

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM PSICOLOGIA - MESTRADO**

**LUCIENE BANDEIRA RODRIGUES DE MELO**

**MEMÓRIA DE TRABALHO E FUNÇÃO EXECUTIVA – UMA PROPOSTA DE  
DIÁLOGO ENTRE DOIS MODELOS TEÓRICOS**

**JUIZ DE FORA  
2011**

LUCIENE BANDEIRA RODRIGUES DE MELO

**MEMÓRIA DE TRABALHO E FUNÇÃO EXECUTIVA – UMA PROPOSTA DE  
DIÁLOGO ENTRE DOIS MODELOS TEÓRICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Psicologia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Psicologia por Luciene Bandeira Rodrigues d Melo.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mourão Júnior

JUIZ DE FORA  
2011

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Rodrigues de Melo, Luciene Bandeira .  
Memória de Trabalho e Função Executiva : Uma proposta de diálogo entre dois modelos teóricos / Luciene Bandeira Rodrigues de Melo. -- 2011.  
78 f. : il.

Orientador: Carlos Alberto Mourão-Júnior  
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Psicologia, 2011.

1. Função Executiva. 2. Memória de Trabalho. 3. Fuster, Joaquim. 4. Beddeley, Allan. I. Mourão-Júnior, Carlos Alberto, orient. II. Título.

LUCIENE BANDEIRA RODRIGUES DE MELO

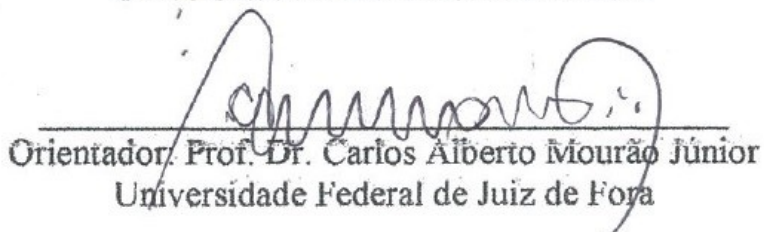
**MEMÓRIA DE TRABALHO E FUNÇÃO EXECUTIVA – UMA PROPOSTA DE  
DIÁLOGO ENTRE DOIS MODELOS TEÓRICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Psicologia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Psicologia.

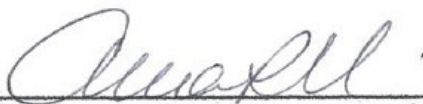
Dissertação defendida e aprovada em dezoito de fevereiro de dois mil e onze, pela banca constituída por:



Presidente: Prof. Dr. Lelio Moura Lourenço  
Universidade Federal de Juiz de Fora



Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mourão Júnior  
Universidade Federal de Juiz de Fora



Membro Titular: Profa. Dra. Ana Regina Noto Faria  
UNIFESP

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, sem o qual nada posso ou sou e de quem veio a ajuda sem a qual jamais teria conseguido.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Mourão Júnior, orientador e amigo, que me acolheu sem reservas e prejulgamentos, acreditou e soube ver em mim (uma pedra bruta) o brilho que estava escondido, sempre me incentivando a ir um pouco mais longe.

Aos Professores Drs. Lélío Moura Lourenço e Ana Regina Noto, por gentil e prontamente aceitarem o convite de participar da minha banca. E também aos Profs. Drs. Saulo e Kelly que gentilmente participaram da minha qualificação e por suas críticas tão construtivas.

Ao meu amado esposo Carlos Magno, por me ajudar no dia a dia e por ter estado sempre ao meu lado no começo tão doloroso de todo esse processo não me deixando desistir.

Aos amigos de sempre: Val, Nara, Rei e Du, que me ajudaram a não me esquecer de me divertir e à minha amiga irmã Ana Paula, por isso também, mas por estar sempre disponível, para me ouvir e ler o que eu escrevia.

Ao meu pai, mãe e irmãs por acreditarem em mim e em especial ao Josué (meu irmão) e sua esposa Roberta, por me acolherem sempre que precisei.

A todos os professores, alunos e pessoas envolvidas com o Programa de Pós-Graduação em Psicologia da UFJF.

E mais uma vez... ao que duvidaram...

*"Porque o Senhor dá a sabedoria; da sua boca é que vem o conhecimento e o entendimento. (...) Pois quando a sabedoria for agradável à tua alma, o bom siso te guardará e a inteligência te conservará; para te afastar do mau caminho (...)"*

(Provérbios: 2, 6-11)

## RESUMO

A classificação de função executiva, que corresponde a um sistema gerenciador que tem como atributo organizar uma sequência de ações a fim de atingir um objetivo, tem sido amplamente estudada por dois conceituados autores, quais sejam, Joaquin Fuster e Alan Baddeley. O objetivo deste trabalho teórico é propor uma fusão entre as ideias destes dois neurocientistas. Fuster postulou que a função executiva opera por meio de redes neurais interativas e sobrepostas (*cógnitos*), distribuídas nos córtices de associação (principalmente o córtex pré-frontal), que alimentam o ciclo percepção-ação, constituindo assim as unidades básicas do processamento executivo. As atividades de ordenação dos *cógnitos* e programação temporal das ações em novas e complexas sequências de comportamento se dá por meio da integração de estímulos externos (sensoriais) e estímulos internos (memórias), tornando possível a integração temporal de ações para o cumprimento de metas. Fuster divide a função executiva de integração temporal do córtex pré-frontal em três sub-funções cognitivas: *ajuste preparatório*, *controle inibitório* e *memória de trabalho*. Baddeley, por outro lado, propôs o modelo multicomponente para a memória de trabalho (MT) que é composto por um *executivo central*, uma *alça fonológica*, um *esboço visuoespacial* e um *buffer episódico*. Sendo a atenção um pré-requisito para o armazenamento temporário de uma informação, Baddeley propôs que a MT depende de um sistema atencional de supervisão, o *executivo central*. Contudo, é possível que o executivo central seja análogo à função de controle inibitório proposta por Fuster, não se caracterizando como um elemento de memória, uma vez que ele não armazena nenhum tipo de informação. Assim, propomos uma nova classificação da função executiva que engloba os modelos de Fuster e de Baddeley. Desta forma, a função executiva (caracterizada pela função de integração temporal), ficaria subdividida em: controle inibitório, ajuste preparatório e memória de trabalho. E a memória de trabalho (que integra a função executiva) seria composta pela alça fonológica, o esboço visuoespacial e o buffer episódico.

Palavras-chave: Função executiva. Memória de trabalho. Fuster. Baddeley.

## ABSTRACT

The classification of the executive function, which corresponds to a system manager that has the attribute organize a sequence of actions to achieve a goals, has been widely studied by two respected authors, namely, Joaquim Fuster and Alan Baddeley. The objective of this theoretical work is to propose a merger between the ideas of through interactive and overlapping neural networks (learning), distributed in association cortices (especially the prefrontal cortex) that fuel the perception-action and thus constitute the basic units of processing executive. The activities of ordering occurs through the integration of external stimuli (sensory) and internal stimuli (memories), making possible the temporal integration of actions to accomplish goals. Fuster divides the executive function of temporal integration of the prefrontal cortex into three sub-cognitive functions: setting preparatory, inhibitory control and working memory (WM) which consists of a central executive, a phonological loop, a visuospatial sketch and an episodic buffer. Attention being a prerequisite for the temporary storage of information, Baddeley proposed that WM depends on a supervisory attentional system, the executive central. However, it is possible that the central executive function is analogous to the inhibitory control proposed by Fuster, be characterized as a memory element, since it does not store any kind of information. Therefore, we propose a new classification of executive function which includes models Fuster and Baddeley. Thus, the executive function (characterized by the function of integration time), would be subdivided into inhibitory control, set preparatory and working memory. And the working memory (which includes the executive function) would be made by phonological loop, visuospatial sketch and the episodic buffer.

Keywords: Executive function. Working memory. Fuster. Baddeley



**LISTA DE ABREVIATURAS**

AF: Alça Fonológica

AP: Ajuste Preparatório

BE: Buffer Episódico

CI: Controle Inibitório

CPF: Córtex Pré-frontal

CVN: Contingente de Variação Negativa

DA: Doença de Alzheimer

EV: Esboço Visuoespacial

FE: Função (ões) Executiva (s)

MT: Memória de Trabalho

PP: Potencial de Prontidão

RF: Fissura Rolândica

SAS: Sistema Ativador de Supervisão

SN: Sistema Nervoso

SNC: Sistema Nervoso Central

SNP: Sistema Nervoso Periférico

TDA: Transtorno do Déficit de Atenção

WCST: Wisconsin Card sorting test

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema mostrando estrutura de um neurônio

Figura 2: Divisão física do córtex cerebral, destacados em azul os lobos corticais

Figura 3: Esquema mostrando a divisão funcional do córtex cerebral

Figura 4: Esquema geral da organização hierárquica dos cognitos no córtex cerebral lateral do hemisfério esquerdo

Figura 5: Fluxo de cortical e subcortical de conectividade e processamento no ciclo percepção ação

Figura 6: Esquema mostrando o atual modelo multicomponente da memória de trabalho

Figura 7: Esquema representando a trilogia que compõe a função executiva (integração temporal)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2</b>	<b>CONHECENDO A LINGUAGEM DO CÉREBRO</b> .....	16
2.1	DO NEURONIO AO CEREBRO.....	16
2.1.1	Estrutura e funções neuronais .....	16
2.1.2	O cérebro humano .....	19
2.2	O CÓRTEX CEREBRAL .....	21
2.2.1	O córtex pré-frontal .....	25
<b>3</b>	<b>A RELAÇÃO ENTRE O BIOLÓGICO E O AMBIENTE</b> .....	30
3.1	APRENDIZADO E MEMÓRIA .....	33
<b>4</b>	<b>FUNÇÃO EXECUTIVA, CÓRTEX PRÉ-FRONTAL E A INTEGRAÇÃO TEMPORAL</b> .....	37
4.1	AJUSTE PREPARATÓRIO .....	42
4.2	CONTROLE INIBITÓRIO .....	43
4.3	MEMÓRIA DE TRABALHO .....	46
<b>5</b>	<b>MODELO MULTICOMPONENTE DE MEMÓRIA DE TRABALHO</b> .....	47
5.1	ALÇA FONOLÓGICA .....	49
5.2	O ESBOÇO VISUOESPACIAL .....	51
5.3	O EXECUTIVO CENTRAL .....	54
5.4	O BUFFER EPISÓDICO .....	59
<b>6</b>	<b>UMA PROPOSTA DE DIÁLOGO ENTRE OS DOIS MODELOS</b> .....	64
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	69
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	71

## 1 INTRODUÇÃO

As teorias que investigam a natureza e o desenvolvimento cognitivo humano podem ser divididas em quatro grandes principais abordagens, são elas: o paradigma piagetiano; a perspectiva neopiagetiana; a abordagem do processamento da informação e o paradigma contextual. Outras abordagens começam a ganhar destaque, como a abordagem do conhecimento baseado em teorias e a abordagem biológico maturacional (Flavell, Miller e Miller, 1999), que se sustenta na neurociência cognitiva.

Por neurociências entende-se o conjunto de disciplinas que tomam o funcionamento do sistema nervoso como objeto de estudo (Romanelli, 2003) podendo abordar aspectos mais anatômicos ou estruturais, ou mais fisiológicos e neuroquímicos, ou, ainda, as relações entre as organizações cerebrais e as funções cognitivas, entre outras ênfases (Rotta, 2006). Entre as várias disciplinas que compõem as neurociências, encontram-se a Neurologia, a Neuropsicologia e diferentes ciências básicas, como a Neurobiologia e a Neuroquímica (Corso, 2009).

O estudo das relações entre as organizações cerebrais e os processos psicológicos correspondentes caracteriza o objeto de estudo da Neuropsicologia (Romanelli, 2003), que toma para tal aproximação, os modelos de cognição formulados dentro do quadro da Psicologia Cognitiva (Corso, 2009).

A psicologia cognitiva estuda como as pessoas percebem, aprendem, recordam, pensam e processam informações provenientes do meio interno ou do ambiente. O termo cognição designa o conjunto de atos e processos envolvidos no conhecimento racional ou empírico. A cognição abarca o conjunto de mecanismos pelos quais um sujeito adquire, conserva, evoca, processa, e utiliza as informações.

Assim sendo, o termo cognição é na verdade bastante genérico, abrangendo funções psicológicas como percepção, aprendizagem, memória, inteligência, representação simbólica e linguagem. Os processos neurais responsáveis pela cognição atuam ao mesmo tempo organizando e modulando as informações e desempenhando um papel causal em relação aos comportamentos, que seriam sua expressão ou manifestação (Richelle, 2001).

A neuropsicologia, como dito anteriormente, é um campo do conhecimento interessado em estabelecer as relações existentes entre o funcionamento cerebral, as funções cognitivas e o comportamento. A relação entre o cérebro e o comportamento vem sendo investigada ao longo da história, havendo referências desta possível relação entre pensadores que viveram antes de Cristo, passando por Alcmaeon na Grécia antiga, Hipócrates, Galton, Broca e Wernicke, todos de alguma forma procuraram localizar regiões do cérebro responsáveis por funções específicas (Luria, 1973). Já os psicólogos Lashley e Hebb, dentre muitos outros, propuseram que o cérebro funcionaria de forma integrada, atuando como um todo, e não por meio de áreas anatômicas localizadas (Sternberg, 2010). A partir do século XX, a neurologia e a psicologia foram aproximando seus métodos de pesquisa (apesar de seu objeto de pesquisa ser fundamentalmente distinto), e os avanços tecnológicos impulsionaram o estudo detalhado das funções cerebrais e sua interface com o comportamento.

A neuropsicologia do desenvolvimento é uma disciplina científica que estuda o desenvolvimento normal e patológico do funcionamento neurobiológico, neurocognitivo e neurocomportamental ao longo do ciclo da vida (Smidts, 2003) e têm-se destacado no auxílio ao diagnóstico e ao tratamento precoce de alterações, inatas ou adquiridas, do desenvolvimento cerebral cognitivo e comportamental. Na

prática clínica, a avaliação neuropsicológica é indicada para casos em que existam a suspeita da presença de déficits e/ou de comprometimentos cognitivos ou comportamentais, de possível origem neurológica. Tal estratégia é utilizada para realizar o diagnóstico diferencial entre os distúrbios globais do desenvolvimento, as disfunções cerebrais específicas e os distúrbios de aprendizagem, dentre outros. Sua importância vai além dos aspectos do diagnóstico, pois, ao traçar o perfil evolutivo do distúrbio, a avaliação contribui para uma melhor delimitação do prognóstico e auxilia na escolha das estratégias mais eficazes no processo de reabilitação, agindo ainda como fator protetor ao prevenir disfunções cognitivas e comportamentais secundárias advindas de restrições educacionais, ocupacionais e familiares injustificadas (Lefèvre, 2004).

De acordo com Pennington (1997), dentre as múltiplas funções cognitivas a serem avaliadas, as funções linguísticas do hemisfério esquerdo – principalmente as funções envolvidas no processamento fonológico – e as *funções executivas* (FE) do córtex pré-frontal (planejamento, manutenção de *set*, predisposições, atenção seletiva, inibição, iniciação de comportamentos cognitivos e sociais) merecem uma atenção especial. O autor justifica tal cuidado pelo fato de a linguagem e as FE apresentam uma maior vulnerabilidade aos distúrbios do desenvolvimento, o que se deve ao fato de os lobos pré-frontais serem as estruturas cerebrais de evolução mais recente na espécie humana, sendo, portanto, mais suscetíveis a variações genéticas e ambientais.

Neste trabalho, será utilizado o termo função executiva no singular, para evitar confusões e ambiguidades conceituais. Naturalmente existem diversas funções executivas, como existem diversas formas de memória, diversas formas de linguagem ou de atenção, apesar dessas funções cognitivas normalmente serem

tratadas no singular. Por esse motivo, será adotado ao longo do texto o termo função (e não funções) executiva.

A função executiva do cérebro vem sendo definida como um conjunto de habilidades, que de forma integrada, possibilitam ao indivíduo direcionar comportamentos a objetivos, realizando ações voluntárias. Tais ações são auto-organizadas mediante a avaliação de sua adequação e eficiência em relação ao objetivo pretendido, de modo a abandonar aquelas estratégias ineficazes por outras mais eficientes, resolvendo assim, problemas imediatos, e/ou de médio e longo prazo (Santos, 2004; Capovilla, Assef, & Cozza, 2007; Malloy-Diniz, Sedo, Fuentes, & Leite, 2008).

Assim, o conhecimento acerca do que se trata a FE e das estruturas cerebrais e processos cognitivos a ela relacionados é de suma importância para psicólogos e demais profissionais envolvidos com o desenvolvimento humano. Cabe ressaltar que o desenvolvimento saudável da FE está relacionado ao desenvolvimento das habilidades sociais e acadêmicas (Blair, Zelazo, & Greenberg, 2005) e um prejuízo neste desenvolvimento pode trazer impacto ecológico negativo na vida do indivíduo.

