

EVOLUÇÃO DO SISTEMA NERVOSO, ESPECIALIZAÇÃO HEMISFÉRICA E PLASTICIDADE CEREBRAL: UM CAMINHO AINDA A SER PERCORRIDO.

Werner Robert Schmidek¹
Geny Aparecida Cantos²

RESUMO - Um longo caminho evolutivo foi percorrido pelos vertebrados até que suas estruturas cerebrais atingissem as dimensões, o grau de complexidade e a rica potencialidade de percepção, integração consciente e atuação que caracterizam os seres humanos. O cérebro continua passando por constantes mudanças acionadas por eventos anteriores, ou como resultado de uma modelagem intrínseca. Este artigo tem como propósito descrever a evolução filogenética do sistema nervoso, acentuando as crescentes potencialidades funcionais do mesmo (particularmente aquelas devidas ao processo de especialização funcional entre os hemisférios corticais, legando-nos a possibilidade de uma interação, ao mesmo tempo cognitiva e emocional). Focalizamos também a sua enorme capacidade de desenvolvimento e de recuperação tornando-o um sistema com elevada plasticidade funcional. O desafio apresentado a nós pelo surgimento de tal riqueza e plasticidade funcional, certamente é o de incorporar modificações e ajustes funcionais

¹ Prof. Associado – Aposentado do Departamento de Fisiologia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da USP. Facilitador de Biodanza pela International Biocentric Foundation. Contato: werner.s@ig.com.br

² Prof(a) Dr(a) do Departamento de Análise Clínicas da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. Facilitadora de Biodanza, socioterapeuta. Contato: geny@ccs.ufsc.br ou 048-3721-972, r.221.

que produzam, na dinâmica cerebral, resultados favoráveis ao indivíduo e à espécie. Utilizando uma abordagem que possa contemplar a capacidade de recuperação funcional do sistema e o equilíbrio entre os hemisférios cognitivo e emocional, produzir modificações que melhorem a qualidade de vida do indivíduo e ampliem a sua interação positiva com o ambiente, tornando-nos melhor adaptados e aptos à sobrevivência.

Palavras-chaves: comportamento, sistema nervoso, neocórtex, sistema límbico, especialização hemisférica

EVOLUTION OF THE NERVOUS SYSTEM, HEMISPHERIC SPECIALIZATION AND CEREBRAL PLASTICITY: a route still in course.

ABSTRACT - A long evolutive route has been traveled by vertebrates until their cerebral structures reached the dimensions, the degree of complexity and the rich potentiality of perception, conscious integration and action that characterize human beings. The brain still passes constantly through changes triggered by prior events or by intrinsic modulations. In this article we make a brief description of the phylogenetic evolution of the nervous system pointing to its growing functional potentialities (specially those derived from the process of functional specialization of the cortical hemispheres, allowing interactions that are at the same time cognitive and emotional). We also focus the enormous development and recovery capacity of the nervous system, rendering it a system with high functional plasticity. The defy imposed by such a functional richness and plasticity, is that of promoting changes and functional adjustments that are favorable to the individual and to the species. Changes that might enhance our quality of life and expand our interaction with the environment, rendering us better adapted and apt to survive as a species.

Keywords: behavior, nervous system, neocortex, limbic system, hemispheric specialization.

I - INTRODUÇÃO

As questões pertinentes à relação mente-cérebro têm sido objeto de muitas investigações (RIBAS, 2006). Durante a evolução filogenética o sistema nervoso central (SNC), e em especial as estruturas encefálicas, relacionadas com o comportamento e com as funções cognitivas e emocionais, se desenvolveram de forma complexa caracterizando o ser humano e diferenciando-o de seus ancestrais. É provável que as necessidades adaptativas, geraram o crescimento do SNC e acarretaram um maior imbricação de dobramentos de estruturas encefálicas, dando origem à atual conformação do mesmo. As estruturas telencefálicas atuais, originárias de um sistema nervoso primitivo, tiveram um desenvolvimento com neurônios dispostos nas camadas corticais do cérebro, o que viabilizou a maior complexidade, sobretudo das funções cognitivas e intelectuais do ser humano, culminando com uma rica consciência e com o destacado papel do sistema tálamo-cortical.

