersão em torno da média. Verifica-se também que a videoaula 1, ou seja, a que apresentou elementos para sobrecarregar a MT, teve como valor máximo o nº 4, o que significa que nenhum participante da amostra atingiu acima de 50% de acertos no questionário.

A Tabela 17 apresenta os resultados do teste de normalidade dos dados.

Tabela 17 – Aplicação do Teste de Normalidade Shapiro-Wilk

Variáveis	Aula 1	Aula 2	Aula 3
Tam. da Amostra =	10	9	9
Média =	2,2000	4,2222	4,6667
Desvio padrão =	0,9189	1,6415	2,3452
W =	0,8854	0,8112	0,9400
p =	0,1949	0,0359	0,5538

Fonte: BioEstat versão 5.3

Como uma das amostras apresentou comportamento não normal dos dados ($p=0,0359$), seguiu-se para aplicação do Teste de Kruskal-Wallis, considerando as seguintes hipóteses a serem testadas:

H_0 : Não há diferença estatisticamente significativa entre os grupos em relação ao nº de acertos do questionário;

H_1 : Há diferença estatisticamente significativa entre os grupos em relação ao nº de acertos do questionário.

A Tabela 18 apresenta os resultados, após a aplicação do teste de Kruskal-Wallis.

Tabela 18 – Teste Kruskal-Wallis / Itens armazenados na MT

Variáveis		Resultados		
H =		10,4502		
Graus de liberdade =		2		
p (Kruskal-Wallis) =		0,0054		
R1 =		79,0000		
R2 =		161,5000		
R3 =		165,5000		
R1 (posto médio) =		7,9000		
R2 (posto médio) =		17,9444		
R3 (posto médio) =		18,3889		
Comparações (Método de Dunn)	Dif. Postos	z calculado	z crítico	p
Postos médios 1 e 2	10,0444	2,6576	2,394	< 0,05
Postos médios 1 e 3	10,4889	2,7752	2,394	< 0,05
Postos médios 2 e 3	0,4444	0,1146	2,394	ns

Fonte: BioEstat versão 5.3

Os dados apontam que, para um $p=0,0054$, deve-se rejeitar H_0 e aceitar H_1 , ou seja, houve diferença estatisticamente significativa no número de itens corretos respondidos pelos participantes da pesquisa, quando comparados os três cenários do experimento. Para a comparação dos grupos dois a dois, foi aplicado o Método de Dunn, que é utilizado após o teste de Kruskal-Wallis (K-W), se e somente se o teste de K-W permite rejeitar H_0 (LEVIN, 1987).

A partir dos testes realizados, verificou-se que houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos 1 e 2 ($p < 0,05$) e entre os grupos 1 e 3 ($p < 0,05$), considerando nível de significância de 5%. Já entre os grupos 2 e 3, verifica-se que não houve diferença estatisticamente significativa. A média de acertos do grupo 1, que assistiu à videoaula que apresentava elementos que sobrecarregavam a MT, considerando as diretrizes da TCC, foi de 2,2, ao passo que a média do grupo 2, que assistiu à videoaula construída dentro das diretrizes da teoria foi de 4,2, ou seja, houve aumento de cerca de 91% na média de itens lembrados corretamente imediatamente após a visualização das videoaulas, corroborando com pesquisas que mostram as evidências de melhorias no desempenho da MT quando esta não sofre sobrecarga cognitiva (CLARK; NGUYEN; SWELLER, 2006).

Alguns apontamentos, indicativos de tendência ou possibilidades de reflexão podem ser feitos a partir dos resultados ora apresentados (Quadro 10).

Quadro 10 - Apontamentos a partir dos dados quantitativos

<p>1. Ainda que os participantes que visualizaram a videoaula 2, elaborada dentro das diretrizes da TCC, tenha evocado um certo nível de emoções consideradas negativas para a aprendizagem, não foi suficiente para interferir negativamente na média de retenção de informações na MT. Segundo os achados de Wang e Sun (2015), este nível de interferência depende também do tempo que a emoção permanece latente nas pessoas, quando submetidas a certas experiências.</p>	<p>2. Os dados sugerem que, independentemente da configuração das videoaulas que foram apresentadas, seja fora das diretrizes, dentro das diretrizes ou ainda uma videoaula usual pronta retirada do YouTube, a média dos escores relativos às emoções decodificadas pelo software não apresentou diferença significativa.</p>	<p>3. No âmbito da análise envolvendo os participantes que zeraram escores emocionais, destaca-se que a videoaula 2, elaborada dentro das diretrizes da TCC, possibilitou que um número maior de participantes tenham zerado as emoções medo, raiva, tristeza e desprezo, quando comparados com a videoaula 1, elaborada com elementos que sobrecarregam a MT.</p>
<p>4. É possível também discutir a influência direta do formato da videoaula, com seus recursos visual e auditivo, no nível de retenção de informações na MT dos participantes, ainda que tenham sido evocadas, em momentos distintos, emoções com valência negativa ou positiva.</p>	<p>5. Constatou-se ainda que, mesmo as videoaulas gerando um certo nível de evocação de emoções básicas, não foi possível verificar um grau de interferência destas na retenção de informações na MT, uma vez que os resultados não apontaram diferença significativa nos cenários do experimento.</p>	<p>6. Como possibilidade de reflexão, os dados podem sugerir também que as videoaulas dentro das diretrizes da TCC, ou seja, que não sobrecarregam a MT, devem possuir uma tolerância para evocação de emoções como raiva, medo, tristeza e desprezo de tal forma que, quando comparado ao cenário onde há sobrecarga cognitiva, o nível de retenção de informações na MT é potencializado.</p>

Fonte: Elaboração própria, 2021.

O Quadro 11 aponta as emoções prevalentes em ordem decrescente de escores médios, separados por videoaulas. Para esta análise, foi inserida uma emoção que a plataforma CADAP também é capaz de mensurar: compromisso.²

Quadro 11 – Emoções prevalentes em ordem decrescente de escores médios

Aula 1		Aula 2		Aula 3	
Compromisso	7,46	Compromisso	5,30	Compromisso	11,93
Desprezo	1,67	Desprezo	0,65	Desprezo	2,63
Surpresa	1,40	Medo	0,61	Surpresa	2,56
Alegria	0,66	Surpresa	0,58	Desgosto	0,53
Desgosto	0,59	Alegria	0,21	Alegria	0,37
Tristeza	0,12	Desgosto	0,19	Tristeza	0,35
Raiva	0,08	Tristeza	0,12	Raiva	0,31
Medo	0,05	Raiva	0,09	Medo	0,05

Fonte: Dados da plataforma CADAP, 2021.

Considerando a inserção do ‘compromisso’, passa-se a ter oito emoções avaliadas nos experimentos, a fim de identificar as cinco emoções mais prevalentes nos três cenários apresentados (Quadro 12): videoaula 1, com elementos que sobrecarregam a MT; videoaula 2, com diretrizes que minimizam tal sobrecarga; e videoaula 3, referente ao grupo controle.

Quadro 12 – Cinco emoções prevalentes nos cenários do experimento

Aula 1		Aula 2		Aula 3	
Compromisso	7,46	Compromisso	5,3	Compromisso	11,93
Desprezo	1,67	Desprezo	0,65	Desprezo	2,63
Surpresa	1,40	Medo	0,61	Surpresa	2,56
Alegria	0,66	Surpresa	0,58	Desgosto	0,53
Desgosto	0,59	Alegria	0,21	Alegria	0,37

Fonte: Dados da plataforma CADAP, 2021.

² Também chamada de Engajamento, é uma medida de ativação muscular facial que ilustra a expressividade do sujeito.

Nota-se que, das cinco emoções prevalentes, três possuem valência positiva e duas situam-se na classificação de valência negativa, conforme Quadro 13.

Quadro 13 – Valências das emoções prevalentes nos cenários do experimento

Videoaula 1		Videoaula 2		Videoaula 3	
Compromisso	Positiva	Compromisso	Positiva	Compromisso	Positiva
Desprezo	Negativa	Desprezo	Negativa	Desprezo	Negativa
Surpresa	Positiva	Medo	Negativa	Surpresa	Positiva
Alegria	Positiva	Surpresa	Positiva	Desgosto	Negativa
Desgosto	Negativa	Alegria	Positiva	Alegria	Positiva

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Para a análise da variável ‘compromisso’, após verificação de que os dados apresentaram normalidade (Teste de Shapiro-Wilk) e aplicação do teste ANOVA, os dados apontaram que também não houve diferença estatisticamente significativa ($F=1,9337$; $p=0,1659$) entre os escores médios desta variável, quando comparados os três cenários do experimento.

No entanto, há um destaque para este estado emocional, uma vez que ele recebeu os escores mais altos, se comparados de forma intragrupos, com as médias das outras emoções. Que reflexões podem ser feitas para estes apontamentos? Uma delas pode estar relacionada às condições experimentais controladas da pesquisa. Nota-se que os experimentos ocorreram com alunos voluntários, convidados a partir dos critérios de inclusão e exclusão da pesquisa, que se dispuseram a estar presentes em um dia de sábado, pela manhã ou pela tarde, fora do horário habitual das aulas, e que, naturalmente, acredita-se que tenham mantido um compromisso em participar dos experimentos da melhor forma que lhes era possível. Pelo fato de vários estudantes que haviam confirmado participação na pesquisa terem faltado nos dias dos experimentos, pressupõe-se que os que estiveram presentes de fato estavam dispostos a manter a atenção e a concentração necessárias para assistir à videoaula proposta, com base nas orientações recebidas do pesquisador.

Outro ponto a ser destacado é o de que as videoaulas experimentais foram elaboradas dentro de um padrão condizente com a rotina de vários professores, ou seja, ora apresentavam textos em excesso, com a narração apenas repetindo o que está escrito no slide, ora apresentavam esquemas e diagramas expressando as

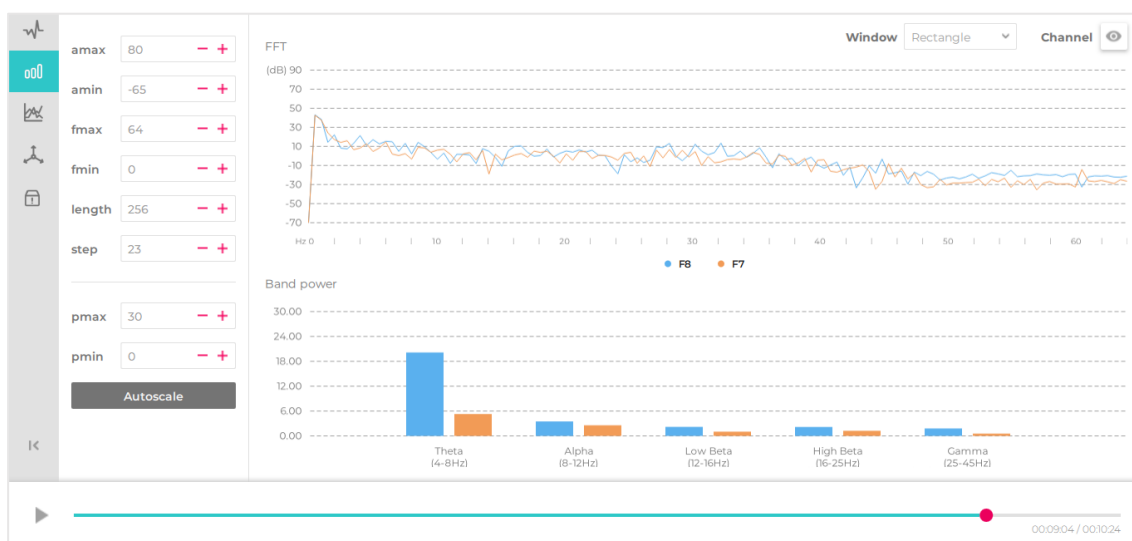
sínteses dos conteúdos, com a narração fazendo o complemento das informações. Depreende-se também que não houve espaço para que as emoções atingissem picos próximos ao valor máximo 100, possivelmente em virtude das condições proporcionadas por este ambiente controlado em que os participantes estavam submetidos. Nielson e Powless (2007) verificaram experimentalmente que é o grau de estímulo, e não a valência, que tem maior capacidade de modular a memória, ou seja, o grau dos estímulos causados pelas inserções (ou falta delas) dos elementos oriundos das diretrizes da TCC não foi suficiente para gerar escores emocionais tais que pudessem interferir na retenção da memória.