Partindo destas premissas, o presente trabalho pretende levantar uma discussão teórica baseada em dois modelos, quais sejam: a) o modelo de função executiva de integração temporal do neurocientista Joaquim Fuster, b) o modelo multicomponente de memória de trabalho do psicólogo Allan Baddeley. O objetivo desta discussão é apontar e esclarecer uma possível confusão teórica em torno dos termos função executiva e memória de trabalho, comumente tomados como sinônimos. Não há aqui a pretensão de esgotar a discussão e sim iniciar o questionamento. O conteúdo transmitido aos inúmeros alunos de graduação que

procuram os cursos de Psicologia deve ser constantemente reavaliado e questões conceituais não devem ser encaradas como questões fechadas. A proposta aqui não definir qual modelo é o mais correto, mas promover a integração de dois modelos reconhecidos.

Para tanto, nos capítulos que se seguem serão abordados aspectos relativos ao desenvolvimento e funcionamento dos lobos frontais e do córtex pré-frontal, na sequência a função executiva do cérebro será detalhada segundo a visão de Fuster e em seguida será apresentado o modelo multicomponente de memória de trabalho de Baddeley. Esclarecidos os conceitos e detalhados os referidos modelos, será apresentada uma proposta integradora daqueles modelos, com a devida argumentação que fundamenta a proposta. Por fim, serão apresentadas algumas considerações finais.



## 2. CONHECENDO A LINGUAGEM DO CÉREBRO

Para melhor compreender tudo o que será tratado adiante, é válido fazer um breve apanhado de alguns termos do contexto mais biológico, ao qual comumente o profissional “*psi*” não está muito habituado.

### 2.1 DO NEURONIO AO CEREBRO

Para começar, é importante conhecer o funcionamento do sistema nervoso (SN), começando pela estrutura e função das células que o compõem.

#### 2.1.1 Estrutura e funções neuronais

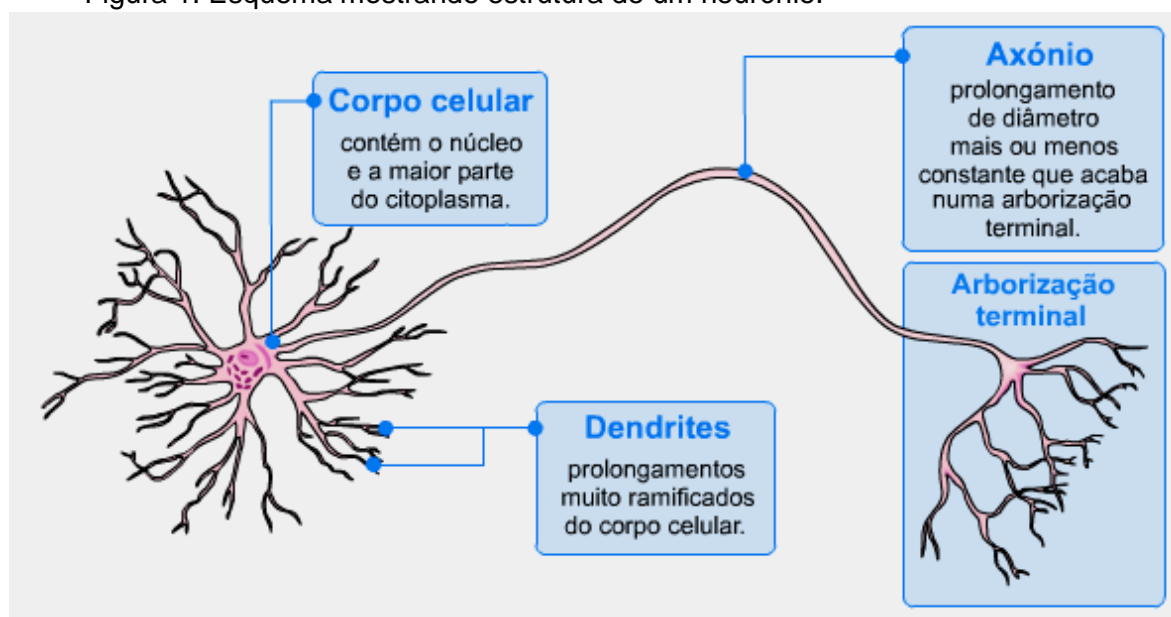
Os neurônios são as células neurais individuais, que transmitem sinais elétricos de um local para outro no SN. A maior concentração de neurônios ocorre no neocórtex do cérebro, que é a parte associada à cognição complexa. Os neurônios variam em sua estrutura (Fig. 1), mas quase sempre possuem quatro partes básicas: corpo celular (ou soma), dendritos, um axônio e feixes terminais.

O soma contém o núcleo celular e é responsável pela vida do neurônio, além de ligar os dendritos ao axônio. Os dendritos são inúmeras estruturas ramificadas que recebem informações de outros neurônios integrando-as ao soma. O axônio simples é um longo e fino tubo que se estende (e as vezes se divide) do soma e que reage à informação, quando apropriado, transmitindo um sinal eletroquímico que viaja até o final onde o sinal pode ser transmitido a outros neurônios. Os axônios podem ser de dois tipos: revestidos por mielina ou não.

A mielina é uma substância branca e gordurosa que ao envolver axônios mais longos os isola e protege de interferências elétricas de outros neurônios na área, acelerando a condução da informação. A distribuição da mielina não é uniforme ao longo do axônio, mas segmentada por pequenos intervalos no revestimento do axônio (Nódulos de Ranvier) que atuam no aumento da velocidade da condução do sinal eletroquímico. Os axônios que não são revestidos por mielina normalmente são menores e mais curtos, bem como mais lentos (Sternberg, 2010).

Os feixes terminais são pequenas formações arredondadas situadas no final das ramificações de um axônio e que não tocam diretamente os dendritos do neurônio próximo a ele, havendo ali um espaço muito pequeno denominado sinapse. A sinapse funciona como um ponto de contato entre os feixes terminais de um ou mais neurônios e os dendritos (e por vezes, o soma) de um ou mais neurônios vizinhos. A transmissão de sinal entre neurônios ocorre quando os feixes terminais liberam um ou mais transmissores na sinapse. Esses neurotransmissores funcionam como mensageiros químicos para transmissão de informação pelo intervalo da sinapse aos dendritos receptores do próximo neurônio (Sternberg, 2010).

Figura 1: Esquema mostrando estrutura de um neurônio.



Fonte: <http://www.netxplica.com/manual.virtual>

Em todas as etapas do desenvolvimento cognitivo há um processo de recepção e troca com o meio, em última análise, esta troca é um processo neuronal, que envolve neurônios sensitivos, motores e de associação. Os neurônios existentes no sistema nervoso central (SNC) são classificados como: a) *neurônio aferente* (ou sensitivo), que recebe as informações; b) *neurônio eferente* (ou motor), que envia as informações ao meio externo; c) *neurônio de associação*, que fica no interior do SNC e representa o maior contingente de células (Riesgo, 2006).

Os neurônios são assim, células excitáveis que se comunicam entre si e com outras células efetadoras (como células musculares e secretoras). A comunicação interneural é basicamente elétrica, ou seja, por meio da modificação do potencial da membrana. Há dois tipos de neurotransmissão: a elétrica e a química. Elas atuam praticamente ao mesmo tempo, mas há diferenças: a elétrica está mais relacionada ao desenvolvimento neuropsicomotor, enquanto a química está mais ligada ao aprendizado em si. De certo modo, há uma ontogenia no tipo de transmissão, sendo a elétrica mais antiga, que é bidirecional e é muito importante do ponto de vista neuromaturacional. A neurotransmissão química é mais recente, é unidirecional, e envolve vários eventos e diferentes neurotransmissores. Contudo, a neurotransmissão mais comum entre os neurônios é mista (eletroquímica) (Mourão-Júnior e Abramov, 2010). Há também um trânsito intraneural, em que ocorre troca de informações entre o núcleo e o citoplasma do neurônio (Riesgo, 2006).

Existem sinapses entre neurônios e entre neurônios e outros tecidos. Na sinapse, a comunicação depende da liberação de substâncias químicas, os neurotransmissores. As conexões entre os neurônios podem se dar em série ou em paralelo, havendo também conexões não-fixas. O uso faz aumentar o número de conexões, enquanto o desuso faz diminuir a quantidade de botões sinápticos

(Riesgo, 2006; Mourão-Júnior e Abramov, 2010). O conceito de sinapse está muito ligado ao conceito de *engrama* - que em Fisiologia, significa uma marca definitiva, deixada no tecido nervoso por um estímulo, enquanto em Psiquiatria, significa uma impressão duradoura deixada na mente a partir de uma experiência física – caracterizando-se como uma modificação estrutural do sistema nervoso, decorrente da sinapse. O engrama poderia localizar-se no neurônio ou nos circuitos formados pelas conexões entre os neurônios (Ohlweiler, 2006).

Uma vez apresentado o funcionamento celular do cérebro, um breve apanhado das estruturas do cérebro será apresentado.

### 2.1.2. O cérebro humano

O cérebro humano pode ser subdividido em três grandes regiões principais: o prosencéfalo, o mesencéfalo e o rombencéfalo. Tais termos referem-se à organização física destas partes no sistema nervoso do embrião em desenvolvimento, tendo seu posicionamento alterado no cérebro adulto totalmente desenvolvido (Sternberg, 2010).

O rombencéfalo, parte mais posterior do cérebro, compreende o bulbo, ou medula oblongada, a ponte e o cerebelo. A medula oblongada controla a atividade cardíaca e grande parte da respiração, deglutição e digestão, além de ser a região onde se cruzam os nervos do lado direito do corpo indo para o lado esquerdo do cérebro e os nervos do lado esquerdo do corpo indo para o lado direito do cérebro, mantendo o ser humano vivo. A ponte, contém fibras neurais que transmitem sinais de uma parte a outra do cérebro e contém nervos que servem parte da cabeça e do rosto. O cerebelo controla a coordenação corporal, o equilíbrio

e o tônus muscular além de alguns aspectos da memória relacionados aos movimentos (Sternberg, 2010).

O mesencéfalo auxilia no controle e na coordenação dos movimentos dos olhos, tendo maior importância funcional para os animais não-mamíferos, uma vez que se torna a principal fonte de controle de informação visual e auditiva dos mesmos. Nos mamíferos, tais funções são dominadas pelo prosencéfalo. Neste caso, a principal função do mesencéfalo é o sistema de ativação reticular, ou formação reticular, que é uma rede de neurônios essenciais à regulação da consciência (sono, vigília, excitação e, em alguns casos, atenção e funções vitais como batimentos cardíacos e respiração). A formação reticular se estende para o rombencéfalo e para o prosencéfalo, juntamente com o tálamo, é essencial para que se tenha consciência e controle sobre a própria existência (Sternberg, 2010).

O prosencéfalo é a região do cérebro localizada mais ao topo e à frente do cérebro e compreende o córtex cerebral, os gânglios basais, o sistema límbico, o tálamo e o hipotálamo. O córtex cerebral é a camada mais externa dos hemisférios cerebrais e desempenha papel fundamental em todas as funções cognitivas. Por esta razão será apresentado e discutido posteriormente.

Os gânglios basais são conjuntos de neurônios fundamentais para a função motora e sua disfunção pode resultar em déficits como tremores, movimentos involuntários, alterações posturais e no tônus muscular (rigidez) além de lentidão dos movimentos. O sistema límbico é importante para a emoção, motivação, memória e aprendizagem. Por ter o sistema límbico mais desenvolvido que outros animais, o ser humano é capaz de adaptar seu comportamento com mais flexibilidade em resposta às mudanças no ambiente. Compõem o sistema límbico três estruturas cerebrais centrais interligadas: a amígdala, o septo e o hipocampo. A

amígdala está ligada à percepção e regulação das emoções, especialmente raiva e agressividade. O septo está ligado a reações de raiva e medo. O hipocampo cumpre papel fundamental na formação da memória, tal papel ainda não está totalmente esclarecido, mas há a hipótese de que ele possa fornecer um mapa cognitivo de classes que representa o espaço que um organismo necessita para navegar. Outra hipótese é de que ele seja fundamental para o aprendizado flexível e para a percepção das relações entre os itens aprendidos. O tálamo transmite informação sensorial que chega por meio de neurônios que se projetam até a região apropriada do córtex. A maior parte dos dados sensoriais que chega ao cérebro passa pelo tálamo, que se localiza aproximadamente no centro do cérebro, mais ou menos ao nível dos olhos (junto ao mesencéfalo). Ajuda no controle do sono e do despertar e quando não funciona bem pode ocasionar dores, tremor, amnésia, dificuldades de fala e perturbações de sono e despertar. O hipotálamo regula o comportamento relacionado à sobrevivência das espécies, ou seja, lutar, alimentar-se, fugir e acasalar. Também regula emoções e reações de estresse e interage com o sistema límbico. Localizado na base do prosencéfalo, abaixo do tálamo, também tem papel importante no sono e sua disfunção pode levar a narcolepsia (Sternberg, 2010).

## 2.2 O CÓRTEX CEREBRAL

O córtex cerebral forma uma camada de 1 a 3 milímetros que envolve a superfície do cérebro. A superfície do córtex é formada por corpos de células neurais que processam toda a informação que o cérebro recebe e envia, apresentando aparência cinzenta. Nos humanos, as inúmeras circunvoluções, ou vincos, são compostas por três elementos distintos: os sulcos (pequenas rugas), as fissuras

(rugas grandes) e os giros (elevações entre os sulcos e as fissuras adjacentes). Oitenta por cento (80%) do cérebro humano é composto pelo córtex. É o córtex que possibilita ao homem pensar, planejar, coordenar pensamentos e ações, perceber padrões visuais e sonoros e utilizar linguagens (Sternberg, 2010). Sem ele, não seríamos humanos!

Por questões práticas, o córtex é subdividido em quatro partes denominadas lobos (Fig. 2), que são unidades distintas com funções específicas nomeados segundo os ossos que os separam (Sternberg, 2010). São eles os lobos: frontal, parietal, temporal e occipital.

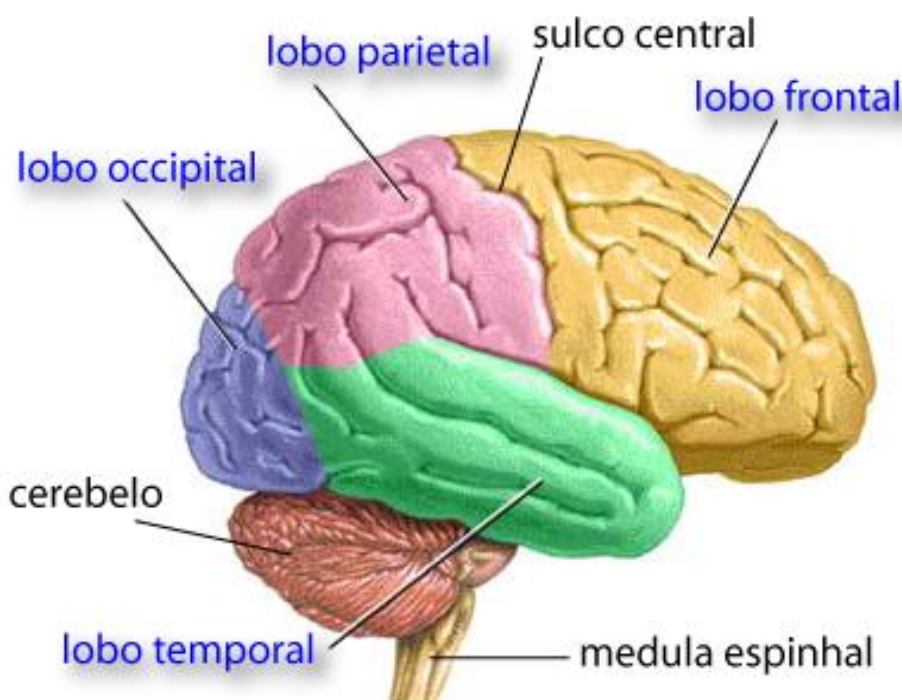


Figura 2: Divisão física do córtex cerebral, destacados em azul os lobos corticais.

Fonte: <http://blog.clickgratis.com.br/sosbiologia/>

O lobo frontal situado à frente do cérebro está associado com o processamento motor e com o processamento superior do pensamento, como o raciocínio, a resolução de problemas o planejamento e o julgamento e parece ser

ativado sempre que sequencias de ações ou pensamentos são solicitadas.

O lobo parietal situado na porção superior e posterior do cérebro está associado com o processamento somatossensorial recebendo dos neurônios informações relativas a toque, dor, sensação de temperatura e à posição dos membros na percepção do espaço em relação ao próprio corpo. Relaciona-se ainda com a consciência e a atenção.

O lobo temporal situado acima das têmporas está associado ao processamento auditivo e à compreensão da linguagem, e a retenção das mensagens visuais. Além disso relaciona informações visuais novas com aquelas que já estão retidas na memória visual.