Contudo, sabe-se que, por ocasião do advento dos mamíferos, as estruturas límbicas também se desenvolveram sobre o topo do sistema nervoso primitivo, sendo hoje aceito de que os processos emocionais são fundamentais para que ocorra uma orquestrada sincronização orgânica (RONSEIN, *et al.*, 2004; CANTOS *et al.*, 2006). Por outro lado, o estudo da plasticidade neuronal sugere que a neurodinâmica das emoções e dos processos cognitivos sejam capazes de formular novas categorias explanatórias a nível neuronal.

Seja através do processo evolutivo que vem acrescentando novas e mais complexas estruturas neurais, seja através das modificações plásticas a curto prazo, enriquecendo a funcionalidade de tais estruturas, é certo que o fenômeno geral de *consciência* vem ganhando riquezas e potencialidades. Infelizmente, no entanto, a neurobiologia ainda vem evitando abordar este processo que é de importância capital na nossa caracterização humana e que possivelmente tem sido uma das molas mestras do próprio processo evolutivo do sistema nervoso. Isto ocorre com livros texto clássicos como o de Vernon

Mountcastle que dedica, das suas 938 páginas de neurofisiologia, apenas uma página e meia ao tema “consciência”, tratando-o ainda erroneamente, como um processo unitário caracterizado apenas por variações quantitativas (MOUNTCASTLE, 1978). E, mesmo mais modernamente, um amplo tratado de neurobiologia como o de Zigmond e colaboradores, ignora totalmente o tema em suas 1574 páginas (ZIGMOND, *et al.*, 1999).

Tentamos assim no presente texto abordar alguns dos mecanismos neurais básicos que modulam e expandem o alcance de nossa consciência mostrando também as transformações que ocorrem nesse fenômeno ao longo da evolução, como o acréscimo gradativo de estruturas e processos funcionais mais e mais sofisticados.

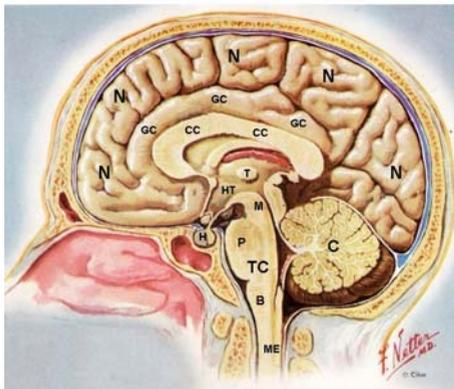
O tema será retomado e expandido em outro artigo ainda em edição (CANTOS & SCHMIDEK, em preparação).

II - ANATOMIA FUNCIONAL DO SISTEMA NERVOSO HUMANO

O encéfalo humano, ou cérebro propriamente dito, encontra-se localizado no interior do crânio, protegido por um conjunto de três membranas, que são as meninges. As células que constituem o cérebro chamam-se neurônios. Estes consistem de um corpo celular, composto de núcleo (onde está o DNA) e da maior parte do citoplasma. Deste corpo celular partem numerosos prolongamentos, os dendritos, que são áreas receptoras de estímulos, e o axônio, por onde o impulso nervoso é propagado para longe do corpo celular. Os corpos celulares estão localizados em áreas restritas do sistema nervoso central (encéfalo e medula espinhal) e dos gânglios, enquanto os seus prolongamentos se distribuem por todo o corpo em feixes chamados nervos. Estes, juntamente com os gânglios nervosos, constituem o sistema nervoso periférico. O sistema nervoso central é constituído pela medula espinhal e pelo encéfalo, o qual se situa dentro da caixa craniana, enquanto a medula espinhal percorre o canal medular da coluna vertebral.

No sentido caudo-cranial o encéfalo se inicia por um conjunto de estruturas antigas que já existiam nos vertebrados mais pri-

mitivos, o chamado tronco cerebral (composto de bulbo, ponte e mesencéfalo) e o cerebelo que se aloja “a cavaleiro” sobre o tronco cerebral (Fig. 1). O tronco cerebral se liga diretamente à medula espinhal e, por meio dessa, exerce efeitos fundamentais no controle de muitas de nossas funções internas básicas como a regulação da respiração, da pressão arterial, do funcionamento cardíaco e da digestão. O cerebelo, por outro lado, é fundamental na regulação de nossos movimentos externos, garantindo a sua coordenação e o nosso equilíbrio postural.