Vê-se, portanto, que neste cenário em que as emoções, em geral, se mantêm em um nível baixo de ativação, onde os alunos se dispõem a manter compromisso e atenção para com o conteúdo que está sendo compartilhado pela videoaula, os dados encontrados sugerem que a configuração da videoaula, com seus elementos audiovisuais colaborando para um melhor processamento das informações, é fundamental para aumentar as chances de retenção do conteúdo, inicialmente na memória de trabalho e, *a posteriori*, a partir das etapas de processamento a serem seguidas (codificação, armazenamento, consolidação e evocação), podendo chegar à memória de longo prazo.

5.2 Análise de dados do software EmotivPRO

Nesta tese, foram analisadas as ondas Beta registradas no momento em que os participantes assistiram às 03 videoaulas. Conforme já visto nesta seção, este tipo de onda está relacionado à atenção e, em sua atividade mais intensa, as ondas Beta atingem especialmente as áreas frontais do cérebro, justamente as que estão envolvidas com a memória de trabalho. As Figuras 36 e 37 ilustram duas imagens extraídas do software EmotivPRO durante a realização dos experimentos:

Figura 36 – Registro das ondas capturadas pelos eletrodos F8 e F7



Fonte: EmotivPRO, 2021.

Figura 37 – Registro das ondas capturadas pelos eletrodos AF3 e AF4



Fonte: EmotivPRO, 2021.

As sessões de videoaula foram gravadas pelo software EmotivPRO. Os primeiros 30 segundos de gravação não foram considerados na análise, uma vez que nesse período alguns ajustes eram feitos no posicionamento do equipamento na cabeça dos participantes. Foram registrados, a cada 10 segundos e pelo tempo de 10 minutos, os valores da coluna *Band Power* correspondentes às ondas Beta (Low Beta) para cada um dos canais relacionados aos lobos frontal e temporal, conforme

estabelecido na Tabela 19. Os resultados referentes à videoaula 2 e 3 estão descritos no Apêndice D.

Tabela 19 – Potência das frequências relativas à videoaula 1 (continua)

AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC6	FC5	T7	T8
0	0	1	0	2	4	2	0	0	0
0	0	1	0	1	2	6	0	0	0
0	0	30	0	1	4	4	1	1	0
0	0	2	0	2	3	2	0	0	0
1	0	6	0	7	6	2	2	0	0
0	0	8	0	7	3	2	0	0	0
0	0	6	1	7	8	6	0	0	0
0	0	3	0	3	4	2	1	0	0
0	0	5	1	3	7	3	1	0	0
0	1	2	0	2	3	2	0	0	0
0	0	2	0	1	3	3	1	0	0
0	0	3	0	2	4	5	0	0	0
0	0	2	0	5	3	9	2	0	0
0	0	2	0	1	2	6	1	0	0
0	0	5	0	2	4	4	2	0	0
0	0	3	0	1	3	5	1	0	0
0	0	3	0	2	2	30	7	0	0
1	0	1	0	2	2	2	12	0	0
0	0	1	0	1	2	2	1	0	0
0	0	6	0	1	2	3	0	0	0
0	0	3	0	2	4	12	22	0	0
0	0	3	1	3	3	6	0	0	0
2	1	10	1	8	10	7	3	0	0
0	0	4	0	3	3	2	1	0	0
0	0	2	0	1	2	8	2	0	0
0	0	1	0	1	1	0	1	0	0
0	1	3	0	1	2	2	4	0	0
0	0	3	0	2	2	2	1	0	0
0	0	4	0	3	5	5	0	0	0
0	0	2	0	2	3	9	3	0	0
0	0	2	0	1	2	1	0	0	0
1	0	6	0	3	4	1	2	0	0
1	0	5	1	5	2	3	15	0	0
0	0	2	0	2	2	2	0	0	0
0	0	6	0	4	4	2	2	0	0
0	0	3	0	2	6	14	12	0	0
1	0	4	0	1	3	2	1	0	0

Tabela 19 – Potência das frequências relativas à videoaula 1

(conclusão)

AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC6	FC5	T7	T8
0	0	2	0	1	3	1	1	0	0
1	1	2	0	1	3	2	2	0	0
0	0	3	0	2	1	2	1	0	0
1	0	2	0	1	2	1	0	0	0
0	0	2	0	2	8	1	1	0	0
0	0	3	0	2	3	4	0	0	0
0	0	4	0	3	7	2	3	0	0
0	0	2	0	1	1	5	2	0	0
0	0	6	0	2	3	1	4	0	0
0	0	4	0	3	4	2	0	0	0
0	0	4	0	4	2	3	3	0	0
0	0	2	0	4	6	2	2	0	0
0	0	2	0	1	5	2	0	0	0
0	0	2	0	3	2	2	8	0	0
0	0	2	0	1	2	3	1	0	0
1	0	2	1	2	3	4	1	0	0
0	0	5	0	4	6	4	3	0	0
0	0	2	0	2	2	6	2	0	0
1	0	3	0	1	3	2	3	0	0
0	0	3	0	2	2	2	2	0	0
0	0	1	0	1	2	3	1	0	0

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

A Tabela 20 mostra as médias aritméticas das potências de frequência.

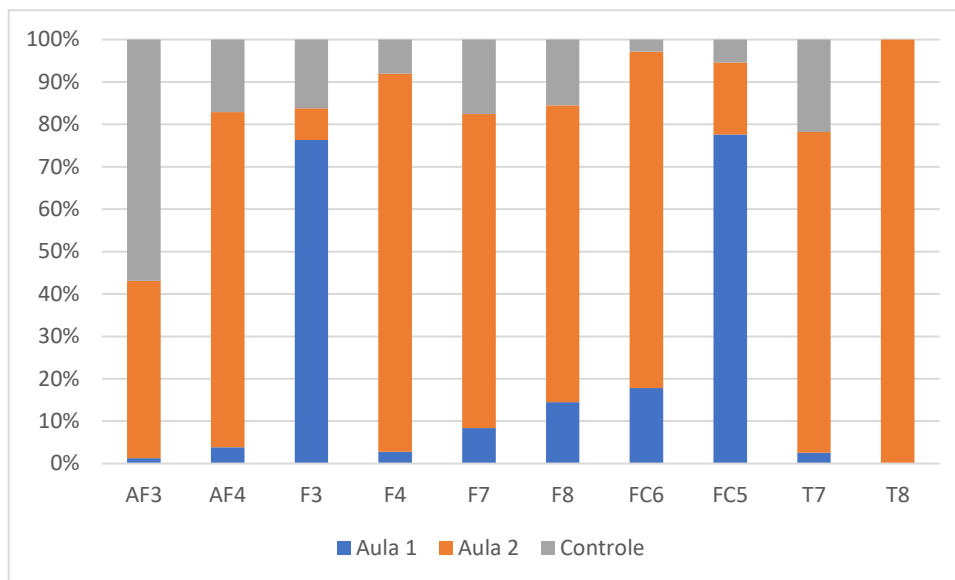
Tabela 20 - Média Aritmética das Potências de frequência

Canais	Aula 1	Aula 2	Controle
AF3	0.19	6.29	8.55
AF4	0.07	1.43	0.31
F3	3.67	0.36	0.78
F4	0.1	3.22	0.29
F7	2.41	21.44	5.07
F8	3.43	16.62	3.69
FC6	4	17.83	0.64
FC5	2.43	0.53	0.17
T7	0.02	0.59	0.17
T8	0	0.05	0

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

As médias aritméticas foram transportadas para o gráfico a seguir (Figura 38), o que possibilita visualizar qual videoaula gerou maior atividade elétrica cerebral nos participantes, quando comparadas as médias entre si.

Figura 38 - Média Aritmética das Potências de frequência relacionadas entre si



Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Os dados evidenciaram maior atividade elétrica cerebral (ilustrada pela cor laranja do gráfico) em 07 dos 10 canais analisados para o participante que assistiu à videoaula 2, ou seja, aquela que foi elaborada de acordo com as diretrizes da TCC. O canal AF3 apresentou maior atividade para a videoaula controle (retirada do YouTube), e os canais F3 e FC5 evidenciaram maior atividade elétrica para a videoaula 1, isto é, a que foi elaborada fora das diretrizes da TCC.

Os dados sugerem que a videoaula 2 possibilita maior estado de consciência, atenção, alerta e concentração ativa, uma vez que a atividade elétrica cerebral medida a partir das ondas Beta, que por sua vez, age sobre o lobo frontal, mostrou-se mais intensa quando comparada às videoaulas 1 e 3 (KANDEL *et al.*, 2014; COSENZA; GUERRA, 2014). Além disso, os dados registrados pelos canais do lobo temporal (T7 e T8) sugerem maior atividade relacionada à aprendizagem, às emoções e à memória em geral.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da metodologia utilizada para a verificação experimental do modelo conceitual proposto pela tese, retoma-se as questões de pesquisa elencadas: quais as emoções prevalentes em estudantes durante a visualização de videoaulas preparadas a partir de diretrizes que potencializam e minimizam a sobrecarga na MT, bem como seus efeitos no processo de retenção de informações na referida memória? Durante a visualização da videoaula 1, que foi elaborada com elementos que sobrecarregam a MT, dos oito estados emocionais considerados neste estudo, os cinco prevalentes foram compromisso, desprezo, surpresa, alegria e desgosto, sendo três classificados com valência positiva e dois com valência negativa. Já durante a visualização da videoaula 2, que foi elaborada dentro das diretrizes da TCC, as cinco emoções prevalentes foram compromisso, desprezo, medo, surpresa e alegria, com a mesma subdivisão das valências referentes à videoaula citada anteriormente.

No que concerne à sequência da questão de pesquisa, ou seja, saber quais os efeitos que estas emoções acarretariam no processo de retenção de informações na MT, não foi possível demonstrar com os dados a influência das emoções prevalentes neste processo, uma vez que não houve diferença significativa em relação aos escores médios das emoções, comparando os cenários do experimento. No entanto, o escore médio de retenção de informações na MT após a visualização da videoaula 2 foi cerca de 91% maior quando comparado à videoaula 1, evidenciando que a inserção das diretrizes da TCC pode gerar menos sobrecarga na MT, potencializando sua capacidade de armazenamento.

Em relação às demais questões norteadoras da pesquisa, o escore médio das emoções evocadas durante a visualização das videoaulas está evidenciado no Quadro 16 da seção 5, e o escore médio de informações armazenadas na MT foram: 2,2 para a videoaula 1; 4,2 para a videoaula 2 e 4,7 para a videoaula 3 (grupo controle), em uma escala que vai de 0 a 9, sendo 0 o mínimo e 9 o máximo. Verificou-se ainda que a videoaula 2 proporcionou o maior padrão de atividade elétrica cerebral nos lobos frontal e temporal, que são áreas relacionadas à emoção, à memória e à aprendizagem. No que tange às hipóteses de pesquisa, retoma-se que, em relação às emoções, não houve diferença significativa entre os escores médios, mas,

considerando o número de informações armazenados na MT, houve diferença significativa, quando comparados os cenários da pesquisa.

Em relação à instanciação do modelo conceitual proposto, foi possível, por meio da pesquisa experimental, verificar que a elaboração de uma videoaula que apresenta tópicos, conceitos, exemplos e esquemas, organizados dentro dos Princípios da Atenção Dividida, Modalidade e Redundância, oferece ao estudante possibilidade de melhorar a capacidade da limitada MT, tendo em vista que ela é responsável pelo gerenciamento das informações recebidas e suas conexões com as que já existem nas memórias mais duradouras, mas que, quando sobrecarregada, tem sua potencialidade diminuída. Os experimentos evidenciaram também que essa videoaula contribui para gerar nos estudantes emoções favoráveis à potencialização da retenção de informações na MT, como compromisso, surpresa e alegria, mesmo que emoções com valência negativa também tenham tido um certo grau de evocação durante a visualização das videoaulas.