O lobo occipital situado na parte posterior do cérebro está associado ao processamento visual e contém diversas áreas visuais, cada uma especializada em analisar aspectos distintos de uma cena tais como cor, movimento, localização e forma.

Sob o ponto de vista funcional, divide-se o córtex em áreas primárias, secundárias e terciárias. Pode-se fazer referência a essa mesma divisão denominando as diferentes áreas como áreas de projeção – aquelas que estão diretamente ligadas à sensibilidade ou à motricidade, e que correspondem às áreas primárias – ou de associação. Estas últimas podem ser de associação unimodal, que correspondem às áreas secundárias, ou heteromodal, estas correspondendo às áreas terciárias. As áreas de associação unimodais (secundárias) são assim denominadas por estarem envolvidas no processamento do mesmo tipo de informação que as áreas primárias, embora em nível hierárquico diferente. Estão envolvidas no processamento da informação e em seu armazenamento. Recebem fibras das áreas primárias sensitivas e enviam fibras para a área motora primária.



Levam informações específicas para o sistema límbico, o córtex pré-frontal, as regiões envolvidas com a linguagem, o córtex temporal, o córtex parietal e o córtex occipital (Corso, 2009). As áreas heteromodais (terciárias) por outro lado, não estão diretamente relacionadas nem com a motricidade nem com a sensibilidade, mas encarregam-se de prover endereços ou mapas que inter-relacionam os fragmentos de conhecimento que são específicos das diferentes modalidades, que assim podem tornar-se coerentes em termos de experiências, memórias e pensamentos. Essas áreas, portanto, não armazenam informações, mas permitem o acesso a elas, que estão distribuídas em outras regiões (Cosenza, 2004).

A referida denominação das áreas corticais em primárias, secundárias e terciárias parece ser apropriada também no sentido de descrever a ordem com que as informações chegam a elas. Cosenza (2004) explica que, no córtex primário somatossensorial, as informações fluem das áreas primárias para as secundárias e finalmente para a área terciária (pré-frontal), localizada na confluência temporoparietal. No córtex motor primário, o fluxo é invertido, indo da área terciária (pré-frontal) para as áreas secundárias e finalmente para a área primária (motora).

O córtex cerebral pode ainda ser dividido em diferentes módulos conhecidos como Áreas de Brodmann. No homem há 52 áreas mapeadas, por exemplo, a área 4 corresponde ao córtex motor primário e a área 17 ao córtex visual primário. A figura abaixo (Fig. 3), é um exemplo deste tipo de classificação e traz também a identificação das áreas primárias, secundárias e terciárias anteriormente mencionadas.

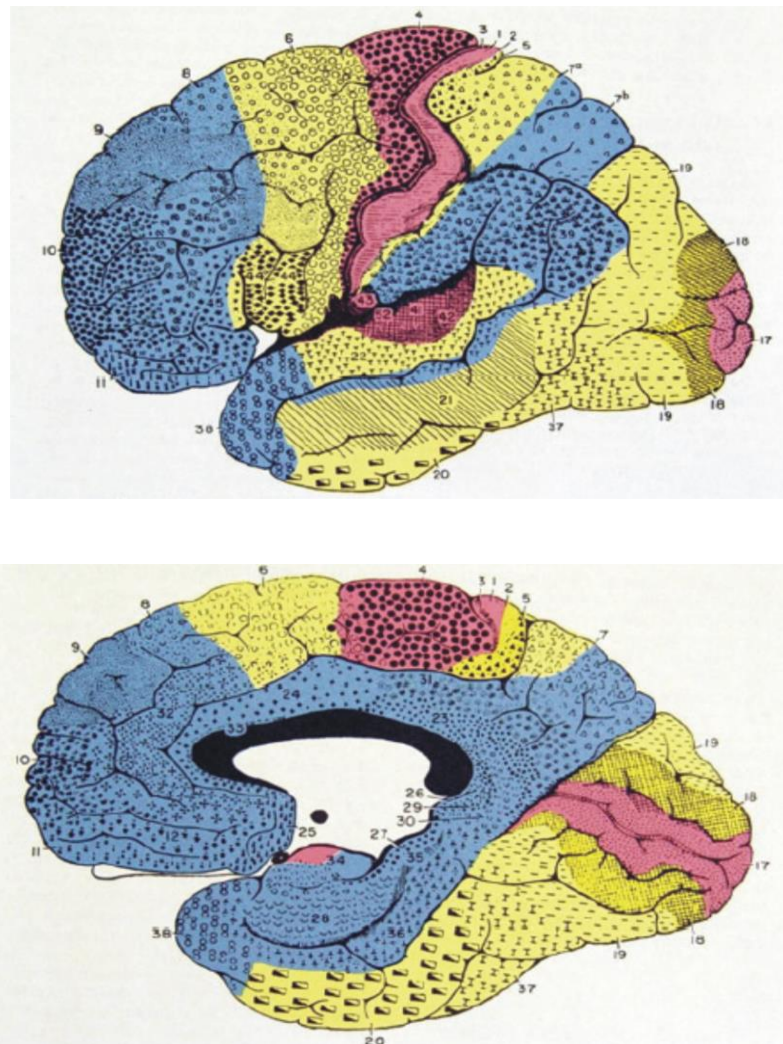


Figura 3 – Esquema mostrando a divisão funcional do córtex cerebral. Face dorsolateral do hemisfério cerebral (acima) e faces medial e inferior (abaixo). As regiões citoarquitetônicas de Brodmann são delimitadas por números e símbolos diferentes. Em cor rosa: as áreas corticais primárias; em cor amarela: áreas corticais secundárias; em cor azul: áreas de associação terciária.  
Fonte: Corso, 2009.

### 2.2.1 O córtex pré-frontal

Na filogenia assim como na ontogenia, o córtex de associação do lobo frontal, também conhecido como córtex pré-frontal, é uma região de

desenvolvimento tardio do neocórtex. É também uma das regiões corticais a sofrer a maior expansão no curso da evolução como do amadurecimento individual (Fuster, 2002).

Os primeiros estudos de neurologia continham descrições elaboradas das funções desempenhadas por várias partes do cérebro, contudo, pouco se sabia acerca dos lobos frontais. Muito tempo se passou até que os neurocientistas pudessem atentar para a importância dos lobos frontais para a cognição. O cérebro é formado por componentes distintos que desempenham diferentes funções, contudo, os lobos frontais não são dotados da especificidade de apresentar uma função única, prontamente classificável. Assim, por muito tempo, foram considerados “lobos silenciosos”. (Goldberg, 2002). Mas, em 1848, o acidente com o jovem Phineas Gage, que teve a cabeça atravessada por uma barra de ferro em uma explosão, da qual sobreviveu, permanecendo lúcido nas horas que se seguiram ao acidente, trouxe ‘voz’ aos lobos silenciosos. Embora a barra de ferro tenha atravessado a parte anterior do cérebro, o jovem Gage podia tocar, ouvir, sentir, movimentar língua e membros, mas sua personalidade havia se perdido, incapaz de se adaptar às normas, nunca mais foi o mesmo (Damásio, 1996). A história de Gage trouxe luz ao entendimento da fisiologia do lobo frontal ao sugerir que:

“... existiam sistemas no cérebro humano mais dedicados do que quaisquer outros, e em particular, às dimensões pessoais e sociais do raciocínio. A observância de convenções sociais e regras éticas previamente adquiridas poderia ser perdida como resultado de uma lesão cerebral, mesmo quando nem o intelecto de base nem a linguagem mostravam estar comprometidos [...] algo no cérebro estava envolvido especialmente em propriedades humanas únicas e que entre elas se encontrava a capacidade de antecipar o futuro e de elaborar planos de acordo com essa antecipação no contexto de um ambiente social complexo; o sentido de responsabilidade perante si próprio e perante os outros; a

capacidade de orquestrar deliberadamente sua própria sobrevivência sob o comando do livre-arbítrio”. (Damásio, 1996, pp.30-31).

Tais funções, podem parecer mais metacognição do que propriamente cognição, uma vez que não se referem a nenhuma habilidade mental (função cognitiva) específica, mas certamente oferecem uma organização abrangente a todas as outras. Por esta razão, a função dos lobos frontais é chamada função executiva. Especificamente o *córtex pré-frontal* – região filogeneticamente mais moderna do cérebro humano, que compreende as regiões do lobo frontal anteriores ao córtex motor primário – desempenha um papel essencial na formação de metas e objetivos e no planejamento de estratégias de ação necessárias para a consecução destes objetivos, selecionando as habilidades cognitivas requeridas para a implementação dos planos, coordenando-as para aplicá-las na ordem correta (Fuster, 2008). Além disso, o córtex pré-frontal é responsável pela avaliação do sucesso ou fracasso daquelas ações em relação aos objetivos estabelecidos. (Goldberg, 2002).

Nos primatas, humanos ou não, o córtex pré-frontal é anatomicamente dividido em três regiões: *lateral*, *medial* e *orbital*. Cada região é subdividida em diferentes áreas da citoarquitetura pré-frontal, numeradas em mapas, como o de Brodmann. Contudo, não é possível atribuir eventuais funções fisiológicas para tais áreas, exceto a área 8 que é, em grande parte, dedicada ao controle do movimento ocular. Assim, uma vez que não pode ser funcionalmente subdividido em sua citoarquitetura, admite-se que o córtex pré-frontal realiza, como um todo, seu papel na organização do comportamento, na linguística e nas ações cognitivas.

Uma análise psicológica e fisiológica do funcionamento das três regiões produz a seguinte distribuição topográfica das funções cognitivas: as três

regiões pré-frontais estão envolvidas em um ou outro aspecto da atenção; a região *medial* e o *cíngulo anterior* estão envolvidos na movimentação e motivação; a região *lateral* no ajuste preparatório e memória de trabalho, e a região *orbital* (e, de certa forma, também a *medial*) no controle inibitório de impulsos e interferências (Fuster, 2002).

O córtex frontal é excepcionalmente bem conectado a outras estruturas cerebrais, corticais e subcorticais, e suas três regiões são mutuamente conectadas entre si e com os núcleos anterior e dorsal do tálamo. As regiões medial e orbital, adicionalmente, são conectadas ao hipotálamo e outras estruturas límbicas, algumas dessas ligações são indiretas através do tálamo. A região lateral envia conexões aos núcleos da base (estriado), além de ser profusamente conectada às regiões de associação do córtex occipital, temporal e parietal. O papel funcional preciso destas ligações do córtex pré-frontal não é totalmente conhecido, mas podem ser inferidas a partir do papel funcional das estruturas às quais se liga. As conexões pré-frontal/límbicas estão envolvidas no controle do comportamento emocional, ao passo que as ligações pré-frontal/estriatal estão envolvidas na coordenação do comportamento motor.

Sabe-se que o cérebro humano tem aproximadamente 86 bilhões de neurônios que formam um sistema composto de redes neurais de alta complexidade. Cada um destes neurônios recebe terminações de 10.000 a 100.000 neurônios diferentes, porém emite um único axônio, que se ramifica em média dez a vinte vezes. Ou seja, o neurônio recebe muitas informações, mas retransmite bem menos do que recebe, demonstrando a alta capacidade de processamento e filtragem de informação que tem o corpo celular de uma célula nervosa (Mourão-Júnior e Abramov, 2010). É devido à essa enorme complexidade, que para estudar o cérebro

humano, é necessário subdividi-lo em muitas partes, embora entenda-se que ele funcione como um todo no que se refere à cognição e à conduta do indivíduo.

Todas as condutas humanas, sejam elas explícitas ou implícitas, são possibilitadas por essas conexões neurais. Contudo, só os neurônios não são suficientes para explicar tais condutas. A experiência de cada um parece unir as dimensões social e biológica. Todo o processo de troca entre o organismo e o ambiente envolve o SNC, que compreende o cérebro e a medula, e o Sistema Nervoso Periférico (SNP), que inclui os nervos espinais e os nervos cranianos. A principal função do SNP é transmitir a informação entre o SNC e os nervos que se localizam fora deste, tais como os dos órgãos sensoriais externos (como pele, ouvido, olhos) e de partes internas do corpo (como estômago e músculos) (Sternberg, 2008).

Os seres humanos têm a capacidade biológica (natureza) de construir e comunicar para os outros aquilo que aprenderam no âmbito social (ambiente, cultura). E é dessa relação que trataremos agora.

### 3. A RELAÇÃO ENTRE O BIOLÓGICO E O AMBIENTE

Os estudos e as pesquisas sobre o sistema nervoso têm origens muito antigas, remontando à civilização egípcia, em que há relatos de casos neurológicos descritos pelos escribas da época (Romanelli, 2003), e à Grécia Antiga, com a medicina de Hipócrates (Rezende, 2001). O estudo científico do cérebro, contudo, se iniciaria com os estudos de Broca (1861) e Wernicke (1874), que, respectivamente, demonstraram as áreas responsáveis pela função expressiva e perceptiva da fala (Bastos, 2006). Ao longo do século XX, muitas descobertas sobre o funcionamento do sistema nervoso ocorreram, em todos os níveis (anatômico, histológico, celular, bioquímico). Os métodos de estudo do cérebro certamente determinaram a quantidade e precisão das informações encontradas em cada época. Durante muito tempo só se dispunha dos estudos post-mortem (dissecação) e da pesquisa “in vivo” com animais (Sternberg, 2008), panorama que começou a mudar quando o registro da atividade elétrica do cérebro se tornou possível através do desenvolvimento do eletroencefalograma, nas primeiras décadas do século XX (Low, 2006). O grande avanço no conhecimento do sistema nervoso veio recentemente com o desenvolvimento das técnicas de imagem (estática e metabólica), permitindo o exame das estruturas e dos processos cerebrais, inaugurando a denominada “década do cérebro” (última década do século XX), que apoiou-se em grande parte no desenvolvimento de poderosos aparelhos de sofisticada tecnologia (Romanelli, 2003; Sternberg, 2010).

A principal contribuição desta década recai sobre a constatação da noção de plasticidade cerebral, ou seja, diferente do que se pensava até alguns anos atrás devido à crença em um SN imutável, sabe-se hoje que o cérebro tem

muito mais capacidade de sofrer modificações do que se supunha.

A plasticidade é a capacidade de se acomodar aos estímulos (agentes externos capazes de transformar o indivíduo) do meio, encaixando-se neles. Diferente da elasticidade, onde o corpo volta ao estado anterior quando cessa o estímulo, na plasticidade, cessado o estímulo, a transformação persiste por um certo tempo (Mourão-Júnior e Abramov, 2010).

Mas a noção de plasticidade neural, embora não muito mencionada anteriormente, não era exatamente uma novidade. Já, em 1890, no capítulo dedicado ao 'Hábito' em *The Principles of Psychology*, William James observava que o hábito era produzido pela plasticidade cerebral ao mencionar que os hábitos deixariam marcas, sulcos, na estrutura neural dos indivíduos. James (1952) dizia que a nossa experiência deixa *marcas no cérebro*. O achado do filósofo americano foi comprovado empiricamente por Graham Brown e Charles Sherrington (1912) ao descobrirem, em pesquisas com macacos, que as representações corticais dos movimentos não são inatas e refletem a história do uso do sistema motor. Trabalhos como os de Franz (1915) e de Lashey (1923) contribuíram para que, por volta de 1950, já existisse um corpo de evidência razoável para que o córtex cerebral fosse visto de forma dinâmica, remodelado continuamente pela experiência (Ortega, 2009), tornando viável o surgimento da *Teoria da plasticidade neural* do psicólogo canadense Donald Hebb (1949).

A teoria da plasticidade neuronal (Hebb,1949) foi demonstrada experimentalmente por Erick Kandel (2000). Hebb dizia que a transmissão de informações entre dois neurônios deveria ser facilitada e tornar-se estável quando ocorresse uma sincronia entre os disparos do primeiro e do segundo neurônio. Assim, os circuitos neurais seriam como um conjunto vias alternativas, que ao se



comunicarem formariam uma rede. Plasticidade pode então ser entendida como uma propriedade do sistema nervoso que permite o desenvolvimento de alterações estruturais em resposta à experiência, como adaptação ao ambiente, tornando possíveis capacidades e comportamentos (o que convergem com a noção de interação sujeito-objeto) e resultando em construção de conhecimento (Corso, 2009).

As modificações sinápticas não se restringem a algum período específico do desenvolvimento (como os chamados períodos críticos de plasticidade) mas ocorrem em todos os momentos em que há aprendizagem (Kandel, 2000). O cérebro adulto se adapta constantemente aos estímulos e essa plasticidade não se manifesta apenas em comportamentos de aprendizagem e memória, que indicam a base biológica da individualidade. Tais mudanças dinâmicas são visíveis no processamento do SN e podem ser estudadas de forma mais consistente no principal local que envolve a troca de informações no cérebro: a sinapse (Oliva, Dias e Reis, 2009).