- N= Neocórtex
- GC = Giro Cíngulo (sistema límbico)
- CC = Corpo Caloso
- T = Tálamo
- HT = Hipotálamo
- H = Hipófise
- M = Mesencéfalo
- P = Ponte
- B = Bulbo
- TC = Tronco Cerebral
- C = Cerebelo
- ME = Medula Espinhal

Figura 1: Visão medial do cérebro humano em corte, separando os hemisférios e seccionando o tronco cerebral (NETTER, F.H., 1962).

O tronco cerebral se liga também com as estruturas nervosas mais superiores, regulando o seu nível de funcionamento. Exerce assim, duas funções básicas no processo de *consciência*: por um lado, a chamada “reação de alerta” (que ocorre em todas as situações de susto, dor, estresse ou ameaça de vida) caracterizada por uma ativação geral de todas as áreas neurais, principalmente do córtex cerebral. Por outro lado, há também no tronco cerebral um conjunto de estruturas que regulam a desativação de nosso cérebro, sendo responsáveis pelo adormecimento e pela transição entre as diferentes

fases e estados do sono, caracterizados por diferentes níveis de perda da consciência lógica-analítica cotidiana (que ocorre no estado de vigília). Este “portal” de controle é assim também, a via de acesso a processos de consciência “não racionais” e a memórias, normalmente fora de nosso alcance voluntário, que caracterizam os sonhos. Note-se que esses fenômenos efetivamente não ocorrem no tronco cerebral e nem em outras partes primitivas do SNC, mas dependem de uma alteração no funcionamento das estruturas neurais mais recentes, principalmente do córtex cerebral.

Seguindo ao tronco cerebral em direção ascendente, encontramos o chamado diencéfalo, uma estrutura também ainda bastante antiga e fundamental na regulação de funções internas básicas. Ele se compõe de duas partes mais importantes: o tálamo e o hipotálamo. Esta última, além da atuação neural regulando funções internas tais como, por exemplo, a temperatura corpórea ou a concentração dos líquidos internos, é também fundamental na gênese de motivações básicas instintivas, tais como fome, sede, impulso sexual, medo, raiva. É ainda o hipotálamo que regula todo o nosso sistema endócrino, seja diretamente, produzindo e liberando hormônios (como o hormônio de crescimento ou a oxitocina, fundamental no mecanismo de parto e na ejeção do leite materno durante a amamentação), seja mais ainda, regulando o funcionamento da hipófise e, por meio dos seus hormônios reguladores, controlando o funcionamento de todas as glândulas endócrinas do organismo (como, por exemplo, a tireóide, as supra-renais, as gônadas). Finalmente, cabe também ao hipotálamo um importantíssimo papel modulador do funcionamento dos nossos processos imunes, regulando assim toda a nossa defesa imunológica.

Ao tálamo, por outro lado, cabe um não menos importante papel, essencial no nosso relacionamento com o mundo exterior. É por ele que passam e são filtradas grande parte das informações ambientais, que atingem o nosso organismo e que são captadas por nossos vários sistemas sensoriais, seja na pele, seja nos órgãos e sistemas sensoriais específicos (visão, audição, etc.). Passam também por ele, todas as ordens motoras mais sofisticadas, geradas pelas porções mais novas e complexas do SNC (por exemplo, pelo córtex motor) e que se dirigem para os inúmeros músculos do organismo, regulando

finamente a sua ativação ou desativação graduada. Mas o tálamo desempenha ainda um outro papel, essencial ao funcionamento adequado do córtex: a *focalização da atenção* e a *formação de sistemas funcionais* (Figs. 2 e 3). De fato, a cada situação ambiental e/ou estado motivacional, idéia ou proposta comportamental, o tálamo se encarrega de ativar/desativar áreas corticais específicas, recrutando-as, para então, em conjunto, desempenharem funções apropriadas (LURIA, 1976). Tal processo se acompanha, a cada passo, de *alterações focais da consciência*, como discutiremos adiante.