Destaca-se que nestes formatos de experimentos, onde as análises também são feitas de forma individual, a qualidade das interpretações é mais importante que o número de participantes, tendo em vista que o processo de retenção de memórias, por exemplo, como uma das etapas de consolidação da aprendizagem, ocorre de forma única nos sujeitos.

Resultados alcançados

Os principais resultados alcançados pela tese foram proporcionados por meio dos experimentos realizados, pela divulgação científica sobre a temática discutida, pela melhoria no programa de capacitação docente e pela elaboração de materiais instrucionais destinado aos docentes, divididos em resultados científicos, técnicos e acadêmicos, de acordo com o Quadro 14.

Quadro 14 - Resultados Alcançados pela Tese

Científicos	<ul style="list-style-type: none"> Validação do modelo conceitual de apoio à aprendizagem que estabelece uma relação entre a configuração da videoaula, as emoções evocadas e o processo de retenção de informações na memória de trabalho;
	<ul style="list-style-type: none"> Mapeamento das emoções com valência positiva e negativa prevalentes durante a visualização de videoaulas elaboradas dentro das diretrizes da TCC;
	<ul style="list-style-type: none"> Identificação da atividade elétrica cerebral durante a visualização de videoaulas;
	<ul style="list-style-type: none"> Publicação de resumo expandido nos anais de evento científico; PAXIÚBA, C. M. C.; LIMA, C. P.; PEREIRA, P. M. P. A videoaula e suas potencialidades para a formação da memória de trabalho. Anais da XVIII Jornada de iniciação e pesquisa científica e tecnológica do IESPES, 2021.
	<ul style="list-style-type: none"> Publicação de dois artigos científicos PEREIRA, P. M. P.; PAXIÚBA, C. M. C.; LIMA, C. P. Relação entre emoções, formação de memórias e aprendizagem: uma revisão sistemática. Revista Exitus, Santarém/PA, v. 11, e020163, p. 01-25, 2021. PEREIRA, P. M. P.; PAXIÚBA, C. M. C.; LIMA, C. P. Investigação sobre as potencialidades da videoaula no que tange às emoções e à formação de memórias. EmRede, v. 8, n. 2, p. 1-20, jul./dez.2021.
Técnicos	<ul style="list-style-type: none"> Produção de material didático direcionado aos docentes sobre a elaboração de videoaulas de acordo com as diretrizes da TCC, com ilustrações e discussões teóricas sobre a inserção de elementos audiovisuais que potencializam o processamento das informações. (APÊNDICE D). Produção de vídeo instrucional, com explicações sobre o material didático elaborado. (Disponível em https://www.youtube.com/watch?v=eksK4LL6Wcl)
Acadêmicos	Foi incorporado ao Programa de Formação Continuada para os docentes da IES participante da pesquisa a discussão do Modelo Conceitual da tese, com a realização de oficinas práticas para elaboração de material audiovisual.

Fonte: Elaboração própria, 2021.

Desafios do estudo

O principal desafio do estudo foi o período pandêmico atual, que limitou a quantidade de experimentos a serem realizados bem como a adesão dos sujeitos à participação na pesquisa, ainda que todos os protocolos de biossegurança tenham sido garantidos pelos pesquisadores. Também em função da pandemia, não foi possível conectar esta tese com trabalhos de mestrado e Trabalhos de Conclusão de Curso de Graduação.

Como uma característica marcante da região oeste do Pará, a oscilação de internet no momento da realização dos experimentos, especialmente quando os participantes visualizavam as videoaulas, causou a perda de dados de alguns sujeitos, em virtude de não terem finalizado corretamente a videoaula, fazendo com que os dados não fossem salvos.

Outro desafio encontrado foi garantir o maior nível possível de ambiente controlado no momento em que os participantes assistiam às videoaulas, uma vez que qualquer nível de distração, fosse causado por toque de celular ou mesmo pela entrada e saída de pessoas no ambiente, poderia gerar sobrecarga na MT e, por ser limitada, tivesse sua capacidade de armazenamento comprometida com algo que pudesse enviar os resultados.

Em relação aos experimentos com o *headset*, houve a adesão de poucos alunos também em virtude de ser necessário uma aproximação física com o estudante para os ajustes do dispositivo. Sem contar o desafio do custo financeiro para a aquisição do equipamento e assinatura do software para tratamento dos dados, valores que chegaram próximos aos US\$ 1.800,00, incluindo também o frete do dispositivo. Por isso, foi decidido que os resultados desta fase não entrariam no modelo conceitual, mas sim como uma amostra que poderá ser ampliada em trabalhos futuros.

Pesquisas futuras

Os achados desta tese possibilitaram analisar de que forma as diretrizes da TCC podem auxiliar a elaboração de videoaulas, para que estas possibilitem a

evocação de emoções positivas, podendo gerar impacto favorável no processo de retenção de informações na MT.

A partir daqui, surgem indagações para a busca de respostas que estejam relacionadas não somente com memórias de curto prazo, mas com memórias mais duradouras, como é o caso da Memória de Longo Prazo (MLP), e também poderão ser inseridas outras variáveis de estudo que possam possibilitar comparações entre conteúdos de natureza diferente, como conteúdos teóricos versus conteúdos aplicados, videoaulas que apresentem exercícios resolvidos de diferentes formas, a fim de investigar se há diferença nas emoções evocadas durante este processo, ou mesmo comparando alunos de diferentes áreas do conhecimento para saber se há diferença no padrão de emoções evocadas ou no nível de retenção de memórias.

Investigações futuras poderão propor modelos conceituais que relacionem tipos de conteúdo, emoções, MT, MLP e área de origem dos estudantes, além de aprofundar os estudos sobre a atividade elétrica cerebral de acordo com as áreas corticais que não foram consideradas nesta tese, como os lobos parietal e occipital, em uma amostra que permita análise estatística dos dados.

Como publicações futuras, serão elaborados artigos relacionados à análise da atividade elétrica cerebral durante a visualização das videoaulas e à discussão teórica referente ao modelo conceitual da tese.

REFERÊNCIAS

- ADOLPHS, R. *et al.* A role for somatosensory cortices in the visual recognition of emotion as revealed by three-dimensional lesion mapping. **J Neurosci** 20: 2683-2690, 2000.
- ARROYO, I. *et al.* A multimedia adaptive tutoring system for mathematics that addresses cognition, metacognition and affect. **IJAIED**, 24(4):387–426, 2014.
- ATKINSON, R. C.; SHIFFRIN, R. M. The control of short term memory. **Scientific American**, 2, 1971: 82-90.
- AYRES, P.; SWELLER, J. The split attention principle. In: **Cambridge Handbook of Multimedia Learning**, por MAYER, 135-146. New York: Cambridge University Press, 2005.
- BADDELEY, A.D. **Your memory, a user's guide** (1st American Ed). New York: Macmillan, 1982.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2002.
- BARTLETT, F. C. **Remembering**: A study in Experimental and Social Psychology. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1932.
- BAUDONNAT, M. *et al.* Heads for learning, tails for memory: reward, reinforcement and a role of dopamine indetermining behavioral relevance across multiple timescales. **Frontiers in neuroscience**, 7 (175), 2013.
- BERGMANN, H. C. *et al.* The Effects of Valence and Arousal on Associative Working Memory and Long-Term Memory. **PLoS ONE**, 7 (12), 2012.
- BRAGA, A.N. *et al.* A teoria cognitiva da aprendizagem multimídia no desenvolvimento de atividades de alfabetização matemática. **Scientia Plena** 15, 074803, 2019.
- BREWER, J. B. *et al.* Making memories: brain activity that predicts how well visual experience will be remembered. **Science** 281: 1185-1187, 1998.
- BRUKEN, R.; PLASS, R; LEUTNER, D. Direct measurement of cognitive load multimedia learning. **Educational Psychologist**, 2003: 53-62.
- BUCKNER, R. L.; WHEELER, M. E. The cognitive neuroscience of remembering. **Nat Ver Neurosci** 2: 624-634, 2001.
- CAHILL, L. *et al.* Amygdala activity at encoding correlated with long-term, free recall of emotional information. **Proc Natl Acad Sci USA** 93: 8016-8021, 1996.
- CALVO, R.; D'MELLO, S. **New Persp. on Affect and LT**. Springer, NY, NY, 2011.

CENTRO REGIONAL DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO (CETIC.BR). **TIC Domicílios 2019**. 2020. Disponível em: <https://cetic.br/pesquisa/domicilios/indicadores/>. Acesso em: 15 set. 2021.

CHANDLER, P.; SWELLER, J. Cognitive Load Theory and the Format of Instruction, **Cognition and Instruction**: 8(4) 1991, 293-332.

ÇALIŞKANA, G.; STORK, O. Hippocampal network oscillations as mediators of behavioural metaplasticity: Insights from emotional learning. **Neurobiology of Learning and Memory**, 154, 37-53, 2018.

CLARK, R.; NGUYEN, F.; SWELLER, J. **Efficiency in Learning**: evidence-based guidelines to manage cognitive load, San Francisco, John Wiley & Sons, San Francisco, 2006.

CLERNIAK, G.; GERJETS, P. Explaining the split-attention effect: is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load?" **Computers in Human Behavior** (Springer), 2009.

COENAS-SILVA, R.; BUENO, J. L. O.; DROIT-VOLET, S. Emotion and long-term memory for duration: Resistance against interference. **Behavioural Processes**, 97, 6-10, 2013.

CONATI, C. Combining Cognitive Appraisal and Sensors for Affect Detection in a Framework for Modeling User Affect. In: **New Persp. on Affect and LT**, 71–84. Springer, 2011.

COOPER, G.; SWELLER, J. The effects of schema acquisition and rule automation on mathematical problem-solving transfer. **Journal of Educational Psychology**, 1987, 79, 347-362.

CORRÊA SOBRINHO, M. **Um modelo conceitual para representar e tratar sinais corporais no processo de aprendizagem**. 2020. 235 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento). Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém/PA, 2020.

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

COWAN, N. The magical number four: how is working memory capacity limited, and why. **Current Directions in Psychological Science**, 2009.

CRAIK, F. I. M.; LOCKHART, R. S. **Levels of processing**: a framework for memory research. *J Verb Learn Verb Behav* 11: 671-684, 1972.

DAMASIO, A. R.; DAMASIO, H.; TRANEL, D. Persistence of feelings and sentience after bilateral damage of the insula. **Cer Cor** doi: 10.1089, 2012.

D'MELLO, S.; CALVO, R. Beyond the basic emotions. In **CHI EA '13**, NY. ACM, 2013.

DUNSMOOR, J. E. *et al.* Emotional learning selectively and retroactively strengthens memories for related events. **Nature**, 520, 345-348, 2015.

DUTRA, J. M.; MORAES, A. F. M.; GUIMARÃES, M. G. V. Ensino remoto e a pandemia da Covid-19: experiências e aprendizados. **EmRede**, v. 8, n. 1, p. 1-15, jan./jun. 2021.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. **Sistemas de banco de dados**. 6. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2011.

FENESI, B. *et al.* Reconceptualizing Working Memory in Educational Research. **Educational Psychology Review**. v.27, n.2, p.333-351, 2015.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, 23(1):183-184, jan-mar 2014.

GERBIER, E.; TOPPINO, T. The effect of distributed practice: Neuroscience, cognition, and education. **Trends in Neuroscience and Education**, 4, 49-59, 2015.

GERLIC, I.; JAUSOVEC, N. Multimedia: differences in cognitive processes observed with EEG. **Educational Technology Research and Development**, 1999: 5–14.

GRAESSER, A.; D'MELLO, S. K. Theoretical Perspectives on Affect and Deep Learning. In: **New Persp. on Affect and LT**, 11–21. Springer, NY, NY, 2011.

GUSSO, H. L. *et al.* Ensino superior em tempos de pandemia: diretrizes à gestão universitária. **Educação e Sociedade**, Campinas, v. 41, e238957, 2020.

HARP, S.F.; MAYER, R. E. The role of interest in learning from scientific text and illustrations: on the distinction between emotional interest and cognitive interest. **Journal of Educational Psychology**, 1997: 92-102.