Assim, da mesma forma que ocorre nos fenômenos físicos, um estímulo do meio provocará uma reação do indivíduo (terceira lei de Newton: ação e reação), o que irá promover uma mudança no seu sistema nervoso, que poderá ser temporária ou duradoura. As mudanças temporárias ocorrem nas sinapses, fazendo com que os circuitos mais usados fiquem mais facilitados. Já as modificações definitivas incluem a síntese de novos axônios (aumentando a teia de comunicação entre os neurônios), ou a formação de novas espinhas dendríticas (estruturas minúsculas localizadas nos dendritos das sinapses excitatórias), que são as regiões que recebem os inputs dos neurônios que chegam ao corpo celular. A formação das espinhas dendríticas é extremamente dinâmica, pois elas evoluem e envolvem

continuamente conforme a pressão do ambiente ocorra. Este contínuo remodelamento das espinhas dendríticas é fundamental para o processo de aprendizado. O SN é deste modo, um conjunto de redes neurais dinâmicas capazes de mudar, adaptar e reagir a diferentes estímulos (Mourão-Júnior e Abramov, 2010).

A reabilitação de pessoas que sofreram dano no SN e que tiveram comprometimento de alguma de suas funções se torna possível pela plasticidade neural. Por meio de fisioterapia, fonoaudiologia, e reabilitação cognitiva entre outras técnicas, tais pessoas conseguem acessar informações então inacessíveis por caminhos diferentes, por meio de uma reorganização da rede neural. Através da reabilitação, ocorre uma redistribuição do fluxo de informação, assim, ao se estimular as sinapses disponíveis elas se tornam mais fortes, confirmando a hipótese de Hebb de que a função faz o neurônio (Mourão-Júnior e Abramov, 2010). A reabilitação é como uma reaprendizagem, mas o que se aprende não são novos conteúdos de informação, mas novos caminhos para acessar a informação que já é conhecida.

Abordaremos agora rapidamente alguns aspectos relacionados a aprendizado e memória do ponto de vista neurobiológico.

### 3.1 APRENDIZADO E MEMÓRIA

Segundo Romanelli (2003), de um ponto de vista neuropsicológico, o resultado da recepção e troca de informações entre o meio ambiente e diferentes centros nervosos: seria a aprendizagem, uma vez que o ato de aprender exige sempre um estímulo externo – informação (ou seja, qualquer entidade

potencialmente capaz de produzir transformações) – que é captado pelos órgãos dos sentidos habilitados a transformar esse estímulo de natureza físico-química em impulso nervoso de natureza fisiológica. O impulso (em que foi transformado o estímulo externo pelos órgãos dos sentidos) chega até a área do córtex cerebral correspondente ao sentido estimulado. Desta forma, o estímulo visual termina no lobo occipital; o auditivo, no lobo temporal; o tátil, no lobo parietal.

A sensação se forma, portanto, nas áreas onde estão projetados os estímulos, as chamadas áreas de projeção, ou primárias. Entretanto, com as sensações não há ainda elaboração de significado, que decorre da percepção, desencadeada com a ativação das áreas secundárias, de modo a formar uma percepção mais global. Neurônios associativos fazem a ligação das áreas primárias com as secundárias, onde vai acontecer a percepção, que consiste na formação de imagens sensoriais correspondentes ao estímulo. Trata-se de imagens com significado. Das áreas secundárias, a informação passa às áreas terciárias ou de integração, onde ocorre a integração de todos os aspectos do estímulo (Romanelli, 2003).

Para que uma informação possa atuar em nós é necessário que ela provoque transformações no SN, ou seja, precisa ser adquirida, consolidada, armazenada e posteriormente evocada. A aquisição da informação se dá por meio das estruturas sensoriais que traduzem a energia do estímulo transformando-a em potencial de ação. A consolidação é o processo que determina qual informação será armazenada ou não, e é condicionada pela motivação, a qual é determinada por circuitos emocionais como o hipotálamo. Se a informação for armazenada, várias alterações bioquímicas ocorrerão em suas sinapses para tornar facilitados os circuitos neurais relacionados àquela informação, formando os chamados traços

bioquímicos de memória, ou *engramas*. O processo de consolidação ocorre principalmente no hipocampo. Uma vez consolidada, a informação passa a ser armazenada, formando as memórias. A armazenagem ocorre em regiões difusas do córtex cerebral. A evocação envolve a organização dos traços de memória em uma sequência de tempo (*integração temporal*) e ocorre principalmente no córtex pré-frontal por um fenômeno denominado *memória de trabalho* (Mourão-Júnior e Abramov, 2010). Tais aspectos relativos à evocação da informação serão melhor discutidos posteriormente no capítulo dedicado à memória de trabalho.

É importante notar que o estímulo recebido pelo cérebro pode ser externo ou interno, podendo ter origem na própria atividade cerebral (memória, imaginação...). Assim, nem toda imagem decorre da percepção de um estímulo externo (Romanelli, 2003). Quando chega ao SNC uma informação conhecida, ela gera uma lembrança, que nada mais é do que uma memória; quando chega ao SNC uma informação inteiramente nova, ela nada evoca, e sim produz uma mudança – isso é aprendizado, do ponto de vista estritamente neurobiológico (Riesgo, 2006). Vê-se que os achados neurocientíficos mostram como aprendizagem e memória são eventos praticamente indissociáveis. Só se pode dizer que houve aprendizagem se uma informação tiver sido adquirida, consolidada, armazenada e puder ser evocada. O armazenamento das informações refere-se especificamente à memória, e esta poderia ser considerada um “subconjunto” da aprendizagem (Mourão-Júnior e Abramov, 2010).

A relação do indivíduo com o meio e todas as transformações que esta interação provocam ficam registradas no SN. As circunvoluções corticais são as inscrições cerebrais das experiências do sujeito (Corso, 2009). O cérebro, à época do nascimento, pesa 25% de seu peso adulto, e, se ele multiplica por quatro seu

peso ao longo do desenvolvimento, esse aumento não se relaciona necessariamente com o aparecimento de novos neurônios, mas sobretudo com a formação de sinapses, dendritos e axônios associativos, assim como com o progressivo recobrimento dos neurônios por mielina. Dentro do cérebro, a parte que mais se desenvolve é o córtex cerebral, que chegará a corresponder a 85% do peso total do cérebro (Palácios e Mora, 2004). Portanto, é inegável a relação da formação de sinapses com a formação do córtex cerebral.

Partindo do princípio que a estrutura e o funcionamento do cérebro pode modificar-se até idade bem avançada, e novos neurônios podem ser criados (Schwartz, Begley, 2002; Jones 2000; Weiller, Rijntjes, 1999), toda uma perspectiva de desenvolvimento cognitivo muda, uma vez que a plasticidade pode ser plena a despeito da idade. Um bom exemplo disso são os cientistas que chegam ao ápice de sua produção científica aos 80 anos de idade (Mourão-Júnior e Abramov, 2010).

Para que o ser humano se desenvolva como tal, todo o aparato biológico é necessário, contudo não é suficiente. Para se tornar humano, o indivíduo precisa do contato com o meio e seus semelhantes. Deste modo, a construção da intersubjetividade, a consciência de si e dos outros, o conhecimento social, a capacidade de entender as intenções alheias, entre tantas outras capacidades, só se constituem na interação e pela interação com os outros (Ramachandran, 2004). Não seria possível um ser humano se desenvolver como tal se fosse criado em isolamento social (Rochat & Striano, 1999; Rovee-Collier, 2000). Pode-se dizer, a partir do exposto, que a condição de possibilidade é biológica e a condição material ou a forma específica de nos tornarmos pessoas de um modo particular é modulada pela dimensão social.

#### 4. FUNÇÃO EXECUTIVA, CÓRTEX PRÉ-FRONTAL E A INTEGRAÇÃO TEMPORAL

A função executiva (FE) do cérebro que vem sendo definida como um conjunto de habilidades, que de forma integrada, possibilitam ao indivíduo direcionar comportamentos para objetivos através de realização de ações voluntárias. Tais ações são auto-organizadas a partir da avaliação de sua adequação e eficiência em relação ao objetivo pretendido, levando ao abandono daquelas estratégias ineficazes por outras mais eficientes, de modo a resolver problemas imediatos, e/ou de médio e longo prazo (Santos, 2004; Capovilla, Assef, & Cozza, 2007; Malloy-Diniz, Sedo, Fuentes, & Leite, 2008). A FE é requerida sempre que se faz necessário formular planos de ação ou quando uma sequência de respostas apropriadas deve ser selecionada e esquematizada. Do ponto de vista da neuropsicologia compreende os fenômenos de flexibilidade cognitiva e de tomada de decisões. Assim, o conhecimento acerca do funcionamento desse processo é de grande importância para o entendimento dos aspectos envolvidos no desenvolvimento cognitivo e psicossocial.

Atualmente é sabido que os módulos corticais responsáveis pela FE se localizam nos lobos frontais direito e esquerdo. Fuster (2003) postulou que a FE opera por meio de redes neurais interativas e sobrepostas, distribuídas nos córtices de associação (principalmente o córtex pré-frontal). Essas redes, denominadas *cognitos* (Fig. 4), alimentam o ciclo percepção-ação (Fig. 5), constituindo assim as unidades básicas do processamento executivo.

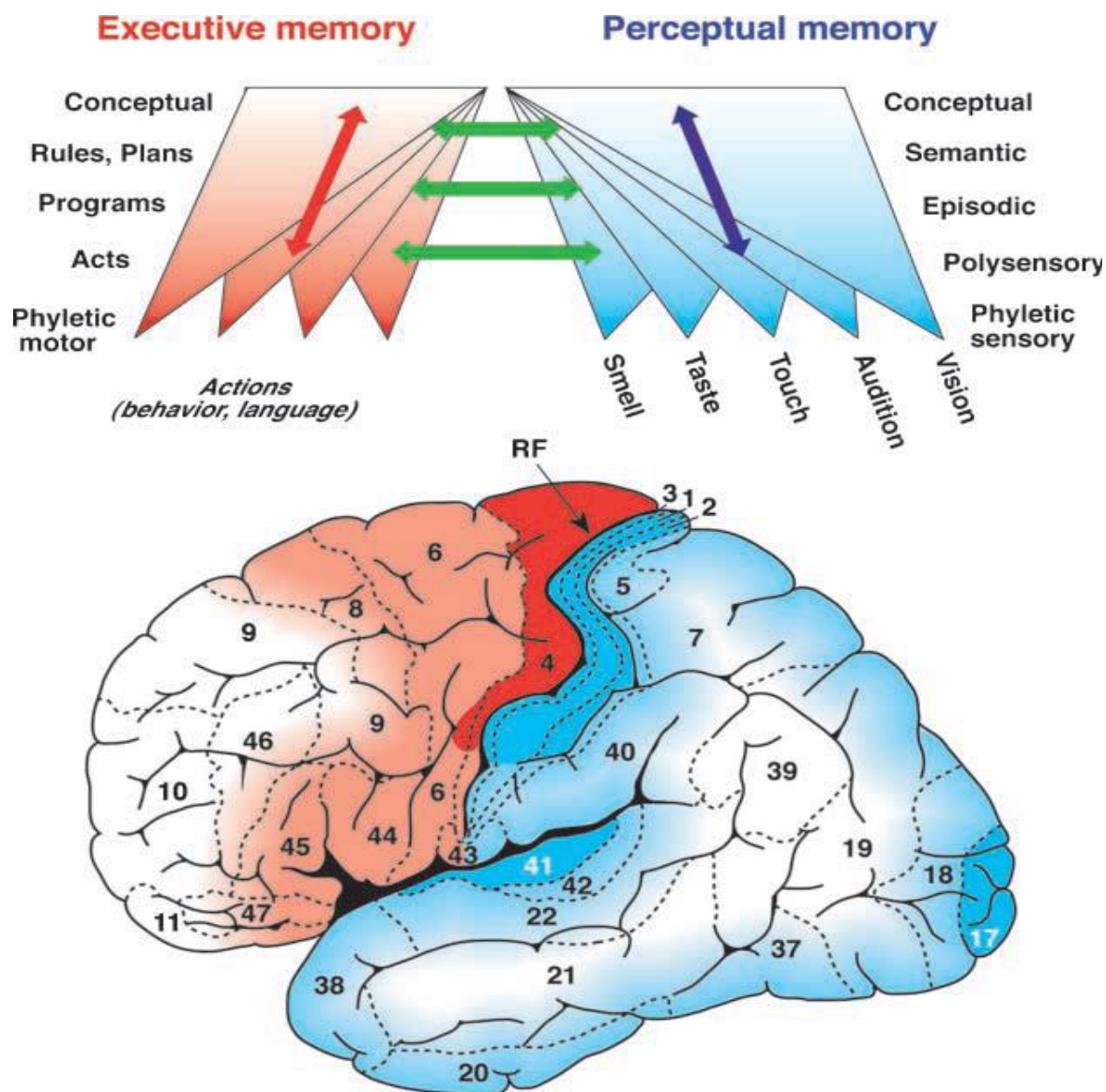


Figura 4. Esquema geral da organização hierárquica dos cognitos no córtex cerebral lateral do hemisfério esquerdo. Figura de baixo: Mapa citoarquitetônico de Brodmann. RF = fissura rolândica. O córtex posterior está gradualmente sombreado de azul para branco das áreas de sensoriais primárias para as áreas de associação, o córtex frontal, sombreado de vermelho para branco do córtex motor primário para CPF. Figura do alto: Gradientes de desenvolvimento e organização cortical de cognitos (mesmo código de cor da figura de baixo). Setas bidirecionais simbolizam: azul, a conectividade perceptual corticocortical; vermelho, conectividade executivo corticocortical; verde, conectividades recíprocas entre o córtex frontal e posterior. Observa-se um aumento de extensão e sobreposição de redes conforme se desenvolvem a partir de baixo para cima (de cone invertido). À medida que crescem para cima na hierarquia, as redes se tornam mais difundidas e representam a memória e conhecimento progressivamente mais abstratos. Fonte: Fuster, 2009.

As conexões recíprocas do córtex pré-frontal lateral com o hipocampo e com o córtex parietal posterior são especialmente importantes para os aspectos cognitivos de todas as formas de comportamento. Por intermédio dessas conexões, torna-se possível a mais importante função do córtex pré-frontal, que é a *integração temporal* de ações para o cumprimento de metas (biológicas ou cognitivas). Este é o papel essencial do córtex pré-frontal no funcionamento mais global do córtex frontal na execução de todas as formas de ação em geral (somáticas, movimento dos olhos, o comportamento emocional, desempenho intelectual, fala, etc.). Aqui o verbo integrar tem o significado de incluir, excluir e organizar elementos em um conjunto, formando um todo coerente. O processo neural de integrar as informações ao longo da linha do tempo é a raiz das ações de ordenação dos *cognitos* e da programação temporal das ações. A organização temporal de novas e complexas sequências de comportamento se dá por meio da integração de estímulos externos (sensoriais) e estímulos internos (memórias), em outras palavras, a integração temporal nada mais é do que o processamento (análise e síntese) dos estímulos que chegam ao cérebro (presente) e das memórias armazenadas (passado). Em virtude de sua especialização na estruturação temporal de novas e complexas séries de ações direcionadas a objetivos (sob a forma de comportamento, fala ou raciocínio), além da participação na escolha entre as alternativas e nas tomadas de decisão, o córtex pré-frontal pode ser considerado o *centro executivo* do cérebro. (Fuster, 2002).

Fuster (2002) ressalta que a organização temporal de novas e complexas sequências comportamentais não é possível sem a integração temporal, ou seja, o comportamento complexo não ocorre sem a integração de estímulos temporalmente distintos, ações e planos de ação em sequências para um comportamento meta dirigido. Este processo de integração, que exige a contínua



mediação de contingências temporais cruzadas, é o papel fisiológico essencial do córtex pré-frontal. Todas as funções cognitivas do córtex, em particular de suas regiões laterais, servem à mediação das contingências intertemporais, e, assim, à integração temporal, de um maneira ou outra.