INSTITUTO PENÍNSULA. **Sentimento e percepção dos professores brasileiros nos diferentes estágios do Coronavírus no Brasil: estágio intermediário - maio de 2020**. 2020. Disponível em: https://www.institutopeninsula.org.br/wpcontent/uploads/2020/05/Covid19_InstitutoPeninsula_Fase2_at%C3%A91405-1.pdf. Acesso em: 15 set. 2021.

JEUNG, H.; CHANDLER, P; SWELLER, J. The role of visual indicators in dual sensory mode instruction. **Educational Psychology**, 1997: 329-343.

JONIDES, J. *et al.* The mind and brain of short-term memory. **Ann Ver Psychol** 59: 193-224, 2008.

KANDEL, E. R. *et al.* **Princípios de Neurociências**. 5. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

KNOWLTON, B. J.; MANGELS, J. A.; SQUIRE, L. R. A neostriatal habit learning system in humans. **Science** 273: 1399-1402, 1996.

LaBAR, K. S. *et al.* Impaired fear conditioning following unilateral temporal lobectomy in humans. **J Neurosci** 15: 6846-6855, 1995.

LaBAR, K. S. *et al.* Human amygdala activation during conditioned fear acquisition and extinction: a mixed trial fMRI study. **Neuron** 20: 937-945, 1998.

LARKIN, J. S.; SIMON, H. A. Why a diagram is (sometimes) worth a thousand words. **Cognitive Science**, 1987: 65-69.

LAZAR, J.; FENG, J. H.; HOCHHEISER, H. **Research methods in human computer Interaction**. 2. ed., Wiley: MK, 2017.

LEAHY, W.; CHANDLER; SWELLER, J. When auditory presentations should and should not be a component of multimedia instruction. **Applied Cognitive Psychology**, 2003: 401-418.

LeDOUX, J. E. Emotion circuits in the brain. **Annu Ver Neurosci** 23: 155-184, 2000.

LeDOUX, J. E. **The Emotional Brain**. New York: Simon & Schuster, 1996.

LEHMAN, B. *et al.* What Are You Feeling? Investigating Student Affective States During Expert Human Tutoring Sessions. In **ITS**, 50–59, Berlin, Heidelberg. Springer, 2008.

LEVIN, J. **Estatística Aplicada a Ciências Humanas**. 2. ed. São Paulo: Harbra, 1987.

LoPRESTI, M. L. *et al.* Working Memory for Social Cues Recruits Orbitofrontal Cortex and Amygdala: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study of Delayed Matching to Sample for Emotional Expressions. **The Journal of Neuroscience**, 28 (14), 3718 –3728, 2008.

LURIA, A. R. **The mind of a Mnemonist**. New York: Basic Books, 1968.

MACLEAN, P. D. **The Triune Brain in Evolution**. New York: Penum, 1990.

MARIL, A.; WAGNER, A. D.; SCHACTER, D. L. On the tip of the tongue: an event-related fMRI study of semantic retrieval failure and cognitive conflict. **Neuron** 31: 653-660, 2001.

MARTIN, A.; CHAO, L. L. Semantic memory and the brain: structure and processes. **Curr Opin Neurobiol** 11: 194-201, 2001.

MAYER, R. E. Cognitive Theory of Multimedia Learning. In: MAYER, Richard (Ed.). **The Cambridge Handbook of Multimedia Learning**. New York: Cambridge University, 2005, p. 31-48. 663p.

MAYER, R. E. **Multimedia learning**. Second edition. Santa Barbara: University of California; 2009. 304 p.

McCARTHY, R. A.; WARRINGTON, E. K. **Cognitive Neuropsychology**: A clinical Introduction. San Diego: Academic Press, 1990.

McGAUGH, J. L. Make mild moments memorable: add a little arousal. **Trends in Cognitive Sciences**, 10 (8), 345-347, 2006.

MESSER, A. T. “**Aprendi no YouTube!**”: Investigação sobre estudar Matemática com videoaulas. 2019. 261 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Educação). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

MILLER, G. **Plans and the Structure of Behavior**. Holt Rinehart and Wiston, Inc, 1960.

MILLER, G. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. **Psychological Review**, 1956: 81-97.

MIOT, H. A. Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais. **J Vasc Bras**. 16(2): 88-91, Apr.-Jun., 2017.

MORAIS, F. *et al.* Computação Afetiva aplicada à Educação: uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil. VI Congresso Brasileiro de Informática na Educação. **Anais do XXVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação – SBIE**, 2017.

MOTTA, S. C. *et al.* Dissecting the brain’s fear system reveals the hypothalamus is critical for responding in subordinate conspecific intruders. **Proc Natl Acad Sci USA** 106: 4870-4875, 2009.

MOUSAVI, S. Y.; R. LOW; SWELLER, J. Reducing cognitive load by mixing auditory and visual presentation modes. **Journal of Educational Psychology**, 1995: 319-334.

MOREIRA, J. A. *et al.* **Educação digital em rede**: princípios para o design pedagógico em tempos de pandemia. Lisboa: Universidade Aberta, 2020.

MORENO, R. Decreasing cognitive load in novice students: effects of explanatory versus corrective feedback in discovery-based multimedia. **Instructional Science**, 2004: 99–113.

MURATA, A. **Human Factors**. An attempt to evaluate mental workload using wavelet transform of EEG, 2005: 498–508.

NAYA, Y.; YOSHIDA, M.; MIYASHITA, Y. Backward spreading of memory-related signal in the primate temporal cortex. **Science** 291: 661-664, 2001.

NIELSON, K. A.; BRYANT, T. The effects of non-contingent extrinsic and intrinsic rewards on memory consolidation. **Neurobiology of Learning and Memory**, 84, 42–48, 2005.

NIELSON, K. A.; LORBER, W. Enhanced post-learning memory consolidation is influenced by arousal predisposition and emotion regulation but not by stimulus valence or arousal. **Neurobiology of Learning and Memory**, 92, 70-79, 2009.

NIELSON, K. A.; MELTZER, M. A. Modulation of long-term memory by arousal in alexithymia: The role of interpretation. **Consciousness and Cognition**, 18, 786–793, 2009.

NIELSON, K. A.; POWLESS, M. Positive and negative sources of emotional arousal enhance long-term word-list retention when induced as long as 30 min after learning. **Neurobiology of Learning and Memory**, 88, 40–47, 2007.

NIELSON, K. A.; YEE, D.; ERICKSON, K. I. Memory enhancement by a semantically unrelated emotional arousal source induced after learning. **Neurobiology of Learning and Memory**, 84, 49–56, 2005.

NYBERG, L. *et al.* Reactivation of encoding-related brain activity during memory retrieval. **Proc Natl Acad Sci USA** 97: 11120-11124, 2000.

OLIVEIRA, R. M.; CORRÊA, Y.; MORÉS, A. Ensino remoto emergencial em tempos de covid-19: formação docente e tecnologias digitais. **Revista Internacional de Formação de Professores**, Itapetininga, v. 5, e020028, p. 1-18, 2020.

PAVLOV, I. P. **Conditioned Reflexes**: Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex. GV Anrep (transl.). London: Oxford Univ. Press, 1927.

PAXIÚBA, C. M. C. **Um modelo conceitual para trabalhar emoções e aprendizagem utilizando expressões faciais**. 2019. 235 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento). Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém/PA, 2019.

PAXIÚBA, C. M. C.; LIMA, C. P. CADAP – Uma Ferramenta de apoio para um Modelo de Avaliação de Aprendizagem Baseado no Desenvolvimento de Conhecimento, Habilidades e Competências e na Reação Emocional dos Alunos. **RENTE**. V. 17 Nº 1, julho, 2019.

PAAS, F.; RENKL, A; SWELLER, J. Special issue: cognitive load theory. **Educational Psychologist**, 2003.

PEKRUN, R. Emotions as Drivers of Learning and Cognitive Development. In **New Persp. on Affect and LT**, v. 3, 23–39. Springer, NY, 2011.

PEREIRA, P. M. P; PAXIÚBA, C. M. C.; LIMA, C. P. Relação entre emoções, formação de memórias e aprendizagem: uma revisão sistemática. **Revista Exitus**, Santarém/PA, v. 11, e020163, p. 01-25, 2021.

PETERSON, L. Short-term retention of individual verbal items. **Journal of Experimental Psychology**, 1959.

PHELPS, E. A. Human emotion and memory: interactions of the amygdala and hippocampal complex. **Current Opinion in Neurobiology**, 14, 198–202, 2004.

PHELPS, E. A. Emotion and cognition: insights from studies of the human amygdala. **Annu Ver Psychol** 57: 27-53, 2006.

PIAGET, J. Les relations entre l'intelligence et l'affectivité dans le développement de l'enfant. In **Textes de base en psychologie**, 75–95. Paris: Delachaux et Niestlé, 1989.

POLDRACK, R. A. *et al.* Interactive memory systems in the human brain. **Nature** 414: 546-550, 2001.

ROCHA, F. G.; NASCIMENTO, B. A. R.; NASCIMENTO, E. F. V-B. C. Um modelo de mapeamento sistemático para a educação. **Cadernos da Fucamp**, v. 17, n. 29, p. 1-6, 2018.

SANTO, E. E.; SANTOS, A. G. Formação docente em tempos de pandemia da COVID-19: um relato do Recôncavo da Bahia. **EmRede**, v. 8, n. 1, p. 1-18, jan./jun. 2021.

SAVIANI, D. **História das ideias pedagógicas no Brasil**. 4. ed. Campinas: Autores Associados, 2013.

SHAH, M. Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control. **Cambridge University Press**, 2003.

SCHACTER, D. L.; GUERIN, S. A.; JACQUES, P. L. Memory Distortion: an adaptative perspective. **Trends Cog Sci** 15: 467-474, 2011.

SCHACTER, D. L.; WIG, G. S.; STEVENS, W. D. Reductions in cortical activity during priming. **Curr Opinion Neurobiol** 17: 171-176, 2007.

SCHNOTZ, W; LOWE, R. External and internal representations in multimedia learning. **Learning and Instruction**.13(2):117-23, doi:10.1016/S0959-4752(02)00015-4, 2003.

SMITH, K. S.; BERRIDGE, K. C. The ventral pallidum and hedonic reward: neuromechanical maps of sucrose “liking” and food intake. **J Neurosci** 25: 8637-8649, 2005.

SOLSO, R. L. **Cognitive Psychology**. 4. Boston: Allyn and bacon, 1995.

SOUZA, N. P. C. **Investigando o efeito do deslocamento do olhar**: implicações para o Princípio da Atenção Dividida. 2015. 127 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Ciências e Matemáticas). Universidade Federal do Pará, Belém/PA, 2015.

SOUZA, N. P. C. **Teoria da Carga Cognitiva**: origem, desenvolvimento e diretrizes aplicáveis ao processo ensino-aprendizagem. 2010. 175 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciências e Matemáticas). Universidade Federal do Pará, Belém/PA, 2010.

SOUZA, S. M. F. *et al.* Os encontros e desencontros do ensino presencial, a distância e remoto em tempos de Covid-19. **Revista Transformar**, 2020. Disponível em: <http://www.fsj.edu.br/transformar/index.php/transformar/article/view/374>. Acesso em: 10 ago. 2021.

SQUIRE, L. R.; KANDEL, E. R. **Memory**: from mind to molecules. New York: WH Freeman, 1999.

SKINNER, B. F. **The Behavior of Organisms**: Na Experimental Analysis. New York: Appleton-Century-Crofts, 1938.

SWELLER, J. Cognitive load during problem solving: effects on learning. **Cognitive Science**, 1988: 257-285.

SWELLER, J.; CHANDLER, P. Why some material is difficult to learn? **Cognition and Instruction**, 1994: 185-233.

SWELLER, J.; MAWER, H. Consequences of history-cued and means-end strategies in problem solving. **The American Journal of Psychology**, 1982: 455-483.

SZULEWSKI *et al.* From theory to practice: the application of Cognitive Load Theory to the practice of medicine. **Academic Medicine**, Vol. 96, No. 1 / January, 2021.

TARMIZINI, R.; SWELLER, J. Guidance during mathematical problem solving. **Journal of Educational Psychology**, 1988: 80, 424-436, Ovid.

TAYLOR, E. W. Transformative learning theory: a neurobiological perspective of the role of emotions and unconscious ways of knowing. **International Journal of Lifelong Education**, 20 (3), 218-236, 2001.

THORNDIKE, E. L. **Animal Intelligence**: Experimental Studies. New York: Macmillan, 1911.

TINDALL-Ford; CHANDLER, S., P.; SWELLER, J. When two sensory modes are better than one. **Journal of Experimental Psychology: Applied**, 1997: 3(4), 257-287.

TOLLENAAR, M. S. *et al.* The effects of cortisol increase on long-term memory retrieval during and after acute psychosocial stress. **Acta Psychologica**, 127, 542–552, 2008.

TRAMMELL, J. P.; CLORE, G. L. Does stress enhance or impair memory. **Cognition & Emotion**, 28 (2), 361-374, 2014.

TULVING, E.; SCHACTER, D.L. Priming and Human Memory Systems. **Science** 247: 301-306, 1990.

TYNG, C. M. *et al.* The Influences of Emotion on Learning and Memory. **Frontiers in Psychology**, 8, ISSN 1454, 2017.

VALENTE, G. S. C. *et al.* Remote teaching in the face of the demands of the pandemic context: Reflections on teaching practice. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p.e843998153, 2020.

VAN MERRIENBOER, J.J.G.; KESTER, L. PAAS. **Teaching complex rather than simple tasks: Balancing intrinsic and germane load to enhance transfer of learning.** *Applied Cognitive Psychology.*” *Applied Cognitive Psychology*, 2006: 343-352.

VOLKE, J. *et al.* Evoked coherences of EEG in mental load: an investigation in chess players. **Zeitschrift Fur Psychologie**, 1999: 233–262.

WAGNER, A. D. Cognitive control and episodic memory: contributions from prefrontal cortex. In: SQUIRE, L. R.; SCHACTER, D. L. (eds). **Neuropsychology of memory**, 3. ed., 174-192. New York: Guilford Press, 2002.

WAGNER, A. D. *et al.* Building memories: remembering and forgetting of verbal experiences as predicted by brain activity. **Science** 281: 1188-1191, 1998.

WAGNER, A. D. *et al.* Recovering meaning: left prefrontal cortex guides controlled semantic retrieval. **Neuron** 31: 329-338, 2001.

WANG, B. Negative emotion elicited in high school students enhances consolidation of item memory, but not source memory. **Consciousness and Cognition**, 33, 185-195, 2015.

WANG, B.; SUN, B. Timing matters: Negative emotion elicited 5 min but not 30 min or 45 min after learning enhances consolidation of internal-monitoring source memory. **Acta Psychologica**, 157, 56-64, 2015.

WARD, M.; SWELLER, J. Structuring effective worked examples. **Cognition and Instruction**, 1990, 7, 1-39.

WEISKRANTZ, L. Behavioral changes associated with ablation of the amygdaloid complex in monkeys. **J Comp Physiol Psychol** 49: 381-391, 1956.

WHALEN, P. J.; PHELPS, E. A. **The Human Amygdala**. New York: Guilford Press, 2009.

WHEELER, M. E.; PETERSEN, S. E.; BUCKNER, R. L. Memory's echo: vivid remembering reactivates sensory-specific cortex. **Proc Natl Acad Sci USA** 97: 11125-11129, 2000.

ZAR, T.; GALERA, C. A. A dinâmica temporal da atenção na memória de trabalho visual. **Psico** (Porto Alegre), 2018; 49(4), 358-364.

ZOLADZ, P. R. *et al.* Pre-learning stress differentially affects long-term memory for emotional words, depending on temporal proximity to the learning experience. **Physiology & Behavior**, 103, 467–476, 2011.

APÊNDICE A – TEXTO PARA A CONSTRUÇÃO DAS VIDEOAULAS

Conteúdo: Introdução aos Estudos Epidemiológicos

Olá. Nesse vídeo a gente vai falar um pouquinho sobre os estudos epidemiológicos. O objetivo desse vídeo é abordar basicamente dois tópicos. Ao longo do vídeo a gente vai falar: **o que são os estudos epidemiológicos**, dá a definição, e na segunda parte a gente vai falar como são **classificados os estudos epidemiológicos** e quais são os tipos de estudos epidemiológicos, uma breve abordagem sobre os estudos epidemiológicos.

Os estudos epidemiológicos, também conhecidos como estudos populacionais, são aqueles estudos cuja finalidade é **descrever ou caracterizar o processo saúde-doença**, ou seja, o que a gente quer dizer quando a gente fala caracterizar o processo saúde-doença? A gente quer saber o que acontece, o que ocorreu nesse meio tempo em que um indivíduo saudável se tornou um indivíduo doente, por que que aconteceu isso, o quê que aconteceu, o que esse indivíduo saudável fez que pode ter influenciado para ele ficar doente?

Bom, agora que a gente já tem uma ideia do conceito de estudo epidemiológico, a gente parte para a classificação: a classificação dos estudos epidemiológicos é um ponto controverso. Por quê? Porque cada autor vai dando a sua classificação, aí fica um negócio meio confuso. E o objetivo da classificação não é confundir a cabeça de ninguém, o objetivo da classificação é agrupar os tipos de estudos epidemiológicos mais semelhantes, para ficar uma forma mais didática na cabeça dos alunos.

Então aqui quanto à classificação, a gente vai ter três tipos de classificação, e são classificações independentes entre si: os estudos epidemiológicos podem ser classificados:

a) **Quanto à unidade em estudo**, ou seja, você está estudando um indivíduozinho específico, ou você está estudando uma população no âmbito geral, a partir de dados secundários, e sem você estar efetivamente interrogando cada um deles. Se você tiver fazendo um questionário individual para cada um deles, você está fazendo um **estudo individual**. Agora se você está fazendo um estudo a partir de uma população, uma comunidade, sem que você vá lá questionar cada um deles, você obtém os dados

dessa população a partir de fontes secundárias, então você está fazendo um **estudo do tipo ecológico**.

b) Uma outra forma de classificar é **quanto à intervenção do investigador**, ou seja, o investigador intervém no estudo mesmo, ou seja, ele vai lá e determina quem são os indivíduos doentes e quem são os indivíduos não doentes, ou quem são os indivíduos expostos, ou quem são os indivíduos não expostos, ou ele apenas observa, ele deixa que a natureza determine o curso do estudo. Então, quanto a essa classificação os estudos podem ser **observacionais**, onde você só vai lá observar o processo saúde-doença sem intervir efetivamente, ou eles podem ser **experimentais**, ou seja, o investigador vai lá e, por exemplo, dá uma droga para um determinado grupo do estudo, e para outro não dá essa determinada droga, ou ele pode expor um determinado grupo a um fator e no outro ele não expõe a esse fator.

c) E por último, a classificação **quanto ao propósito geral do estudo**. O que quer dizer com propósito geral? O estudo visa **descrever** o processo saúde-doença. Por exemplo: quando surgiram os primeiros casos da síndrome da imunodeficiência humana, que cada paciente tinha determinado conjunto de sinais e sintomas, que é exemplificado pelos relatos de casos, pela série de casos, e ocorre quando você ainda está no processo de conhecer a doença, a doença ainda é muito nova, aí você está começando a descrever a doença. Já os **analíticos** é quando você, por exemplo, pega dois grupos e visa compará-los, visa analisar os grupos, ver as diferenças, aí já algo mais elaborado, são os estudos mais comuns hoje em dia.

A gente tem basicamente **08 tipos de estudos epidemiológicos**. A gente pode classificar cada um deles, de acordo com aqueles três critérios de classificação já mencionados no tópico anterior.

Bom, o 1º e 2º estudos aqui são o **Relato de caso** e a **Série de casos** são estudos muito parecidos. A diferença é que no Relato de caso você vai pegar um caso específico e vai descrever toda a história, vai falar desde o começo o que aconteceu, a semiologia, os exames e a evolução do paciente. Aqui fica bem claro que o Relato de caso entra naquele critério de classificação como sendo um estudo descritivo. A Série de casos a mesma coisa, só que você pega um número maior de casos para descrever.

O 3º estudo é um estudo de **Correlação**, também chamado de Estudo Ecológico. O estudo Ecológico, como o próprio nome já diz, é um tipo de estudo

Ecológico, quanto àquele critério de classificação quanto à unidade de estudo. Aqui você vai estudar as comunidades ou populações de forma indireta, ou seja, você não vai perguntar para cada um deles o sexo, idade, todas as informações que você queria achar. Você vai a partir de um banco de dados secundários, tipo o DataSUS, por exemplo, e vai lá e coleta informações sobre essa população e, a partir dela, você vai fazer o seu estudo epidemiológico, vai analisar as variáveis e, a partir dessas variáveis, você vai poder formular hipóteses.

O 4º tipo de estudo é o **Estudo Transversal** ou também chamado de Estudo Seccional. O Estudo Transversal é aquele que você observa aquela sua população-alvo em apenas uma única oportunidade, usando outras palavras o Estudo Transversal é aquele em que, em uma única oportunidade, você coleta simultaneamente a variável independente e a variável dependente da população-alvo.

Agora vamos explicar melhor o que é **variável independente e variável dependente**. Aqui fica fácil entender se você usar exemplos. Variável independente é aquela variável independente por si mesma, que corresponde ao fator causal suspeito. Vamos dar exemplos aqui: tabagismo. Tabagismo a gente sabe que é um fator causal para câncer de pulmão. Nesse caso, tabagismo vai ser a variável independente, ou seja, é o fator causal; já a variável dependente seria a doença propriamente dita ou a condição final. No exemplo dado, seria o equivalente ao câncer de pulmão, ou seja, é aquela variável que depende de um fator causal para aparecer, por isso o nome variável dependente.

Pelo fato de o Estudo Transversal coletar essas informações de forma simultânea, ele também é conhecido como Estudo Seccional, por quê? É como se você tivesse a linha do tempo e de repente você pegasse um pontinho de todas essas pessoas e coletasse todas essas informações. É um corte, é uma fotografia da linha do tempo dessas pessoas. Tá, mas por quê que eu expliquei tudo isso sobre o Estudo Transversal, usando essa linha do tempo como exemplo? Porque isso vai ser útil para explicar a Coorte e o Caso-controle.

No caso da **Coorte**, a gente vai escolher a nossa população com base na variável independente. No caso do nosso exemplo, seria o tabagismo. A gente vai, escolhe as pessoas que já fumam, e a gente vai acompanhar essas pessoas ao longo do tempo, até a gente esperar o desfecho. No caso, seria o câncer de pulmão.

Já no estudo de **Caso-controle**, a gente vai escolher a nossa população com base na variável dependente, ou seja, no desfecho; que, no caso do exemplo, seria o câncer de pulmão. A gente vai escolher previamente pacientes com câncer de pulmão e pacientes sem câncer de pulmão, aí a gente vai comparar essas duas populações, só que a gente vai voltar no passado deles, a gente vai contrário à linha do tempo, a gente vai investigar o passado deles, saber se eles fumaram antes, saber por quanto tempo ele fumou esse tipo de informação.

Já o **ensaio clínico** é um estudo tipicamente experimental ou de intervenção. Por que isso? Porque é o próprio investigador que vai determinar quem é exposto e quem não é exposto, ou seja, você vai lá, escolhe uma determinada população para começar o estudo e aí você vai lá e fala: esse daqui eu vou dar o fármaco, ou seja lá o que for, esse daqui eu vou dar, esse daqui eu não vou dar, esse daqui eu vou, esse daqui eu vou, ou seja, você está selecionando o grupo de expostos e, automaticamente, está selecionando o grupo de não expostos, você está determinando quem vai ser exposto e quem vai ser não exposto. Diferente da Coorte, do Caso-controle e do Transversal.

E por último, a **Metanálise**. A grosso modo, a Metanálise é quando você vai lá na literatura, vai na ferramenta de busca como PubMed, Scielo, pesquisa vários estudos que já foram feitos e analisa esses estudos de uma forma geral, tendo uma vista de cima e, a partir da análise de todos esses estudos em conjunto, você vai tentar chegar a alguma conclusão que talvez não fora conseguida com cada um desses estudos individualmente.