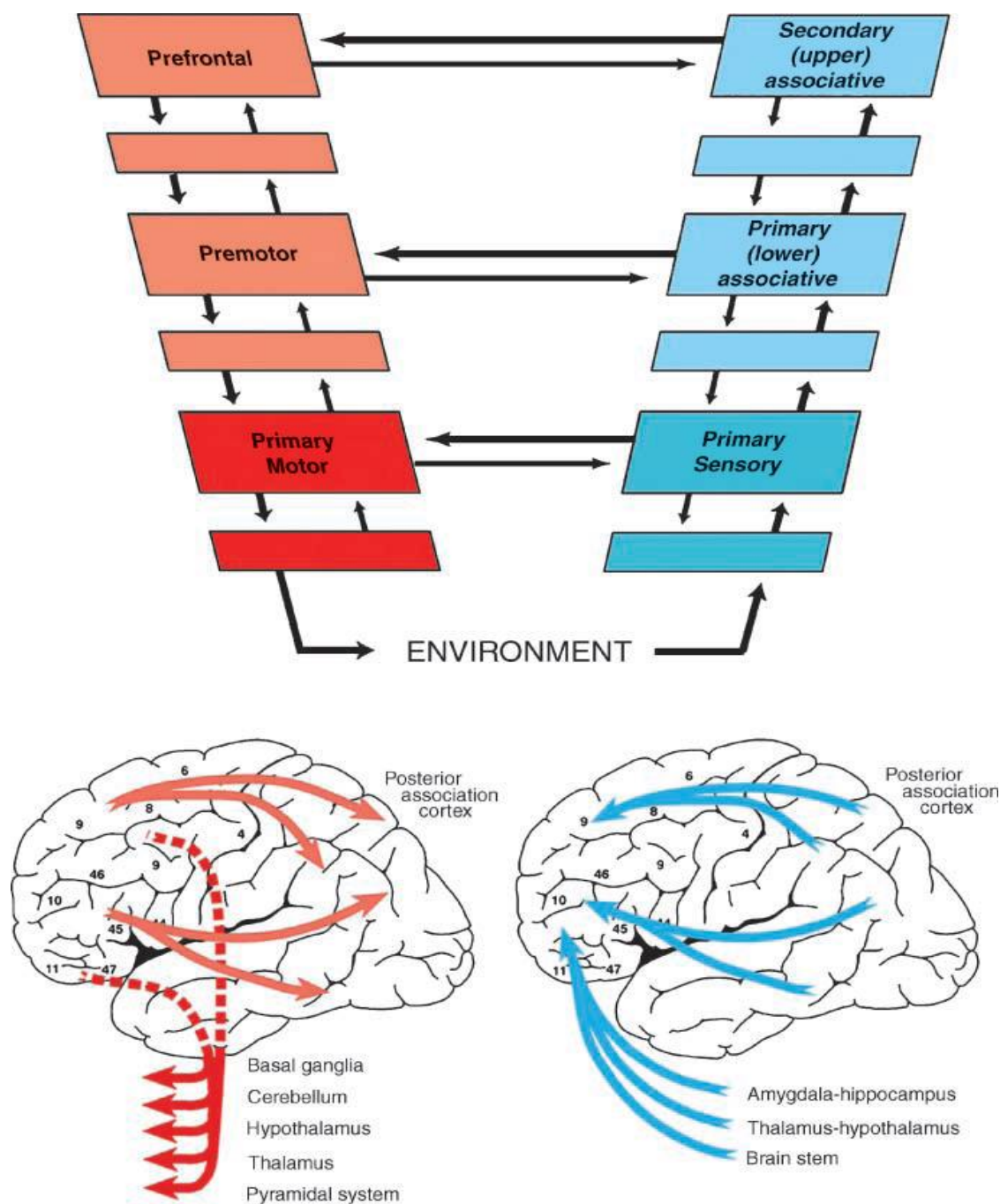


Figura 5. Fluxo de cortical e subcortical de conectividade e processamento no ciclo percepção-ação. Rombóides vazios representam áreas intermediárias ou subáreas de regiões adjacentes rotuladas.  
Fonte: Fuster, 2009.

Para desempenhar esse papel integrativo, o córtex pré-frontal deve ter acesso e/ou estar acessível, a todos os itens de informação sensorial, motora, e mnemônica que dão forma à estrutura do comportamento. Uma maneira de entender o que é essa acessibilidade em termos fisiológicos, é interpretar as populações de neurônios do córtex pré-frontal como componentes celulares de uma ampla distribuição cortical em redes que representam a estrutura do comportamento e das associações entre seus itens constituintes. Isso implica que a execução do comportamento temporalmente estruturado é o resultado da ativação da rede executiva e a ativação tempestiva dos seus componentes neuronais constituintes. Uma vez que a rede tenha sido formada pela experiência da exposição ao ambiente, é razoável esperar que os neurônios do córtex pré-frontal irão responder de forma similar (correlata) aos estímulos que estão associados à contingência de uns com os outros à orientação de uma tarefa temporalmente estruturada. A execução do comportamento temporalmente estruturado seria, deste modo, o resultado da ativação desta “central executiva” e da ativação oportuna dos componentes de suas redes neurais. Fuster (2002) relata um experimento com macacos cuja tarefa exigia a integração temporal de diferentes modalidades de estímulos associados. Os resultados deste experimento indicam que durante o desempenho de uma tarefa de integração temporal, os neurônios no córtex pré-frontal associam estímulos através do tempo e através das modalidades sensoriais, de acordo com as regras de uma tarefa sequencial. A partir deste resultado o autor propõe que aqueles neurônios são parte das redes da memória de longo prazo que ganharam forma pela aprendizagem da tarefa, e que aquelas redes são ativadas durante a tarefa a fim negociar contingências trans temporais entre estímulos sensoriais associados.

Para facilitar a compreensão da função executiva de integração temporal do córtex pré-frontal, ela pode ser subdividida didaticamente em três funções cognitivas: *ajuste preparatório*, *controle inibitório* e *memória de trabalho*. Conforme mencionado anteriormente, as três regiões pré-frontais (lateral, medial e orbital) estão envolvidas em um ou outro aspecto da atenção; a região medial e o cíngulo anterior estão envolvidos na movimentação e motivação; a região lateral no ajuste preparatório e na memória de trabalho, e a região orbital (e, de certa forma, também a medial) no controle inibitório de impulsos e interferências. (Fuster, 2008).

As três funções cognitivas que juntas formam o tripé que sustenta o processo de integração temporal serão discutidas a seguir.

#### 4.1 AJUSTE PREPARATÓRIO

O *ajuste preparatório* é uma função prospectiva (dirigida para o futuro), sediada no córtex pré-frontal lateral, que prepara o organismo para as ações dependentes das informações recebidas. Esta função de ajuste do córtex pré-frontal lateral pode ser substanciada por evidências eletrofisiológicas. Entre um estímulo sensorial e sua consequente resposta motora, potenciais lentos podem ser gravados da superfície do lóbulo frontal no ser humano, os quais são relacionados com a amplitude do tempo de reação e a exatidão da resposta. Deste procedimento pode-se identificar dois tipos de potenciais, embora ambos pareçam ser parte de uma série contínua ao longo de inclinações temporais da superfície frontal. O primeiro é o contingente de variação negativa (CVN), chamado de "onda de expectativa", que é relacionada à necessidade de negociar a contingência trans temporal entre o estímulo e a resposta. O segundo é o potencial de prontidão (PP), relacionado à

preparação de uma ação motora. O CVN tem uma fonte um tanto mais anterior, pré-frontal, que o PP, que parece se originar nos córtices pré-motor e motor. Ambos os potenciais aumentam de valor com o tempo e parecem refletir a atividade crescente de neurônios subjacentes à execução da resposta. Fuster (1997) classifica o ajuste preparatório como o *componente inclusivo* da atenção motora.

Em pacientes com lesão pré-frontal, o déficit na habilidade de planejar uma ação futura parece refletir a falha da função do ajuste preparatório (Fuster, 2003).

#### 4.2. CONTROLE INIBITÓRIO

Uma outra função de caráter integrativo temporal do córtex pré-frontal é o *controle inibitório*, que consiste na capacidade de inibir respostas tendenciosas ou respostas a estímulos distratores, que possam interromper o curso efetivo de uma ação ou a interrupção de uma resposta adequada em curso. Dificuldades relativas ao controle inibitório são, comumente, associadas à impulsividade (Malloy-Diniz & Cols., 2008). Fuster (2002) afirma que experiências de lesões em modelos animais e também a observação clínica indicam que o mecanismo neural para esta função inibitória reside nas porções medial e orbital do córtex pré-frontal. Entretanto, os mecanismos neurofisiológicos do controle inibitório ainda são desconhecidos. O objetivo fisiológico desta função é a supressão de entradas internas (via memória) e externas (via sentidos) que podem interferir na estruturação do comportamento, do discurso, ou da cognição que estão a ponto de serem empreendidos ou que já estejam em curso.

Uma fonte de interferência com a atual ação estruturada consiste em movimentações internas biológicas e impulsos. Pacientes com lesões pré-frontal orbito medial exibem impulsividade excessiva, irritabilidade, hiperatividade, e mau controle dos instintos. A desinibição de instintos e os impulsos têm sua origem no diencéfalo (tálamo e hipotálamo) e tronco cerebral. Eles estão normalmente sob o controle do córtex pré-frontal orbito medial anatomicamente identificados através de saídas eferentes as estruturas subcorticais, principalmente o hipotálamo (Fuster, 2002).

Outra fonte de possível interferência é uma série de influências dos sistemas sensoriais que estão relacionadas com a ação atual e podem dificultar ou levá-lo a perder-se. Estas influências podem chegar ao córtex pré-frontal através das áreas sensoriais do córtex posterior, provavelmente interferindo no curso de ação meta dirigida, são suprimidas pelo controle inibitório do córtex pré-frontal orbito medial sobre essas áreas. Este tipo de controle inibitório do córtex pré-frontal é um componente principal (*componente excludente*) de atenção sensorial. Na ausência dele, os seres humanos e macacos com lesões do córtex orbito frontal apresentam distratibilidade anormal, além de hiperatividade e hiper-reatividade a estímulos sensoriais. A componente de exclusão de atenção sensorial é uma função cognitiva de larga distribuição cortical dedicada à supressão de distração sensorial. A inibição de distração complementa e intensifica o foco do componente da atenção seletiva sensorial. Ambos os componentes são suportados pelas saídas pré-frontal, que exercem controle sobre as funções cognitivas de outras regiões corticais (Desimone & Duncan, 1995). O controle atencional do córtex pré-frontal, com seus efeitos de ambas as orientações seletivas, inibição e exclusão, é essencial para a integridade de uma estrutura complexa de ação meta dirigida (Fuster, 2002).

Uma terceira fonte de interferência é constituída por representações de uma ação motora que são independentes, ou em algum modo incompatíveis com, as ações atualmente em curso ou em processo de estruturação temporal. Incluído entre eles está uma grande variedade de hábitos motores, tendências e impulsos estabelecidos na memória de longo prazo e, portanto, nos circuitos corticais e subcorticais do sistema motor. A supressão dessas influências desfavoráveis do setor motor é a essência do aspecto excludente de atenção do motor (Fuster, 2002).

O controle inibitório do córtex pré-frontal – que poderia de certo modo representar um correlato funcional para o conceito psicanalítico de superego – operando através de seus efeitos seletivos (focalização da figura e a inibição do fundo, como uma Gestalt), é essencial para a integridade do sistema atencional. Um dos indicadores do desenvolvimento psicossocial da criança é justamente o estabelecimento progressivo do controle inibitório sobre os impulsos internos, sobre o sensorio, e sobre a mobilidade. Conforme a criança cresce, os dois componentes principais da atenção – inclusivo e exclusivo – vão amadurecendo gradualmente, e a criança se torna mais capaz de focalizar e de concentrar a atenção nas tarefas em curso, se tornando, paralelamente, menos distratível, menos impulsiva, e mais capaz de exercer seu autocontrole (Mourão-Júnior e Melo, no prelo).

As características mais marcantes do Transtorno do déficit de atenção (TDA) na infância são as dificuldades para foco e concentração, a distração, a impulsividade, e a hiperatividade. Todas essas são manifestações da ausência de controle inibitório eficaz. Devido à evidência de um papel crítico do córtex pré-frontal orbito medial nesta função, tem sido razoavelmente postulado que os transtornos de déficit de atenção no desenvolvimento da criança podem ser atribuíveis à maturação

tardia dessa porção do córtex pré-frontal (Barkley, 1997).

### 4.3 MEMÓRIA DE TRABALHO

Por fim, mas não menos importante, outro mecanismo de caráter integrativo temporal é a *memória de trabalho*. O conceito teórico mais comum de memória de trabalho diz tratar-se de um sistema de capacidade limitada, que mantém e armazena informações temporariamente, de modo a sustentar os processos de pensamento humano, fornecendo uma interface entre percepção, memória de longo prazo e ação. Atualmente o modelo mais conhecido e mais aceito de memória de trabalho é o proposto por Allan Baddeley e é este modelo que passaremos a discutir com mais detalhes no próximo tópico.

## 5. MODELO MULTICOMPONENTE DE MEMÓRIA DE TRABALHO

O conceito de memória de trabalho (MT), talvez seja um dos tópicos que mais provoca confusão e divergências na neurociência em geral, e na neuropsicologia em particular. Um ponto consensual é que a MT é um sistema de memória ultrarrápida (dura poucos segundos) que tem a capacidade de reter uma sequência de 5 a 9 dígitos – o suficiente para gravarmos um número de telefone até efetuarmos a discagem, esquecendo o número logo em seguida. Já com relação à classificação e aos substratos neurais da MT existem opiniões discordantes (Mourão-Júnior e Melo, no prelo).

Na primeira metade do século XIX já se falava em memórias de longa e de curta duração (Hebb, 1949; James, 1952), porém o termo “memória de trabalho” surgiu na década de 1960, no contexto das teorias do processamento da informação. As menções mais antigas a experimentos sobre MT, ainda não assim denominada, podem ser encontradas até a 100 anos atrás, quando foram descritos experimentos do córtex pré-frontal, concluindo que o mesmo era importante para processos cognitivos (Cowan, 2005).

Há muitas abordagens no estudo da MT que se valem de uma série de recursos empíricos e teóricos. Embora haja essa diversidade, a maioria das teorias concorda que a MT se trata de um sistema de atenção de capacidade limitada, complementado por sistemas de armazenamento localizados mais periféricamente (Baddeley, 2003). Neste sentido, Fuster (2002) argumenta que a MT consiste essencialmente na ativação provisória de uma rede cortical extensamente distribuída (cognitos). Seu argumento é baseado na evidência de que, durante a retenção em



curto prazo de informação sensorial para uma ação em perspectiva, neurônios dentro dessas áreas sensoriais do córtex sustentam a ativação. Além disso, a memória de trabalho, para um dado estímulo, pode produzir a ativação neuronal sustentada em diversas áreas do córtex ao mesmo tempo.

Dentre as distintas, mas complementares, abordagens da MT, três se destacam: a) a que dá ênfase ao papel do controle da atenção na memória; b) a que tenta explicá-la nos termos dos modelos originalmente desenvolvidos para o estudo da memória a longo prazo, e c) a que correlaciona as diferenças individuais e os diferentes componentes da MT (Atkinson & Shiffrin, 1971; Ericsson & Kintsch, 1995; Baddeley, 1992). Contudo, o mais avançado modelo proposto em humanos integra todas estas abordagens e as aperfeiçoa, trata-se do *modelo multicomponente* de Baddeley, que se baseia na observação de pacientes que sofreram lesões em diferentes áreas cerebrais e passaram a apresentar déficits em diferentes “nuanças” da MT.

O modelo multicomponente de MT, foi desenvolvido por Baddeley e Hitch (1974; Baddeley, 1986, 2000) como um modelo funcional que introduziu o conceito e inspirou décadas de pesquisas sobre suas capacidades, propriedades e mecanismos. O modelo inicial apresentado por Baddeley e Hitch (1974) propunha a existência de três componentes funcionais da MT (Fig. 6). Um executivo central foi concebido como um sistema de controle da atenção de capacidade limitada que é responsável pela manipulação da informação na memória de trabalho e para o controle de dois sistemas subsidiários (escravos) de armazenamento: uma alça fonológica e um esboço visuoespacial. A alça fonológica foi proposta como sendo responsável pelo armazenamento e manutenção das informações de uma forma fonológica, enquanto que o esboço visuoespacial foi proposto para a conservação e

manutenção de informações visuais e espaciais. Baseado em uma série de achados empíricos, um quarto componente, o *buffer* episódico, foi adicionado posteriormente (Baddeley, 2000). O buffer episódico foi proposto como sendo uma sistema de armazenamento de capacidade limitada capaz de uma codificação multidimensional integrada, e que permite a ligação de informações para criar episódios.

Com a finalidade de apresentar didaticamente o modelo, cada um de seus componentes será melhor detalhado a seguir.

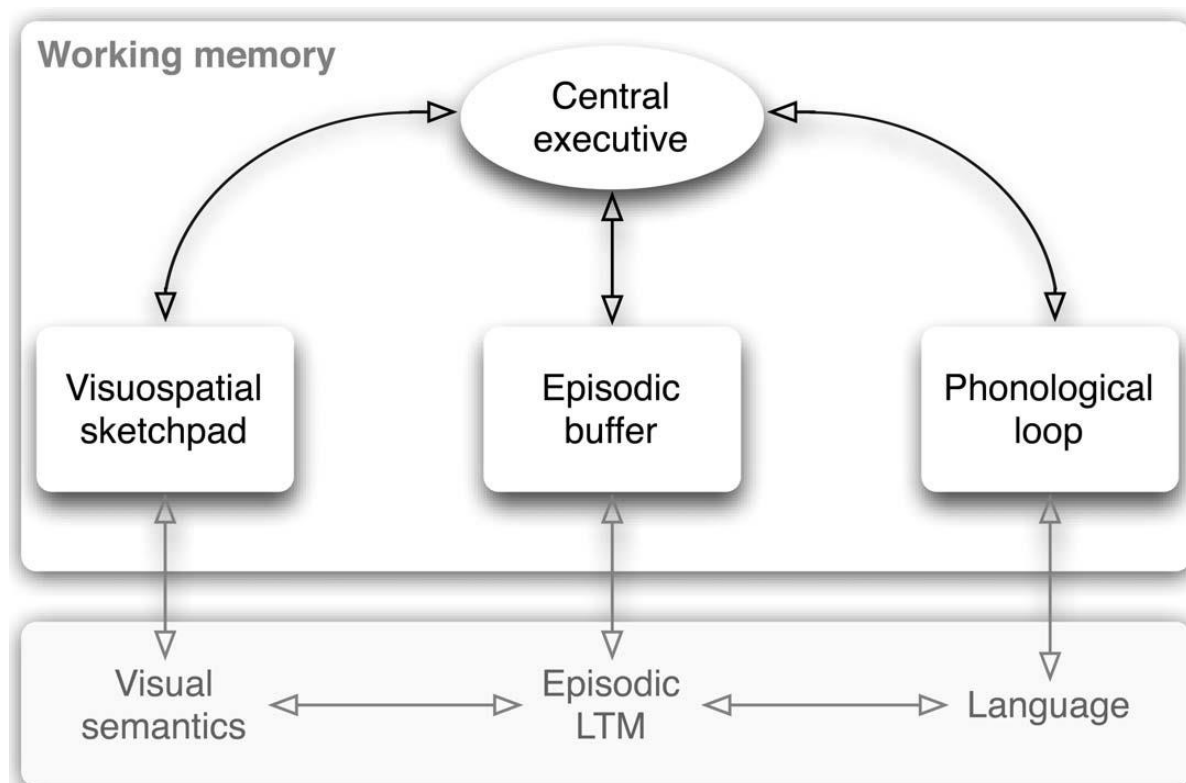


Figura 6. O atual modelo multi-componente da memória de trabalho representa capacidades "fluidas" (como a atenção e armazenamento temporário) que não se alteram com a aprendizagem e suas relações propostas com sistemas cognitivos "cristalizados" capazes de acumular conhecimento a longo prazo.

Fonte: Repovs e Baddeley, 2006.

### 5.1 A ALÇA FONOLÓGICA

A *alça fonológica* possui dois componentes, um armazenador

fonológico, que possui traços de memória em forma acústica ou verbal que desaparecem em poucos segundos, e um processador de ensaio articulatório – alça articulatória – análogo à fala subvocal (Baddeley, 1983). A função do processo de ensaio articulatório é a de recuperar e rearticular o conteúdo localizado no armazenador fonológico e, desta forma, “refrescar a memória” de rastreamento. Além disso, enquanto o estímulo de fala entra no armazenador fonológico, automaticamente, outras modalidades de informações só entram no armazenador fonológico através da recodificação em forma fonológica, processo realizado pela alça articulatória. Como a articulação opera em tempo real, a capacidade de armazenamento fonológico é limitado pelo número de itens que podem ser articulados no tempo disponível antes do seu traço de memória se esvaír. Deste modo, a articulação subvocal em tempo real serve para atualizar os traços de memória em decomposição no interior do armazenador fonológico (Repovs e Baddeley, 2006)

Assim, a alça fonológica armazena informações verbais e acústicas utilizando o armazenamento temporário que se mantém por alguns segundos e recicla essas informações através da alça articulatória. A informação fonética contida no armazenador fonológico (palavras que ficam ressoando na cabeça) perde-se em poucos segundos, a não ser que a alça articulatória a mantenha através de reverberação (repetição subvocal ou então em voz alta). Desta forma, vestígios de memória podem ser recuperados e rearticulados, porém tal memória imediata tem um tempo limitado porque a articulação ocorre em tempo real, ou seja, conforme a número de itens ensaiados aumenta, há um ponto em que o primeiro item se desvanecerá antes que possa ser ensaiado (Mourão-Júnior e Melo, no prelo).

A função da alça fonológica é de fundamental importância para a

coerência do discurso e para a compreensão da fala, pois para compreendermos o enredo de uma história que ouvimos, apesar de não conseguirmos gravar todas as palavras, nosso cérebro grava as 5 ou 6 últimas palavras, para que possamos compreender o encadeamento do que foi dito (Mourão-Júnior e Melo, no prelo).

A alça fonológica foi o primeiro e o mais estudado componente do modelo multicomponente de memória de trabalho. Os pressupostos iniciais do modelo parecem ter resistido à vigorosa ofensiva de ensaios empíricos e mostrou que o modelo podia ser sólido e bem capaz de explicar os fenômenos relacionados a memória de trabalho verbal (Repovs e Baddeley, 2006).

Passaremos agora ao outro sistema subsidiário (escravo) da memória de trabalho, o esboço visuoespacial.

## 5.2 O ESBOÇO VISUOESPACIAL

Enquanto a alça fonológica é especializada em manter informações verbais, o *esboço visuoespacial* é proposto como sendo capaz de manter e manipular informações visuais e espaciais, um processo que é fundamental para a realização de uma ampla gama das funções cognitivas. Embora, inicialmente, toda a investigação tenha sido centrada mais no material verbal da memória de trabalho e, portanto, na alça fonológica, recentemente, vários estudos têm fornecido uma riqueza de resultados interessantes relativos à estrutura funcional e propriedades da memória de trabalho visuoespacial.

Pesquisas mostram que há uma forte evidência de que o armazenamento e a manutenção de componentes visuais e espaciais da memória de trabalho ocorram de forma separada e, sugerem que os processos passivos e

ativos na memória de trabalho visual também são distintos (Oh e Kim, 2004; Woodman et al., 2001; Woodman e Luck, 2004; Mohr e Linden, 2005). Processos passivos são recrutados por tarefas que exigem a retirada das informações no mesmo formato em que foi memorizado, enquanto processos ativos são recrutados por tarefas que exigem que a informação seja modificada, transformada, integrada ou manipulada. No caso dos processos ativos, estudos tem demonstrado que as tarefas de manipulação apresentam-se fortemente dependentes de recursos do executivo central. Assim, a memória de trabalho visuoespacial não é um sistema unitário, mas ainda pode ser dividido em subsistemas espacial e visual, cada um com seus processos de armazenamento, manutenção e de manipulação independentes. Destes, a manutenção parece ser independente dos processos executivos, enquanto a manipulação depende destes (Repovs e Baddeley, 2006).

Tal como seu equivalente verbal, o esboço visuoespacial tem uma limitada capacidade de armazenamento, que se restringe tipicamente a três ou quatro objetos. A memória de trabalho visual é limitada pelo número de objetos, e não pelo número recursos que compõem os objetos a distinguir, essa informação na memória de trabalho visual é mantida sob a forma de objetos integrados. O limite de armazenamento superior a quatro ou cinco itens é atingível apenas por objetos mais simples, como a informação visual aumenta a carga por item, o limite de armazenamento cai substancialmente a níveis mais baixos. O número de objetos retidos depende do número máximo de características distintas que podem ser mantidos dentro de uma dimensão específica. A retenção de objetos integrados é realizada por um mecanismo de ligação em função recursos atencionais limitados. A forma exata da representação e mecanismos de manutenção das características individuais na memória de trabalho visual, por outro lado, ainda é incerta. Baseando-

se nesta capacidade relativamente limitada, a memória de trabalho visual é deste modo, voltada para efetivamente representar as características mais relevantes do mundo visual. Enquanto a memória de trabalho visual está estreitamente relacionado com a percepção e imagens visuais, memória de trabalho espacial mostra conexão mais próxima com atenção e ação. A natureza exata da relação ainda não está estabelecida, mas as evidências encontradas sugerem que a memória de trabalho espacial reparte importantes recursos com atenção espacial e controle oculomotor (Repovs e Baddeley, 2006).

Por analogia com o papel da alça fonológica na aquisição de linguagem, parece plausível supor que o esboço visuoespacial pode ter um papel na aquisição conhecimento semântico referente à aparência dos objetos e de como usá-los, e para a compreensão de sistemas complexos tais como máquinas, bem como para a orientação espacial e o conhecimento geográfico. Além disso, o esboço visuoespacial é indispensável à leitura, pois apesar de não “fotografarmos” na memória todas as palavras que lemos em um texto, para compreendê-lo de forma coerente é necessário que o cérebro retenha as 4 ou 5 últimas palavras lidas (Mourão-Júnior e Melo, no prelo)

Repovs e Baddeley (2006) destacam que os resultados empíricos recentes parecem ter ultrapassado o modelo teórico. A extensão do modelo original de Baddeley e Hitch (1974) proposta por Logie (1995) separando o esboço visuoespacial de uma forma que é análoga a alça fonológica, em um alça visual passiva e uma alça espacial dinâmica interna não foi capaz de dar conta de todos os dados. O modelo teórico claramente precisa ser mais elaborado. Os autores apontam duas possíveis e promissoras direções de desenvolvimento ao modelo que parecem estar relacionados por um lado a um modelo de integração de recursos de

atenção visual (Treisman, 1993) e por outro a um modelo de imagens visuais (Kosslyn, 1994). Repovs e Baddeley (2006) destacam ainda que uma tarefa importante para um futuro modelo multicomponente é distinguir claramente entre representações realizadas no esboço visuoespacial e detidos no buffer episódico. Isto é especialmente relevante no caso de imagens visuais, que integram a informação visual de várias fontes, incluindo a memória de longo prazo, uma tarefa para a qual o buffer episódico parece ser mais adequado.

Uma vez apresentados os dois sistemas subsidiários, passaremos agora ao terceiro componente do modelo inicial: o executivo central

### 5.3 O EXECUTIVO CENTRAL

O executivo central é referido por Baddeley como o mais importante, mas menos compreendido e estudado empiricamente componente do modelo multicomponente de memória de trabalho (Baddeley, 1986, 1996). Inicialmente, foi concebido em termos vagos como um sistema de capacidade limitada de processamento geral de recursos. Como tal, ele funcionava como um “homúnculo” e serviu como um 'arranjo' (sem elementos precisos) conveniente para responder a perguntas sem resposta relacionadas ao controle da memória de trabalho e de seus dois subsistemas – a alça fonológica e o esboço visuoespacial (Repovs e Baddeley, 2006).

A primeira tentativa de substituição do homúnculo (Baddeley, 1986) veio com a aprovação do modelo de Norman e Shallice (1986) de controle da atenção, que admite dois processos básicos de controle. Segundo os autores, a maioria dos comportamentos humanos consiste em tarefas de rotina, que podem ser

controladas por esquemas e hábitos que empregam estímulos ambientais. Diferentes sinais frequentemente são contraditórios entre si, mas a maioria dos conflitos poderia ser facilmente resolvidos com um processo bastante automático de resolução de conflitos. No modelo de Norman e Shallice (1986) essas situações seriam resolvidas através de um processo que denominaram de programação de contensão (no sentido de esforço intelectual). Contudo, novas situações e problemas não podem ser resolvidos com processos automáticos baseados em experiências anteriores. Nestes casos, é preciso que uma solução inovadora seja planejada e acompanhada com base em uma ativa combinação dos estímulos com as informações preexistentes armazenadas na memória de longo prazo. No modelo de Norman e Shallice (1986), este processo depende de um componente de capacidade limitada de atenção que eles nomearam por sistema ativador de supervisão (SAS).

A criação do SAS não afastou o homúnculo do executivo central, mas forneceu um quadro para especificar os processos e as capacidades necessárias para um controlador de atenção desse tipo. Quatro capacidades básicas foram então postuladas e exploradas (Baddeley, 1996): 1) a capacidade de concentrar-se, 2) a capacidade para dividir e 3) de trocar de atenção e 4) a capacidade de relacionar o conteúdo da memória de trabalho com a memória a longo prazo. Repovs e Baddeley (2006) revisaram estudos relativos a cada uma destas quatro capacidades e os mesmos serão mencionados a seguir:

- 1) *A capacidade para concentrar a atenção* foi explorada através de um tarefa de geração aleatória de dígitos, o que foi utilizada para colocar uma forte carga sobre o executivo central (Baddeley et al., 1998). Em um estudo realizado por Robbins et al. (1996) foi demonstrado que ao



jogar xadrez a supressão articulatória não é interrompida por uma tarefa visuo-espacial concorrente, mas é significativamente perturbada por uma tarefa de geração aleatória de dígitos. A tarefa de dígitos aleatórios também vem sendo associada de forma significativa com perturbações nas tarefas de geração de categorias (Baddeley, 1966c), aritmética mental (Logie et al., 1994), e raciocínio silogístico (Gilhooly et al., 1993) lançando um forte argumento para a implicação do executivo central em uma série de tarefas cognitivas complexas que exigem atenção concentrada (Repovs e Baddeley, 2006).

- 2) *A capacidade de dividir a atenção* foi explorada em um trabalho com pacientes com doença de Alzheimer (DA). Tais pacientes normalmente sofrem de um pronunciado déficit de memória tanto episódica como de longo prazo e déficits de atenção (Perry e Hodges, 1999), o que levou Baddeley et al. (1991a) a sugerir que eles poderiam sofrer de um prejuízo no funcionamento do executivo central. Em um estudo que explora a capacidade para o desempenho de dupla tarefa, os pacientes eram obrigados a combinar tarefas utilizando a alça fonológica e o esboço visuoespacial. Em ambos os casos, a dificuldade da tarefa única foi padronizada, para que o nível de desempenho em cada uma das tarefas fosse comum em ambos os grupos participantes, pacientes idosos e controles jovens. Embora a manipulação do nível de dificuldade da tarefa única realizada isoladamente não tenha afetado diferentemente os pacientes com DA, o desempenho da dupla tarefa foi drasticamente diminuído, enquanto ela não foi afetada pela idade (Logie et al., 2000). Estes resultados sustentam a hipótese de

que a capacidade de dividir a atenção apresenta uma capacidade executiva separável.

- 3) A relação entre a *capacidade de alternar a atenção* para processos executivos foi extensivamente testado por Allport et al. (1994). Os autores argumentaram que se a capacidade de mudar a atenção é um componente importante do controle do executivo, então o custo de variação deve interagir com a demanda executiva das tarefas que estavam sendo trocadas. Contudo, o padrão de resultados observados não confirmou a hipótese, mostrando uma custo relativamente constante de mudança nas diferentes condições. Outro teste da capacidade de troca de atenção como um processo executivo foi realizada por Baddeley et al. (2001). Os autores estudaram o desempenho dos sujeitos em uma tarefa de mudança nas condições da dupla tarefa empregando supressão articulatória e várias tarefas do executivo central. Os resultados mostraram um consistente, embora pequeno, papel do executivo central na mudança de atenção. Por outro lado, o estudo revelou um efeito significativo da supressão articulatória na mudança de atenção em algumas condições. Os resultados sugerem uma importante contribuição da alça fonológica para o controle de uma determinada ação de base verbal, possivelmente através da manutenção de um programa de ação de mudança. O mesmo padrão de resultados foi obtido recentemente por Saeki e Saito (2004). Esses autores também relataram um aumento significativo nos custos de mudar de tarefas quando a alternância de tarefas foi acompanhada por supressão articulatória na ausência de estímulos

externos, enquanto tarefas concorrentes não tiveram efeito. Tomados em conjunto, os resultados sugerem que a alternância de tarefas poderia ser melhor considerada como resultado de uma série de diferentes processos ao invés de um único processo executivo. Duas capacidades são assumidas: a manutenção de um programa de mudança de tarefa, e a capacidade para executar ou ativar a tarefa adequada. Destes, o executivo central parece mais susceptível de ser envolvido neste último caso, enquanto a alça fonológica pode ser um meio útil de armazenamento e operação de tarefas específicas de programa interno, na ausência de estímulos externos .

- 4) *A capacidade de relacionar o conteúdo da memória de trabalho com a memória a longo prazo*, ou seja, a interface entre os dois subsistemas de memória, que inicialmente acreditava-se ser função do executivo central, foi posteriormente transferida para um novo componente da memória de trabalho adicionado ao modelo inicial por Baddeley, o buffer episódico, que será abordado no próximo tópico.

De acordo com a revisão feita por Repovs e Baddeley (2006), é possível fazer uma síntese do que se pode conhecer acerca do executivo central. Para os autores, embora o executivo central possa ter parecido inicialmente ser apenas um homúnculo conveniente, os trabalhos empíricos recentes demonstram claramente que há nele um número de funções executivas e capacidades que podem ser distinguidos. Estes, por sua vez, são importantes tanto no funcionamento dos componentes de armazenamento de memória de trabalho, como em um número mais geral de processos cognitivos. No âmbito das tarefas de memória de trabalho, os processos executivos parecem estar envolvidos sempre que as informações

precisam ser manipuladas. A representação simples e a manutenção, por outro lado, podem ser independentes do executivo central, a menos que requer a ligação e integração de informações complexas. Nas habilidades cognitivas complexas, o executivo central parece estar principalmente envolvido, como fonte de controle da atenção, permitindo a focalização da atenção, a divisão de atenção entre tarefas simultâneas e como um componente de atenção variada. Em muitas destas funções, o executivo central é apoiado por outros componentes da memória de trabalho: a alça fonológica parece oferecer uma forma conveniente de armazenamento dos programas de execução, enquanto o esboço visuoespacial parece estar envolvido na orientação visual e atenção espacial.