REFERÊNCIAS

FRANCO, L. J.; PASSOS, A. D. C. **Fundamentos de Epidemiologia**. 2. ed. SP: Manole, 2010.

BONITA, R.; BEAGLEHOLE, R.; KJLLSTROM, T. **Epidemiologia Básica**. 2. ed. SP: Santos, 2010.

APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você está sendo convidado para participar da pesquisa de doutorado intitulada: **MODELO CONCEITUAL DE APOIO À APRENDIZAGEM, COM BASE EM EMOÇÕES E FORMAÇÃO DE MEMÓRIAS.**

Você foi selecionado em virtude de ter sido sorteado de forma aleatória, por fazer parte da instituição onde serão desenvolvidos os experimentos.

O objetivo principal deste estudo é investigar as emoções e as funções cognitivas prevalentes durante a visualização de videoaulas preparadas a partir de diretrizes que potencializam e minimizam a sobrecarga na Memória de Trabalho, bem como seus efeitos na aprendizagem.

Sua participação consistirá em visualizar uma videoaula de 11 minutos e, após este momento, responder um questionário com perguntas abertas sobre o conteúdo assistido. Os acadêmicos selecionados serão divididos por sorteio em 03 grupos distintos. Um dos grupos irá assistir a uma videoaula contendo slides organizados de forma a sobrecarregar a memória de trabalho; outro grupo visualizará uma videoaula que não sobrecarrega a memória de trabalho e o terceiro grupo irá assistir a uma videoaula pronta, retirada do YouTube. Durante a visualização das videoaulas que ocorrerá em um laboratório de informática do IESPES, suas expressões faciais serão capturadas por uma plataforma computacional denominada CADAP e, posteriormente, serão codificadas para identificação das emoções: alegria, medo, raiva, nojo, tristeza, desprezo e surpresa. Alguns de vocês também poderão estar usando um capacete chamado Emotiv Epc^x, um dispositivo móvel de Eletroencefalografia (EEG), que realiza um processo eletrofisiológico para registrar a atividade elétrica do cérebro, fazendo a correspondência com funções cognitivas: estresse, engajamento, interesse, entusiasmo, foco e relaxamento.

Os riscos relacionados a sua participação podem ser o constrangimento no momento da visualização das videoaulas, em virtude de saberem que suas expressões faciais estarão sendo capturadas e funções cognitivas mapeadas. Para minimizar, cada sessão será realizada com no máximo 10 estudantes; e o risco de desconforto pelo uso do capacete Emotiv Epc^x, mas que será minimizado, uma vez que todas as recomendações do fabricante serão seguidas, bem como haverá a ajuda

da coorientadora da pesquisa, que já possui experiência no manuseio do equipamento.

Você pode desistir a qualquer momento da pesquisa, independente do motivo, bastando apenas expressar-se verbalmente para tal. Se houver qualquer dano causado em virtude de sua participação nos experimentos, eu, enquanto pesquisador principal, serei obrigado a indenizá-lo/a de acordo com a especificidade do que ocorrer.

Os benefícios relacionados a sua participação são as informações que você receberá sobre como potencializar a aprendizagem de conteúdos acadêmicos, além de conhecer um pouco mais sobre a relação entre emoções, formação de memórias e aprendizagem.

As informações obtidas através deste estudo serão confidenciais e asseguramos o sigilo sobre sua participação.

Os dados obtidos não serão divulgados de forma a possibilitar sua identificação. Todo o material coletado nas avaliações após cada videoaula será arquivado em ambiente seguro durante cinco anos e não será utilizado para outro fim sem sua devida autorização. Após este período, o material será deletado para evitar que outras pessoas tenham acesso ao conteúdo.

Você não receberá nenhum tipo de benefício financeiro pela participação no estudo, entretanto, caso você tenha algum custo decorrente da sua participação, esse valor será ressarcido por mim, enquanto pesquisador principal.

Ratifico que, a qualquer momento, você pode desistir de participar deste estudo, bastando para isso informar de forma verbal. Sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com o IESPES, nem com seu curso de graduação. Caso haja dano de qualquer natureza que você venha a sofrer durante os experimentos, você tem direito à indenização.

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UEPA – Universidade do Estado do Pará – campus XII – Tapajós (Parecer nº 4.731.463), que funciona na Av. Plácido de Castro, 1399 - Aparecida, Santarém - PA, Cep: 68040-090. Contato (93) 3512-8000. E-mail ceptapajos@uepa.br.

Você receberá uma cópia deste termo onde consta o telefone e o endereço do pesquisador principal, podendo tirar suas dúvidas sobre a pesquisa e/ou de sua participação, agora ou a qualquer momento. Ressalto que todas as medidas de

prevenção à Covid-19 serão tomadas, como o distanciamento social de, no mínimo, 2 metros no momento de visualização das videoaulas, uso de máscaras, presença de álcool a 70% e constante higienização no local dos experimentos. No momento de visualizar as videoaulas você deverá ficar sem máscara, em virtude da captura das expressões faciais para identificação das emoções. Para responder o questionário, após as videoaulas, as máscaras deverão ser colocadas novamente.

Eu, Paulo Marcelo Pedroso Pereira, confirmo que este projeto foi elaborado seguindo as normas da resolução 466/2012, e me prontifico a atender a todos os sujeitos participantes desta pesquisa que assim desejarem no endereço profissional: Avenida Coaracy Nunes, 3315, Santarém, Pará. CEP: 68040-100. Fone: (93) 99141-3052. E-mail: pmpp02@gmail.com.



Paulo Marcelo Pedroso Pereira

Declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios de minha participação na pesquisa e concordo em participar.

Santarém, _____ de julho de 2021

Sujeito da pesquisa

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO PARA OS ALUNOS

1. Qual a ideia central dos estudos epidemiológicos?
2. Cite um critério para classificar os estudos epidemiológicos.
3. Quantos tipos de estudos epidemiológicos foram apresentados?
4. Na explicação sobre as variáveis, quais os exemplos utilizados?
5. Cite três tipos de estudo epidemiológico apresentados.
6. Qual o nome do tipo de estudo classificado como experimental?

APÊNDICE D – TABELAS INDICATIVAS DAS POTÊNCIAS DE FREQUÊNCIAS

Tabela 21 - Potência das frequências relativas à videoaula 2

(continua)

AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC6	FC5	T7	T8
1	0	0	0	30	12	15	0	0	0
3	0	0	0	6	4	6	1	0	0
2	0	0	0	30	7	18	0	1	0
3	0	0	0	30	6	12	0	0	0
0	0	0	0	8	8	30	0	0	0
1	0	0	1	25	16	7	1	1	0
1	0	0	1	30	6	30	0	2	0
3	1	0	0	18	15	5	0	0	0
1	0	0	0	30	6	24	0	0	0
6	0	0	0	7	17	5	0	1	0
3	1	0	1	19	13	30	1	0	0
30	1	0	0	30	30	30	0	1	0
0	0	0	0	12	6	18	1	0	0
6	1	0	2	30	29	30	0	1	0
16	2	0	1	30	7	29	1	3	0
2	0	0	0	10	4	21	0	0	0
0	1	0	1	28	9	5	1	0	0
2	1	0	0	30	30	30	0	0	0
5	1	1	2	30	19	30	0	2	0
11	5	1	1	30	17	12	0	5	0
4	1	0	2	30	30	30	0	1	0
1	0	0	0	5	6	2	0	0	0
2	1	0	2	30	30	30	0	0	0
2	1	0	1	18	6	9	1	1	0
1	1	0	1	14	11	5	1	0	0
6	1	2	3	17	30	30	0	1	0
0	0	0	1	6	11	5	0	0	0
30	9	2	10	30	30	30	1	1	0
5	1	0	1	30	14	21	0	1	0
2	1	0	3	23	12	30	1	0	0
2	1	0	1	10	30	5	1	0	0
1	0	0	2	12	5	7	1	0	0
1	0	1	0	6	20	5	0	1	0
1	1	0	1	30	30	22	0	0	0
10	1	0	1	30	30	30	0	1	0
18	2	1	2	30	30	21	1	0	0
3	1	0	1	13	10	25	1	1	0
9	1	1	3	30	30	30	0	1	0
7	2	0	6	30	30	30	1	1	1
1	0	0	1	23	18	5	1	0	0

Tabela 21 – Potência das frequências relativas à videoaula 2

(conclusão)

AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC6	FC5	T7	T8
6	1	1	2	30	30	30	1	1	0
23	2	0	2	30	6	30	1	1	0
6	1	1	2	30	30	24	1	0	0
6	0	0	5	30	30	10	1	0	1
3	0	1	7	12	5	3	0	1	0
8	5	1	8	30	30	30	1	1	0
5	2	1	4	24	13	30	1	0	0
2	1	0	11	5	6	5	1	1	0
30	1	1	10	30	30	8	0	0	0
5	2	1	2	7	10	2	0	0	0
2	1	1	3	9	13	6	0	0	0
3	2	1	7	14	12	30	0	1	0
6	4	0	16	6	5	5	2	0	0
2	4	0	27	14	10	10	1	0	0
30	6	2	3	30	3	13	1	0	0
19	1	0	21	30	30	5	2	1	0
4	4	0	2	25	6	4	1	0	0
3	7	1	3	8	21	30	1	0	1

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Tabela 22 – Potência das frequências relativas à videoaula 3

(continua)

AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC6	FC5	T7	T8
1	0	0	0	4	4	1	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	2	2	0	0	0	0
12	2	6	1	1	3	1	2	0	0
6	8	24	7	2	1	1	3	0	0
4	0	0	0	1	2	1	0	0	0
30	0	0	0	1	1	0	0	1	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0
30	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3	0	0	0	1	1	0	0	0	0
29	0	0	0	2	2	0	0	0	0
2	0	0	0	1	2	1	0	0	0
1	0	0	0	2	2	1	0	0	0
2	3	3	2	3	3	2	1	1	0
30	1	1	2	30	30	8	1	1	0
1	0	0	0	5	1	0	0	0	0

Tabela 22 – Potência das frequências relativas à videoaula 3

(conclusão)

AF3	AF4	F3	F4	F7	F8	FC6	FC5	T7	T8
4	0	1	0	5	3	0	0	0	0
30	0	0	0	14	14	0	0	1	0
8	4	5	5	2	1	1	1	0	0
6	0	0	0	2	1	0	0	0	0
12	0	0	0	7	1	0	0	0	0
14	0	1	0	18	1	1	1	0	0
6	0	0	0	8	2	1	0	0	0
1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	0	30	1	0	0	1	0
2	0	0	0	2	1	0	0	0	0
2	0	0	0	2	2	1	0	0	0
2	0	0	0	1	16	0	0	0	0
2	0	0	0	15	3	0	0	1	0
3	0	0	0	1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	1	5	0	0	0	0
18	0	0	0	5	1	1	0	0	0
3	0	0	0	1	1	1	0	0	0
23	0	0	0	8	1	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	0	0	0	0
28	0	1	0	4	2	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	0	0	0	0
3	0	0	0	2	1	0	0	0	0
30	0	1	0	13	30	3	1	0	0
2	0	0	0	2	1	0	0	0	0
4	0	0	0	2	1	0	0	0	0
17	0	1	0	1	3	1	0	0	0
15	0	0	0	1	2	0	0	1	0
30	0	0	0	30	1	0	0	0	0
14	0	0	0	25	3	1	0	1	0
1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	0	3	2	0	0	0	0
1	0	0	0	2	2	0	0	1	0
2	0	0	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1	0	0	0	0
12	0	0	0	2	1	0	0	0	0
15	0	1	0	17	30	7	0	1	0
2	0	0	0	2	1	0	0	0	0
5	0	0	0	1	2	0	0	0	0
5	0	0	0	1	3	1	0	0	0
1	0	0	0	1	9	1	0	0	0
2	0	0	0	1	2	1	0	0	0

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

APÊNDICE E
DIRETRIZES PARA CONSTRUÇÃO DE MATERIAIS INSTRUCIONAIS



DIRETRIZES PARA CONSTRUÇÃO DE MATERIAIS INSTRUCIONAIS

*Paulo Marcelo Pedroso Pereira*³

*Celson Pantoja Lima*⁴

*Carla Mariana Costa Paxiúba*⁵

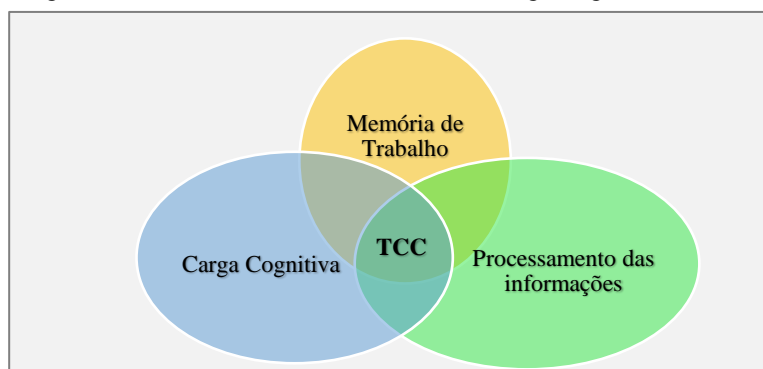
APRESENTAÇÃO

Este material constitui-se como um dos resultados técnicos da tese de doutorado intitulada **Modelo Conceitual de apoio à Aprendizagem com base em Emoções e Formação de Memórias**, apresentada junto ao PPGSND, da UFOPA, na linha de pesquisa Gestão do Conhecimento e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável. O objetivo é fornecer embasamento teórico para a elaboração de materiais instrucionais (e.g. slides e videoaulas), a fim de potencializar a retenção de informações.