A avaliação da contribuição do executivo central para o desempenho de tarefas complexas tem apenas recentemente ganhado popularidade e exige uma maior exploração, mas os resultados obtidos até agora representam um importante primeiro passo para elucidar a contribuição da memória de trabalho para cognição em geral.

#### 5.4 O BUFFER EPISÓDICO

O *buffer episódico* foi o último componente adicionado ao modelo multicomponente de memória de trabalho (Baddeley, 2000). Consiste em um sistema de armazenamento separado de capacidade limitada que utiliza um código multimodal. Ele é episódico, em virtude da exploração de informações que são integradas a partir de uma variedade de outros sistemas componentes, incluindo memória de trabalho e de memória longo prazo em estruturas complexas coerentes: cenas ou episódios. O termo “buffer” é oriundo da computação, e significa memória

temporária. É um buffer na medida em que serve como intermediário entre os subsistemas com códigos diferentes, que combina em representações unitárias multidimensionais. A integração e manutenção de informações no buffer episódico depende de um sistema de atenção de capacidade limitada, ou seja, o executivo central. A recuperação da informação baseia-se na consciência, que liga o conjunto de informações complexas a partir de múltiplas fontes e modalidades. Juntamente com a capacidade de criar e manipular representações novas, ele cria um modelo mental espacial que permita a consideração de possíveis resultados, portanto, fornecendo a base para o planejamento de uma ação futura (Repovs e Baddeley, 2006).

O buffer episódico foi postulado para explicar uma gama de dados empíricos que não podiam ser explicados por o modelo tripartido original. Pesquisas mostraram que a memória imediata de palavras é sensível à semelhança semântica quando as palavras podem ser facilmente combinadas em pares significativos (Baddeley e Levy,197), assim, é possível recordar cerca de 5 palavras quando apresentadas de forma independente, ao passo que se forem associadas em sentenças, o número de palavras recordadas se eleva para 16 (Baddeley et al., 1987). O modelo inicial não explicava essa vantagem dada pela associação das palavras nem fornecia um mecanismo que permitisse a agregação de itens individuais em unidades maiores por processamento ou agrupamento. Além disso, o modelo não explicava como os subsistemas da MT se relacionavam com a memória de longo prazo e nem como e onde as informações contidas nos dois subsistemas se interligavam. Outro estudo, com pacientes amnésicos (Baddeley e Wilson, 2002), demonstrou que enquanto a evocação tardia de prosa crítica depende da integridade da memória de longo prazo, a recordação imediata pode ser obtida por um sistema

separado, intimamente relacionado à memória de trabalho, contudo o modelo não conseguia explicar que sistema era esse. Por fim, o modelo não explicava as diferenças individuais encontradas nas pesquisas que investigavam a extensão da MT. A tarefa de *span* de MT foi planejada para avaliar a capacidade da MT para simultaneamente processar e armazenar informações. Exige que o participante leia e/ou verifique uma sequência de frases, e armazene a última palavra de cada frase, que deverá então recordar. A medida mostrou forte correlação com o desempenho em uma ampla variedade de tarefas (Engle, 1996; Jarrold e Towse, 2006) e sugeriu ser praticamente equivalente a uma medida de inteligência geral (Kyllonen e Christal, 1990). Entretanto, não ficou claro como a tarefa e os resultados similares poderiam ser explicados pelo modelo multicomponente de memória de trabalho inicial. A adição do buffer episódico, como um quarto componente no modelo, permitiu a explicação destes achados (Repovs e Baddeley, 2006).

Para explorar o buffer episódico e seu papel na cognição, da mesma forma como os outros componentes do modelo de memória de trabalho o foram, duas classes de tarefas precisaram ser pesquisadas, nomeadamente as medidas de capacidade e as tarefas de interferência. Duas tarefas que parecem empregar o uso do buffer episódico foram usados em estudos de neuroimagem (Prabhakaran et al, 2000;. Zhang et al, 2004). Prabhakaran et al. (2000) desenvolveram uma tarefa que exigia manutenção simultânea de cartas apresentadas e locais, ambos sendo testados de forma independente. Quando os quatro locais a serem lembradas cada um representado por uma das quatro letras, que é quando a letra e o local estavam vinculados, a precisão das respostas para o estímulo teste foi maior e os tempos de reação mais curtos do que quando as letras foram apresentadas em uma posição separada dos locais. Além disso, quando o ensaio foi congruente (a letra do ensaio

foi apresentada na mesma posição da apresentação), o sujeitos responderam mais rapidamente e com maior precisão do que no caso de ensaios incongruentes. Os resultados de imagem, mostraram ativação do pré-frontal direito na condição vinculada. Os autores propõem que o estudo forneceu evidências de que há um buffer de memória que é distinto da alça fonológica ou do esboço visuoespacial, e que permite a retenção temporária de informação integrada. Em um estudo semelhante, Zhang et al. (2004) pediu aos participantes para recordar uma série de dígitos apresentados auditivamente e locais visuais emitidos sob uma ordem pseudoaleatória mista ou uma ordem separada, com números que seguem as posições. Uma pesquisa anterior (Penney, 1989; Zhang et al, 1997.1999) mostrou que quando estímulos auditivos e visuais são apresentados em uma ordem mista, a lembrança de itens separados foi muito melhor (12-13 pontos) do que quando sujeitos foram solicitados recordar os itens na ordem exata apresentada (seis a sete itens). Zhang et al. (2004) replicaram os resultados por Prabhakaran et al. (2000), demonstrando maior ativação do pré-frontal direito na tarefa que pediu ou incentivou a representação integrada na MT.

Os estudos mencionados aqui representam apenas o início da exploração empírica do buffer episódico. No entanto, eles são amplamente compatíveis com a hipótese de que um armazenamento separado da MT que permite a manutenção de informações de forma integrada e multidimensional depende dos recursos de processamento do executivo central (Repovs e Baddeley, 2006). Enquanto estudos comportamentais dos outros dois subcomponentes da MT são focados no desenvolvimento de tarefas simples direcionados aos seus elementos básicos e mecanismos, o estudo do buffer episódico, por definição, depende das tarefas que exigem a integração de informações complexas.

Progressos na compreensão do buffer episódico podem, portanto, depender em maior grau da pesquisa multidisciplinar, como já testemunhado por estudos em neuropsicologia e de neuroimagem.

De forma resumida, podemos dizer que o *buffer episódico* é um sistema de armazenamento de capacidade limitada responsável pela integração de informações, tanto dos componentes visual e verbal quanto da memória de longo prazo, em uma representação episódica única. Utilizando um trocadilho podemos dizer que o buffer episódico é um componente da *memória de trabalho* que opera *trabalhando com memórias*. Nesse sentido, parece que o buffer é fundamental também para a evocação das memórias de arquivo, já que durante esse processo os traços de memória são reunidos no buffer episódico, para em seguida serem organizados e editados no córtex pré-frontal, para finalmente as lembranças emergirem em nossa consciência (Mourão-Júnior e Melo, no prelo).

Devido às suas ligações estreitas tanto a alça fonológica e o esboço visuoespacial, uma atenção especial precisa ser dada à manutenção de uma distinção conceitual e operacional clara entre os subsistemas propostos.

Apresentado o modelo de *função executiva (integração temporal)* de Fuster, composto por *ajuste preparatório, controle inibitório e memória de trabalho* – aqui apresentada segundo o *modelo multicomponente de memória de trabalho* de Baddeley, passaremos agora à proposta de integração dos dois modelos.



## 6. UMA PROPOSTA DE DIÁLOGO ENTRE OS DOIS MODELOS

Parece ainda haver uma certa confusão conceitual entre alguns pesquisadores, que acabam por considerar a função executiva e a memória de trabalho como sinônimos. Tal confusão pode gerar problemas metodológicos, pois os testes simples de memória são insuficientes para avaliar a função executiva. Como diferentes estágios da solução de um problema podem requerer diferentes tipos de informação, os lobos frontais precisam, de forma constante e célere, tornar novas memórias “online”, ao mesmo tempo em que libera memórias antigas, liberando espaço para outros dados. Assim, ao invés de memorizar um corpo estático de informações (como nos testes de memória), o sujeito precisa ser capaz de atualizar rapidamente o conteúdo de sua memória de forma contínua. A função executiva (que inclui a MT), cumpre este papel e seu mau funcionamento compromete a manutenção da tarefa cognitiva de ordenar as informações de forma coerente e temporal. O interessante é que, embora os lobos frontais sejam críticos para acessar e ativar a informação relevante para a tarefa, muitas vezes eles próprios não contém tal informação - outras partes do cérebro a contém, eles apenas as solicitam (Goldberg, 2002).

Com o intuito de nortear a linha de argumentação utilizada para propor a integração dos modelos de Baddeley e Fuster, será exposta a maneira pela qual nós entendemos a MT enquanto fenômeno, e serão apresentadas nossas justificativas para tal ponto de vista, sem contudo, ter aqui qualquer pretensão de esgotar o assunto ou afirmar que nosso olhar sobre a questão é mais correto do que outros existentes.

Se considerarmos memória como sendo o armazenamento de

informações, podemos, para fins didáticos, dividir funcionalmente a memória em dois tipos principais: *memória de arquivo* e *memória de trabalho* (Mourão-Júnior e Abramov, 2010) . A memória de arquivo se forma por intermédio de alterações bioquímicas, produzidas em receptores neuronais, que tornam os neurônios facilitados. Nesse caso formam-se pequenos "arquivos" sinápticos de informações conhecidos como *traços de memória* ou *engramas*. Os traços são fragmentos de informações que, após serem consolidadas no hipocampo, ficam localizados em redes neurais difusas no córtex cerebral. Esses traços bioquímicos podem durar pouco tempo (se as sinapses não forem reforçadas), ou durar anos, e até mesmo a vida toda, desde que as redes neurais envolvidas sejam constantemente estimuladas. A memória de arquivo, que fica seriamente afetada nas demências, representa nosso conhecimento semântico e nossa autobiografia.

Já a MT é um sistema que armazena as informações somente enquanto uma determinada tarefa (trabalho) está sendo realizada. A MT se dá por meio de um fenômeno elétrico, onde determinadas coletividades de neurônios permanecem disparando potenciais de ação durante alguns segundos, retendo temporariamente a informação, somente durante o tempo em que a mesma é necessária, extinguindo-a logo em seguida (Goldman-Rakic, 1995). Esse tipo de fenômeno tem duração extremamente efêmera (segundos) e não forma traços bioquímicos.

Como a atenção é pré-requisito para o armazenamento temporário de uma informação, Baddeley quando elaborou o modelo multicomponente propôs que a MT depende de um sistema atencional de supervisão, que ele denominou *executivo central* (e isto fica claro quando o autor vincula todos os três subcomponentes do modelo ao executivo central). Na realidade, pode-se dizer que o

executivo central corresponde à função de controle inibitório proposta por Fuster e já discutida anteriormente. Apesar do executivo central ser considerado um dos elementos do modelo multifuncional da MT, é importante deixar claro e frisar que ele não armazena nenhum tipo de informação (Baddeley, 2007), logo, parece ser mais coerente considerá-lo unicamente como um pré-requisito para que a MT se dê. Deste modo, consideraremos então que o modelo multicomponente da MT proposto por Baddeley é composto apenas por três componentes: uma *alça fonológica*, um *esboço visuoespacial*, e um *buffer episódico*.

Na realidade a MT, apesar de ser condição indispensável para os processos de leitura, linguagem e pensamento, nada mais é do que um sistema de armazenamento lábil e ultrarrápido de informações. Assim sendo, para testar a MT, tanto em humanos como em animais, basta testar a capacidade de retenção de algumas poucas informações durante poucos segundos. Apesar da MT ser uma condição necessária para a integração temporal, que caracteriza a função executiva, ela não é uma condição suficiente. É importante lembrar que a função executiva é muito mais do que somente a MT e que, para testar a função executiva é preciso utilizar situações reais que sejam capazes de avaliar o processo de integração temporal como um todo. Existem baterias de testes específicas para esse fim, como por exemplo, o Wisconsin sort card test (WSCT).

Apesar de reconhecermos o grande mérito de Baddeley ao propor seu modelo multicomponente, acreditamos que talvez o próprio Baddeley, ao incluir como principal componente de seu modelo o executivo central – que ele próprio afirma ser incapaz de armazenar informação – tenha produzido a possível confusão conceitual que ainda paira sobre a MT. Afinal, se considerarmos que o que define o termo memória é exatamente a capacidade de armazenar informações, como pode

um modelo de memória ter como principal componente um executivo central que nada mais é do que um elemento atencional? Talvez a intenção de Baddeley tenha sido criar um modelo para a função executiva, e não unicamente para a MT. O que efetivamente funciona como memória em seu modelos são os três armazenadores ultrarrápidos de informações visuais, verbais e episódicas.

O executivo central do modelo de MT de Baddeley faz o que juntos o controle inibitório (componente excludente) e o ajuste preparatório (componente inclusivo) fazem para auxiliar a memória de trabalho na função executiva de integração temporal no modelo de Fuster. Retomando um trecho que já foi escrito anteriormente, o verbo integrar aqui tem o significado de incluir, excluir e organizar elementos em um conjunto, formando um todo coerente. O processo neural de integrar as informações ao longo da linha do tempo é a raiz das ações de ordenação dos cognitos (redes neurais) e da programação temporal das ações. A organização temporal de novas e complexas sequências de comportamento se dá por meio da integração de estímulos externos (sensoriais) e estímulos internos (memórias), em outras palavras, a integração temporal nada mais é do que o processamento (análise e síntese) dos estímulos que chegam ao cérebro (presente) e das memórias armazenadas (passado). Fuster (2002), prenuncia a integração ao enunciar que em virtude de sua especialização na estruturação temporal de novas e complexas séries de ações direcionadas a objetivos, além da participação na escolha entre as alternativas e nas tomadas de decisão, o córtex pré-frontal pode ser considerado o *centro executivo do cérebro*.

Acreditamos ser mais consistente, do ponto de vista conceitual, chamar de memória somente aquilo que de fato for memória. Por isso, sugerimos a seguinte classificação (Fig. 7): mesclando o modelo proposto por Fuster com o proposto por

Baddeley, podemos dizer que a função executiva do cérebro é representada pela integração temporal. A integração temporal se subdivide nas seguintes funções: i) ajuste preparatório, ii) controle inibitório e iii) memória de trabalho. A memória de trabalho, por sua vez, compreende três componentes: i) alça fonológica, ii) esboço visuoespacial e iii) buffer episódico.

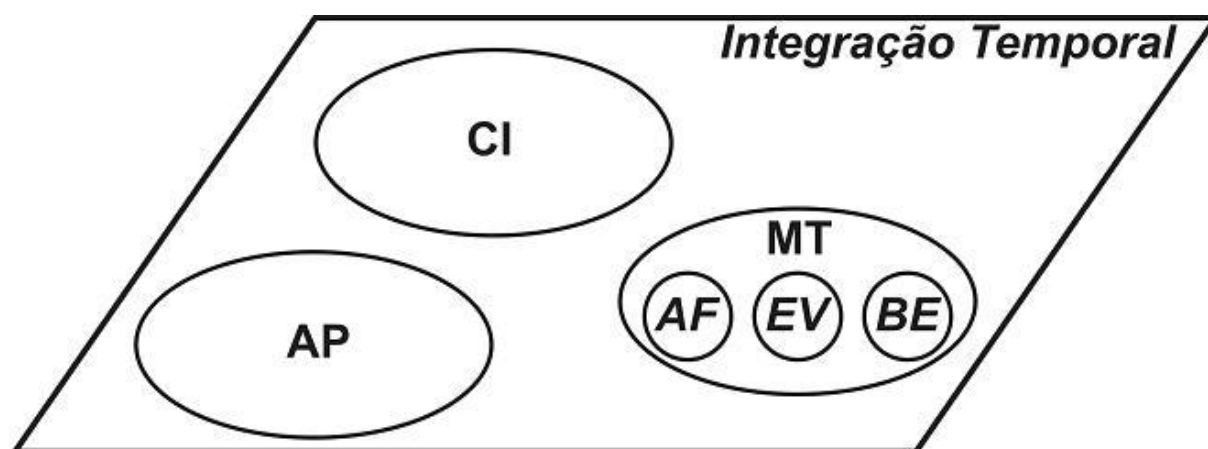


Figura 7. Esquema representando a trilogia que compõe a função executiva (integração temporal). CI = controle inibitório; AP = ajuste preparatório; MT = memória de trabalho; AF = alça fonológica; EV = esboço visuoespacial; BE = buffer episódico.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os avanços nas pesquisas no campo das neurociências tem revelado que sabemos ainda muito pouco acerca do funcionamento do cérebro e que muito ainda há a se descobrir das relações entre o cérebro, as funções cognitivas e o comportamento.