TEORIA DA CARGA COGNITIVA

A Teoria da Carga Cognitiva considera a existência de uma **carga cognitiva** necessária para o **processamento de informações** na **Memória de Trabalho**, que tem como característica principal uma limitação em termos de duração e capacidade de armazenamento, devendo ser mantida sem sobrecarga, para que não haja comprometimento no processo de retenção de informações. Os principais elementos da teoria estão expressos na Figura 1.

Figura 1 – Elementos centrais da Teoria da Carga Cognitiva



Fonte: Elaboração própria, 2021.

³ Docente do IESPES, autor da pesquisa

⁴ Docente da UFOPA, orientador da pesquisa

⁵ Docente da UFOPA, coorientadora da pesquisa

MEMÓRIA DE TRABALHO

A Memória de Trabalho é transitória, consciente, onde são processadas e armazenadas as informações necessárias ao desempenho de uma tarefa ou ao entendimento de um conteúdo. Ela é fundamental para a aprendizagem, pois permite ao indivíduo fazer conexões entre ideias que estejam ativas na memória com informações armazenadas na Memória de Longo Prazo. A Memória de Trabalho é formada por pelo menos dois subsistemas, nomeadamente um para a **informação verbal** e outro para a **visuoespacial**.

- **Subsistema verbal** – responsável em manter uma informação com base na linguagem falada conscientemente, e está dividido em dois componentes interativos:
 - ✚ um armazenado, que representa conhecimento fonológico; e
 - ✚ um mecanismo de ensaio (repetição mental), que mantém essas representações ativas enquanto se precisa delas.
- **Subsistema visuoespacial** – retém imagens mentais de objetos visuais e da localização dos objetos no espaço.

TIPOS DE CARGA COGNITIVA

Para construir um material instrucional de forma a não sobrecarregar a Memória de Trabalho, é necessário conhecer os **tipos de carga cognitiva** e o papel de cada uma na retenção de informações.

Intrínseca

- Relacionada à natureza do conteúdo

Relevante

- Relacionada à formação de esquemas mentais

Estranha

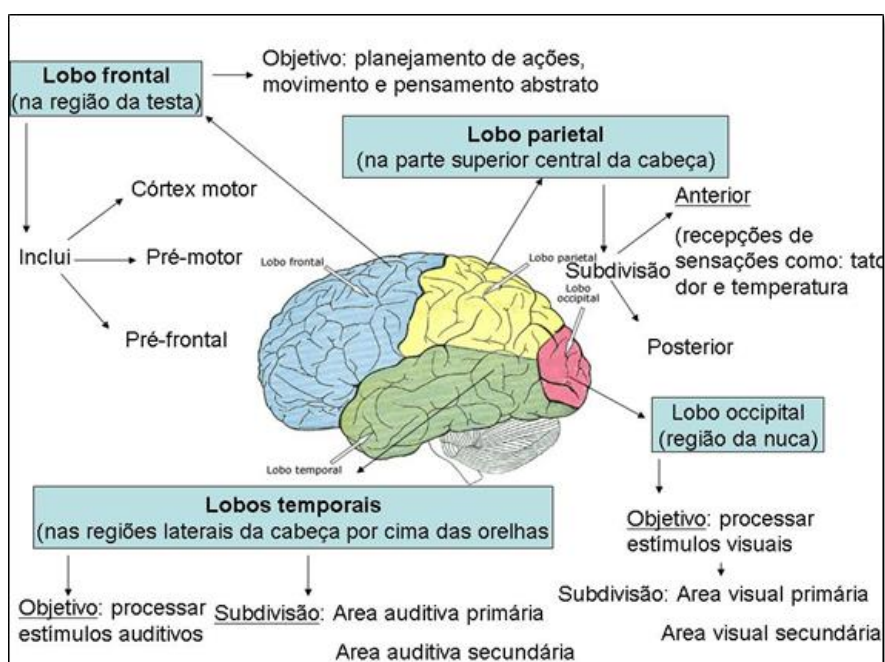
- Sem relação direta com o conteúdo

- **Carga Cognitiva Intrínseca** – está relacionada à natureza/dificuldade intrínseca do conteúdo. Quanto maior for a interatividade entre os elementos que compõem a informação, maior será a carga cognitiva envolvida.
- **Carga Cognitiva Relevante** – está associada a processos de aquisição de esquemas e automatização, permitindo ao aprendiz a construção das estruturas cognitivas que melhoram o desempenho para a compreensão das informações.
- **Carga Cognitiva Estranha** – não contribui para o processamento da informação, consumindo parte da capacidade da Memória de Trabalho. Elementos verbais ou visuoespaciais que não tenham relação direta com a informação poderão gerar um dos efeitos prejudiciais à aprendizagem, nomeadamente Efeito da Atenção Dividida e Efeito Redundância.

EFEITOS NOCIVOS AO PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO

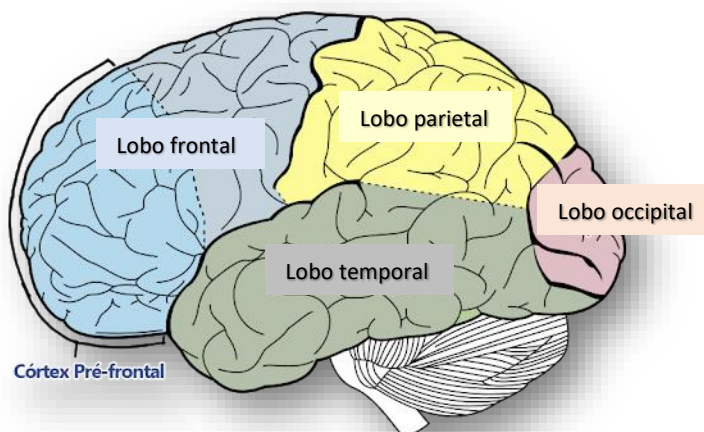
- **Efeito da Atenção Dividida** – é gerado pela separação espacial de duas fontes (texto e figuras) que integram a apresentação da mesma informação. Isso cria um esforço cognitivo desnecessário, uma vez que, para a compreensão do texto, o aprendiz deve lê-lo, guardá-lo na Memória de Trabalho e, então, procurar na figura o referente correspondente, conforme representado na Figura 2.

Figura 2 – Representação Efeito da Atenção Dividida



De acordo com o exemplo apresentado, para melhorar a eficiência cognitiva na leitura das informações, a denominação de cada um dos lobos corticais poderia estar escrita na própria imagem, para reduzir a distância espacial entre o texto e as figuras, situação representada na Figura 3. Além disso, há excesso de informações na imagem, aumentando a possibilidade de sobrecarga na Memória de Trabalho.

Figura 3 – Adequação para evitar o Efeito da Atenção Dividida



- **Efeito Redundância** – pode surgir quando texto e figura tentam repassar a mesma ideia, não havendo, portanto, complementaridade entre os elementos. Este fato gera a carga cognitiva estranha. A Figura 4 representa a ideia deste efeito.

Figura 4 – Representação do Efeito Redundância

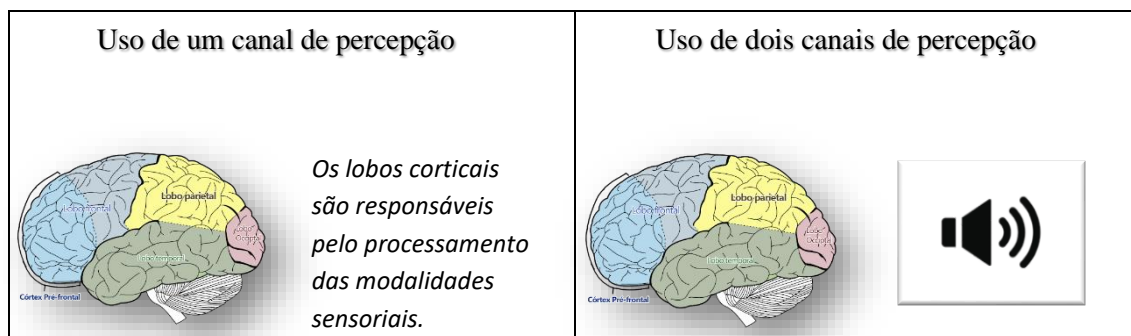


A redundância está na repetição da mesma ideia, que aparece no letreiro localizado abaixo da imagem do urso e na fala da figura que representa o professor. Para evitar sobrecarga na Memória de Trabalho, a fala do professor deve complementar a informação repassada pela imagem.

EFEITO BENÉFICO AO PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO

- **Efeito Modalidade** – é gerado pela adequação dos modos (visual e auditivo) de apresentação do conteúdo, a fim de utilizar os dois canais de percepção. Para aumentar a eficiência cognitiva, deve-se substituir o texto escrito que acompanha uma figura pelo texto narrado, conforme representado pela Figura 5.

Figura 5 – Representação do Efeito Modalidade



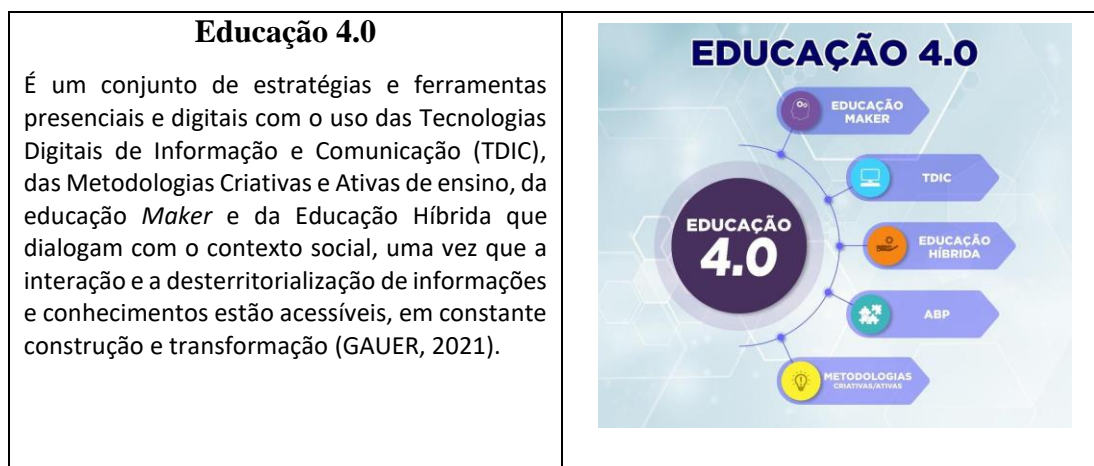
No exemplo, a recomendação é que a explicação escrita sobre os lobos corticais seja substituída por um texto narrado, garantindo que os modos visual e auditivo, juntos, atuem de forma a apresentar uma informação mais completa.