Como foi dito logo no início do trabalho, o cérebro é a condição biológica para o desenvolvimento do ser humano, mas sem o ambiente e sem as experiências com os seus semelhantes, o primata humano jamais se tornaria humano. Contudo, conhecer como o aparato biológico nos favorece, também é um caminho para promover o desenvolvimento e quem sabe prevenir problemas neste percurso.

O conhecimento do desenvolvimento do córtex pré-frontal e de sua função executiva e do impacto ecológico disso na vida do indivíduo é de suma importância para o profissional que pretende trabalhar tanto na área de saúde, quanto social como de desenvolvimento humano.

A proposta deste trabalho teórico em momento algum foi o de dar respostas definitivas ou certezas acerca dos temas aqui tratados. O que tentou-se fazer aqui foi apenas trazer à discussão um dos muitos aspectos sobre os quais o desenvolvimento humano pode ser visto.

O trabalho aqui desenvolvido que propõe a integração de dois modelos teóricos tem relevância por iniciar uma discussão em torno da provável confusão conceitual em torno dos termos função executiva e memória de trabalho que comumente são tomados como se fossem sinônimos sem na verdade o serem. No presente trabalho apresentamos as origens do modelo de Baddeley e as limitações

que o próprio autor aponta ao seu modelo. Por outro lado, apresentamos o modelo de função executiva de integração temporal de Fuster, que contem a memória de trabalho, e apontamos qual a origem da possível confusão teórica, propondo a unificação dos dois modelos em um modelo único. Partindo do argumento de que o executivo central de Baddeley não é um componente de memória, mas um componente atencional devendo assim ser excluído do modelo de memória e diluído no modelo de função executiva entre os outros dois componentes, o controle inibitório e o ajuste preparatório.

O presente trabalho não pretende aqui encerrar a discussão, mas apenas iniciar o questionamento. O conteúdo que será passado aos inúmeros alunos de graduação que procuram os cursos de Psicologia deve ser constantemente reavaliado e questões conceituais não são questões fechadas. Não estamos aqui dizendo que o modelo de Baddeley está errado nem que o de Fuster é mais correto, a proposta é de integração.

Assim como os neurônios funcionando em rede no cérebro conseguem incluir, excluir e organizar elementos em um todo coerente para emitir respostas a estímulos, acreditamos que a ciência deve se espelhar neste mecanismo de funcionamento tão perfeito, para buscar respostas às perguntas, e formular novas perguntas.

Este é o convite para outros trabalhos teóricos e empíricos que sejam o suporte de novas teorias.

## REFERENCIAS

- Allport, A.; Styles, E. A.; Hsieh, S. (1994). Shifting attentional set: Exploring the dynamic control of tasks. In: *Attention and performance XV: Conscious and nonconscious information processing* (Umlita C, Moscovitch M, eds), pp 421–452. Cambridge, MA: MIT Press.
- Atkinson, R. C. & Shiffrin, R. M. (1971). The control of short-term memory. *Sci Am*, 225(2), 82-90.
- Baddeley, A. D. (1966). The capacity for generating information by randomization. *J Exp Psychol.*, 18:119-113.
- Baddeley, A. D., Levy, B. A. (1971). Semantic coding and short-term memory. *J Exp Psychol.*, 89:132–136.
- Baddeley, A. D. & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In: *Recent advances in learning and motivation*, Vol. 8 (Bower GA, ed), pp 47–90. New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D., (1983). Working memory. *Philos Trans R Soc* 302: 311–324.
- Baddeley, A. D., (1986). *Working memory*. Oxford, UK: Clarendon Press.
- Baddeley, A. D.; Vallar G. & Wilson, B. A. (1987). Sentence comprehension and phonological memory: Some neuropsychological evidence. In: *Attention and performance XII: The psychology of reading* (Coltheart M, ed), pp 509–529. Hove, UK: Erlbaum.
- Baddeley, A. D.; Bressi, S.; Della Salla. S.; Logie, R. & Spinnler, H. (1991). The decline of working memory in Alzheimer's disease: A longitudinal study. *Brain* 114:2521–2542.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556-559.



- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *Q J Exp Psychol A* 49:5–28.
- Baddeley, A. D.; Gathercole, S. E. & Papagno, C. (1998). The phonological loop as a language learning device. *Psychological Review*, 105 (1), 158–173.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends Cogn Sci* 4(11):417–423.
- Baddeley, A. D.; Chincotta, D. & Adlam, A. (2001). Working memory and the control of action: Evidence from task switching. *J Exp Psychol Gen* 130:641–657.
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nat Rev Neurosci*, 4(10), 829-839.
- Baddeley, A. (2007). *Working memory, thought and action*. New York: Oxford University Press.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121, 65–94.
- Bastos, J. A. (2006). Discalculia: transtorno específico da habilidade e matemática. In: Rotta, N.; Ohlweiler, L. & Riesgo, R. (2006). *Transtornos da aprendizagem: abordagem neurobiológica e multidisciplinar*. Porto Alegre: Artmed, p. 195-206.
- Blair, C., Zelazo, P. D., & Greenberg, M. T. (2005). The measurement of executive function in young children. *Developmental Neuropsychology*, 28, 561-571.
- Capovilla, A. G. S., Assef, E. C. S., & Cozza, H. F. P. (2007). Avaliação neuropsicológica das funções executivas e relação com desatenção e hiperatividade. *Aval psicol*, 6(6), 51-60.
- Corso, H. V. (2009). Funções cognitivas: convergências entre neurociências e epistemologia genética. In: *Educação e Realidade*, 34(3), 225-246.

- Cosenza, R. M. (2004). Bases estruturais do sistema nervoso. In: Andrade, V. M.; Santos, F. H. & Bueno, O. (Org.). *Neuropsicologia Hoje*. São Paulo: Artes Médicas, 2004, p. 37-59.
- Cowan, N. (2005). Working memory capacity. New York: Psychology Press.
- Damasio, A. R. (1996). *O erro de Descartes: emoção, razão e o cérebro humano*. São Paulo: Companhia das Letras, 2ª Ed.
- Desimone, R. & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 193–222.
- Engle, R. W. (1996). Working memory and retrieval: An inhibition-resource approach. In: Richardson, J. T. E.; Engle, R. W.; Hasher, L.; Logie, R. H.; Stoltzfus, E. R. & Zachs, R. T. (eds) *Working memory and human cognition*, pp 89 –119. New York: Oxford University Press.
- Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychol Rev*, 102(2), 211-245.
- Flavell, J. H.; Miller, P. H., & Miller, S. A. (1999). *Desenvolvimento cognitivo*. Porto Alegre: Artes Médicas.
- Franz, S.I. (1915). Variations in distribution of the motor centers. *Psychol. Rev.*, supl.19, p.80 - 162.
- Fuster, J. M. (1997). Network memory. *Trends in Neuro-Sciences*, 20, 451–459.
- Fuster, J. M. (2002). Frontal lobe and cognitive development. *J Neurocytol*, 31(3-5), 373-385.
- Fuster, J. M. (2003). *Cortex and mind: unifying cognition*. New York: Oxford University Press.
- Fuster, J. M. (2008). *The prefrontal cortex* (4th ed.). London: Academic Press.
- Fuster, J. M. (2009). Cortex and Memory: emergence of a new paradigm. *Journal of*

Cognitive Neuroscience 21:11, pp. 2047–2072.

Gilhooly, K. J.; Logie, R. H.; Wetherick, N. E. & Wynn, V. (1993) Working memory and strategies in syllogistic reasoning tasks. *Mem Cognit* 21:115–124.

Goldberg, E. (2002). *O cérebro executivo: lobos frontais e a mente civilizada*. Rio de Janeiro: Imago.

Goldman-Rakic, P. S. (1995). Cellular basis of working memory. *Neuron*, 14(3), 477-485.

Graham Brown, T. & Sherrington, C.S. (1912). On the instability of a cortical point. *Proc. R. Soc. Lond. B*, v.85, n.579, p.250-77.

Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior*. New York: Wiley.

James, W. (1952). *The principles of psychology*. Chicago: William Benton.

Jarrold, C. & Towse, J. N. (2006). Individual differences in working memory. *Neuroscience* 139:39–50.

Jones, E.G. (2000). Plasticity and neuroplasticity. *J. Hist. Neurosci.*, v.9, n.1, p.37-9.

Kandel, E. R.; Kupfermann, I., & Iversen, S. (2000). Learning and memory. In Kandel, E. R.; Schwartz, J. H. & Jessell, T. M. (Eds.), *Principles of neural science* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.

Kosslyn. (1994). *Image and brain*. Cambridge, MA: MIT Press.

Kyllonen, P. C. & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working memory capacity. *Intelligence* 14:389–433.

Lashey, K. (1923). Temporal variation in the function of the gyrus precentralis in primates. *Am. J. Physiol.*, n.65, p.585-602.

Lashley, K. S. (1963). *Brain mechanisms and intelligence*. New York: Dover Publications.

- Lefèvre, B. H. W. F. (2004). Avaliação neuropsicológica infantil. In: Andrade, V. M.; Santos, F. H., & Bueno, O. F. A. (Orgs.). *Neuropsicologia Hoje*. São Paulo: Editora Artes Médicas Ltda., pp. 249-264.
- Logie, R. H.; Gilhooly, K. J. & Wynn, V. (1994). Counting on working memory in mental arithmetic. *Mem Cognit*, 22:395–341.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove, UK: Erlbaum.
- Logie, R.H.; Della Sala, S.; Wynn, V. & Baddeley, A. D. (2000). *Division of attention in Alzheimer's disease*. Paper presented at the Psychonomics Society meeting, Los Angeles, CA, November.
- Low, A. M. S. (2006). Diagnóstico neurofisiológico no transtorno da atenção. In: Rotta, N.; Ohlweiler, L. & Riesgo, R. *Transtornos da aprendizagem: abordagem neurobiológica e multidisciplinar*. Porto Alegre: Artmed, p. 329- 346.
- Luria, A. R. (1973). *The working brain: an introduction to neuropsychology*. New York: Basic Books.
- Malloy-Diniz, L. F.; Sedo, M., Fuentes, D., & Leite, W. B. (2008). Neuropsicologia das funções executivas. In: Fuentes, D.; Malloy-Diniz, L. F. & Camargo, C. H. P. & Cosenza, R. M. (Eds.), *Neuropsicologia: teoria e prática*. Porto Alegre: Artmed.
- Mohr, H. M. & Linden, D. E. J. (2005). Separation of the systems for color and spatial manipulation in working memory revealed by a dual-task procedure. *J Cogn Neurosci* 17:355–366.
- Mourão-Júnior, C. A. & Abramov, D. M. (2010). *Fisiologia essencial*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Mourão-Júnior, C. A. & Melo, L. B. R. (2011). Função executiva, memória de trabalho e aprendizado. *Psicologia: Teoria e Pesquisa (no prelo)*

- Norman, D. A. & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behaviour. In: Davidson, R. J.; Schwartz, G. E. & Shapiro, D. (eds). *Consciousness and self-regulation*. pp 1–18, Vol. 4. New York: Plenum.
- Oh, S. & Kim, M. (2004). The role of spatial working memory in visual search efficiency. *Psychon Bull Rev* 11:275–281.
- Ohlweiler, L. (2006). Fisiologia e neuroquímica da aprendizagem. In: Rotta, N.; Ohlweiler, L. & Riesgo, R. *Transtornos da aprendizagem: abordagem neurobiológica e multidisciplinar*. Porto Alegre: Artmed, p. 43-57.
- Oliva, A. D.; Dias, G. P. & Reis, R. A. M. (2009). Plasticidade Sináptica: Natureza e Cultura Moldando o Self. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 22(1), 128-135.
- Ortega, F. (2009). Neurosciences, neuroculture and cerebral self-help. *Interface – Comunic., Saude, Educ.*, v.13, n.31, p.247-60, out./dez.
- Palacios, J. & Mora, J. (2004). Crescimento físico e desenvolvimento psicomotor até os dois anos na primeira infância. In: Coll, C.; Marchesi, Á. & Palacios, J. *Desenvolvimento psicológico e educação 1: Psicologia Evolutiva*. Porto Alegre: Artmed, p.55-70.
- Penney, C. (1989). Modality effects and the structure of short-term verbal memory. *Mem Cognit* 17:398–422.
- Pennington, B. F. (1997). *Diagnóstico de distúrbios de aprendizagem: Um Referencial Neuropsicológico*. São Paulo: Ed. Pioneira.
- Perry, R. J. & Hodges, J. R. (1999). Attention and executive deficits in Alzheimer's disease: A critical review. *Brain* 122:383–414.
- Prabhakaran, V.; Narayanan, K.; Zhao, Z. & Gabrieli, J. D. (2000). Integration of diverse information in working memory within the frontal lobe. *Nat Neurosci* 3:85–

89.

- Repovs, G. & Baddeley, A. D. (2006). The Multi-component Model of Working Memory: explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139, 5–21.
- Ramachandran, V. S. (2004). A brief tour of consciousness. New York: Pi Press.
- Rezende, J. M. (2001). Caminhos da medicina: A neurologia na Antiguidade. *Revista Neuro-Press*. V. 5, n. 1, p. 16-17. Disponível em <<http://usuarios.cultura.com.br>>. Acesso em: ago. 2009.
- Richelle, M. (2001). Cognição. In: Doron, R. & Parot, F. (2001). *Dicionário de Psicologia*. São Paulo: Ática.
- Riesgo, R. S. (2006). Anatomia da aprendizagem. In: Rotta, Newra; Ohlweiler, Lygia; Riesgo, R. *Transtornos da aprendizagem – Abordagem neurobiológica e multidisciplinar*. Porto Alegre: Artmed.
- Robbins, T. W.; Anderson, E.; Barker, D.; Bradley, A. C.; Fearneyhough, C.; Henson, R. & Baddeley, A. D. (1996). Working memory in chess. *Mem Cognit* 24:83–93.
- Rochat, P., & Striano, T. (1999). Social-cognitive development in the first year. In Rochat, P. (Ed.), *Early social cognition: Understanding others in the first months of life* (pp. 3-34). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Romanelli, E. J. (2003). Neuropsicologia aplicada aos distúrbios de aprendizagem “prevenção e terapia”. *Temas em Educação II – Jornadas 2003*.
- Rotta, N. (2006). Plasticidade cerebral e aprendizagem. In: Rotta, N.; Ohlweiler, L.; & Riesgo, R.. *Transtornos da aprendizagem: Abordagem neurobiológica e multidisciplinar*. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- Rovee-Collier, C. K. (2000). Memory in infancy and early childhood. In: Tulving E. & Craik, F. I. M. (Eds.), *The Oxford handbook of memory* (pp. 267-282). New York:

Oxford University Press.

- Saeki, E. & Saito, S. (2004). Effect of articulatory suppression on tasks switching performance: Implications of models of working memory. *Memory* 12:257–271.
- Santos, F. H. (2004). Funções executivas. In Andrade, V. M.; Santos, F. H. & Bueno, O. F. A. (Eds.), *Neuropsicologia hoje*. São Paulo: Artes Médicas.
- Smidts, D. P. (2003). Development of executive processes in early childhood Tese de Doutorado. Department of Psychology, University of Melbourne, Australia.
- Sternberg, R. J. (2008). *Psicologia Cognitiva*. 4 ed. Porto Alegre: Artmed.
- Sternberg, R. J. (2010). *Psicologia Cognitiva*. 5 ed. São Paulo: Cengage Learning.
- Schwartz, J. M. & Begley, S. (2002). *The mind & the brain: neuroplasticity and the power of mental force*. New York: HarperCollins.
- Treisman, A. (1993). The perception of features and objects. In: Baddeley, A. D. & Weiskrantz, L. (eds). *Attention: Selection, awareness and control: A tribute to Donald Broadbent*, pp 5–35. Oxford, UK: Clarendon Press/Oxford University Press.
- Weiller, C. & Rijntjes, M. (1999). Learning, plasticity, and recovery in the central nervous system. *Exp. Brain Res.*, v.128, n.1-2, p.134-8.
- Woodman, G. F.; Vogel, E. K. & Luck, S. J. (2001). Visual search remains efficient when visual working memory is full. *Psychol Sci* 12:219–224.
- Woodman, G. F. & Luck, S. J. (2004). Visual search is slowed when visuospatial working memory is occupied. *Psychon Bull Rev* 11:269–274.
- Zhang, D.; Zhang, X.; Sun, X.; Li, Z.; Wang, Z.; He, S. & Hu, X. (2004). Crossmodal temporal order memory for auditory digits and visual locations: an fMRI study. *Hum Brain Mapp* 22:280–289.