DIRETRIZES DA TEORIA DA CARGA COGNITIVA

Nesta seção, são apresentadas 7 diretrizes que estão relacionadas à elaboração de material instrucional.

1. **Uso de diagramas** – contribui para que todos os elementos em uma figura possam ser vistos simultaneamente, diferentemente de sentenças que devem ser processadas em sequência. Isso leva a uma menor busca visual em tarefas que envolvem a coordenação de múltiplos elementos espaciais, melhorando a eficiência no processamento psicológico. Além disso, um diagrama requer menos inferências porque mostra relações espaciais que deveriam ser inferidas a partir de texto, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Texto *versus* Diagrama para representar um conteúdo



- 2. Diagramas e áudio-narração** – a explicação dos diagramas deve ser feita em áudio-narração. A utilização do texto falado em uma apresentação canaliza as informações auditivas para o subcomponente auditivo da Memória de Trabalho, liberando o canal visual para o processamento de outras informações, diminuindo a possibilidade de sobrecarga em ambos os subcomponentes, promovendo um aumento na capacidade da Memória de Trabalho. No caso da Figura 6, o texto escrito deveria ser narrado para complementar as informações do diagrama.
- 3. Uso de sinais** – deve-se usar sinais para focar a atenção em conteúdos visuais e textuais importantes, especialmente nos de maior complexidade. O Quadro 1 ilustra esta diretriz.

Quadro 1 – Textos para ilustrar o uso de sinais

Texto sem uso de destaques	Texto com destaques gráficos
<p>Quanto à unidade em estudo, os estudos epidemiológicos podem ser individuais ou ecológicos, ou seja, quando se está estudando um indivíduo específico ou uma população no âmbito geral. Quando se passa um questionário individual para cada participante da pesquisa, tem-se o estudo individual, mas quando são obtidos dados de uma população/comunidade a partir de fontes secundárias, então o estudo é do tipo ecológico.</p>	<p>Quanto à unidade em estudo, os estudos epidemiológicos podem ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✚ Individuais ✚ Ecológicos <p>Quando se está estudando um indivíduo específico ou uma população no âmbito geral.</p> <p>Quando se passa um questionário individual para cada participante da pesquisa, tem-se o estudo individual, mas quando são obtidos dados de uma população/comunidade, a partir de fontes secundárias, então o estudo é do tipo ecológico.</p>

Nota-se que o texto com destaque gráfico facilita a leitura das informações.

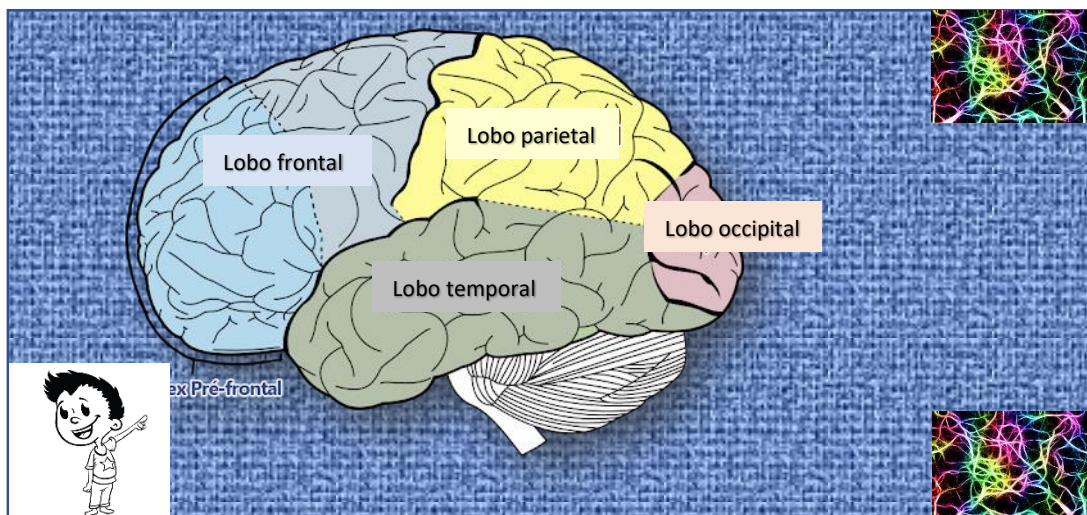
4. **Integração entre texto e figuras** – deve-se integrar o texto explicativo próximo aos visuais correspondentes nas páginas e telas, a fim de se evitar o Efeito da Atenção Dividida, conforme já explicitado nas figuras 2 e 3.
5. **Redução do conteúdo ao essencial** – para a apresentação inicial do conteúdo, deve-se considerar a limitação da Memória de Trabalho no momento de selecionar as informações a serem inseridas no material instrucional.

Quadro 2 – Textos para ilustrar o uso de sinais

Texto na íntegra	Texto com conteúdo essencial
<p>Classificação dos Estudos Epidemiológicos</p> <p>Quanto à unidade em estudo, os estudos epidemiológicos podem ser individuais ou ecológicos, ou seja, quando se está estudando um indivíduo específico ou uma população no âmbito geral. Quando se passa um questionário individual para cada participante da pesquisa, tem-se o estudo individual, mas quando são obtidos dados de uma população/comunidade a partir de fontes secundárias, então o estudo é do tipo ecológico.</p>	<p><u>Classificação dos Estudos Epidemiológicos</u></p> <p>Quanto à unidade em estudo, podem ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✚ Individuais ✚ Ecológicos <p>Quando se estuda um sujeito, tem-se o estudo individual;</p> <p>Quando se estuda uma população, a partir de fontes secundárias, tem-se o estudo ecológico.</p>

6. **Eliminação de elementos estranhos** – deve-se eliminar visuais, texto e áudio estranhos ao conteúdo a ser apresentado, para não sobrecarregar a Memória de Trabalho. No caso da figura 7, o pano de fundo, as imagens coloridas na lateral direita e o menino apontando representam elementos estranhos à apresentação da informação.

Figura 7 – Representação de elementos estranhos ao conteúdo



7. **Eliminação de redundância na apresentação** – deve-se eliminar a redundância nos modos de apresentação do conteúdo (e.g. quando o áudio repete literalmente o texto escrito, ou o texto escrito repete a mesma ideia da figura, isso pode gerar o efeito em questão). As figuras 8 e 9 ilustram a redundância e a não redundância, respectivamente.

Figura 8 – Representação de redundância entre imagem e texto

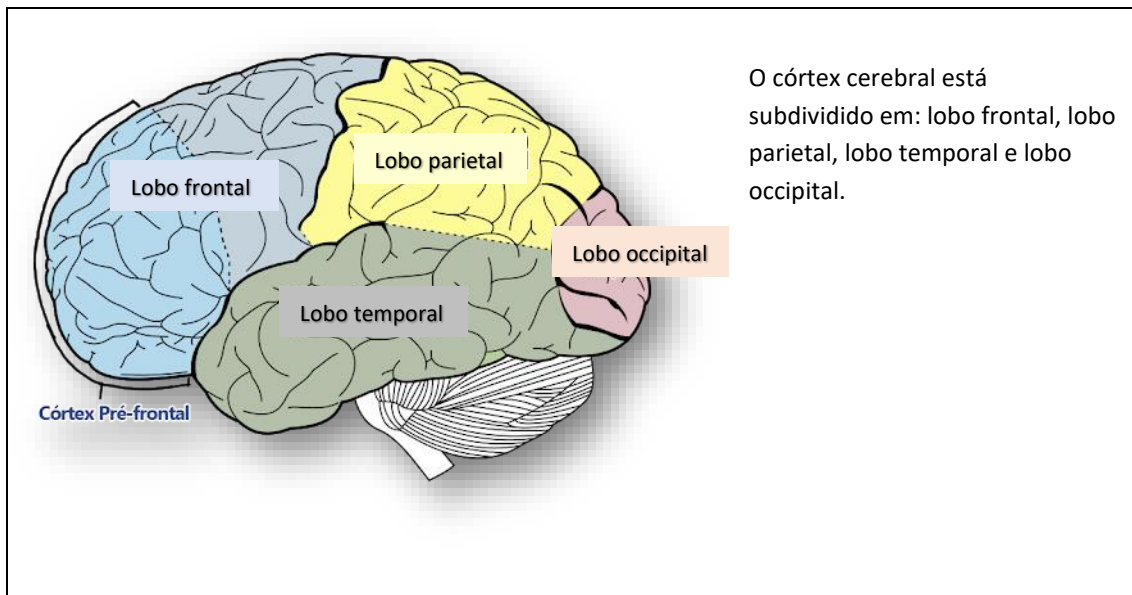
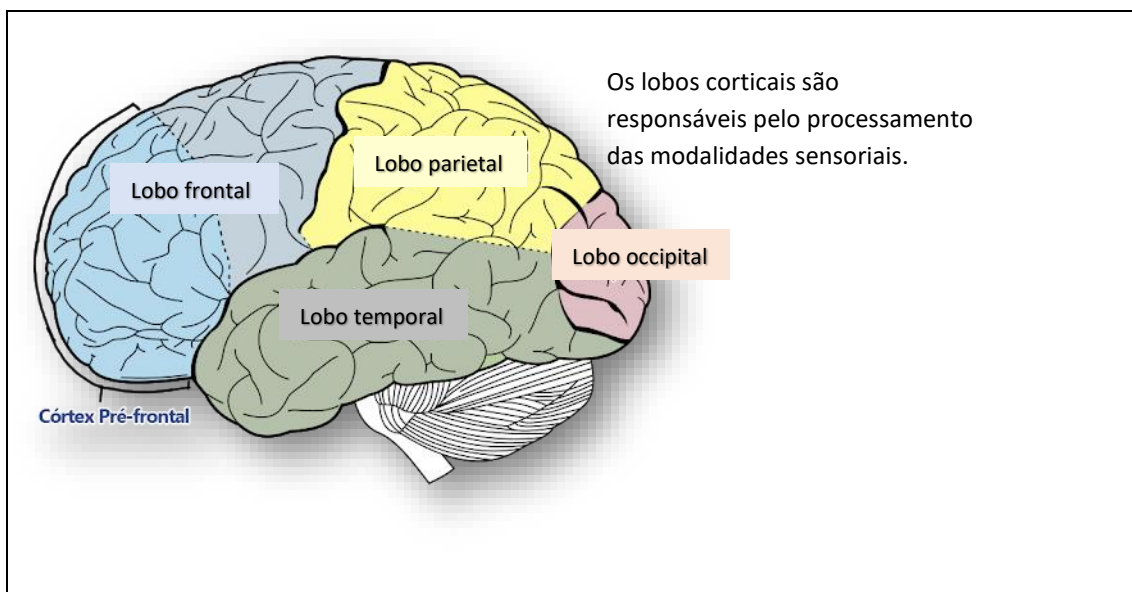


Figura 9 – Representação de não redundância entre imagem e texto



BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

GAUER, J. I. S. **A Educação 4.0 e seus desdobramentos no processo educativo: saberes sobre a educação híbrida e maker.** 2021. 169 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Educação). Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Rondonópolis/MT, 2021.

KANDEL, E. R. *et al.* **Princípios de Neurociências.** 5. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

SOUZA, N. P. C. **Teoria da Carga Cognitiva:** origem, desenvolvimento e diretrizes aplicáveis ao processo ensino-aprendizagem. 2010. 175 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciências e Matemáticas). Universidade Federal do Pará, Belém/PA, 2010.

SWELLER, J. Cognitive load during problem solving: effects on learning. **Cognitive Science**, 1988: 257-285.

SWELLER, J.; CHANDLER, P. Why some material is difficult to learn? **Cognition and Instruction**, 1994: 185-233.

SZULEWSKI *et al.* From theory to practice: the application of Cognitive Load Theory to the practice of medicine. **Academic Medicine**, Vol. 96, No. 1 / January, 2021.