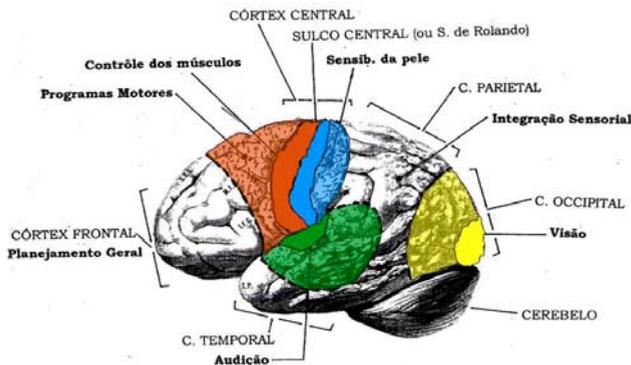


Figura 2: Especialização funcional de um hemisfério neocortical (adaptado de KANDEL, E.R.; SCHWARTZ, J.H. & JESSEL, T.M., 1991 e LURIA, A.R., 1976).

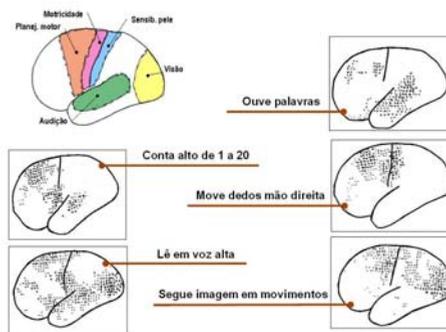


Figura 3: Ativação seletiva de conjuntos de áreas corticais em função das propostas comportamentais em curso (adaptado de LASSEN, N.A.; INGVAR, D.H. & SKINHOJ, E., 1978).

A partir do diencéfalo, o SNC, que até então era único, se bifurca, formando dois hemisférios, constituindo assim o chamado telencéfalo, que é formado de cada lado pelo córtex cerebral e por diversas estruturas sub-corticais. O telencéfalo constitui a porção filogenética mais nova do SNC, estando em grande desenvolvimento a partir do surgimento dos mamíferos (Fig. 4), acentuando-se nos primatas e atingindo o seu ápice nos hominídeos e no homem.

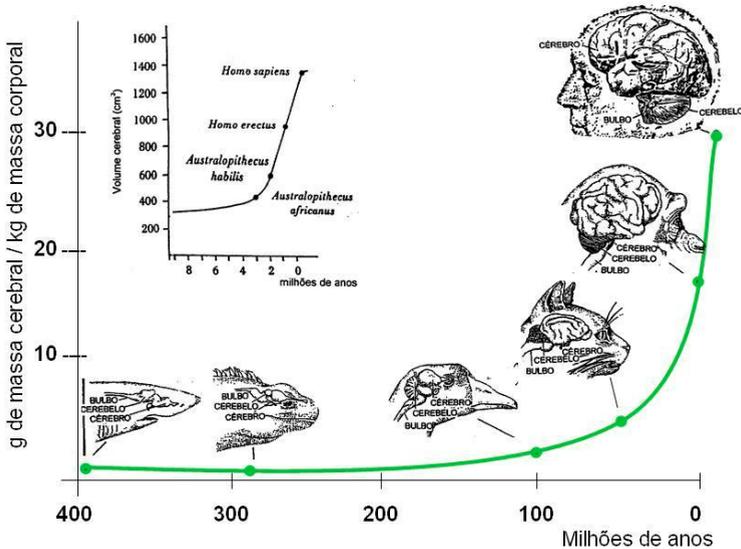


Figura 4: Crescimento relativo do cérebro ao longo do processo evolutivo dos vertebrados (baseado em JERRISON, H.J., 1976 e GRIER, J.W., 1984).

O córtex cerebral tem dois componentes de origem distinta. Um, algo mais antigo, formado pelos assim chamados arqui- e paleo-córtex (Fig. 5A) e constituindo, em conjunto com algumas estruturas sub-corticais, o assim chamado sistema límbico. Esse sistema que

começa a surgir nas aves, se encontra bem desenvolvido em todos os mamíferos. Ele é essencial para a regulação de nossas emoções mais complexas e de nossos estados afetivos e motivacionais mais finos. Garante assim, a diversos grupos de aves e de mamíferos, a estruturação de relações sociais baseadas na afetividade, algo essencial para o comportamento parental (maternal, paternal, grupal familiar) e para a formação de laços inter-individuais, essenciais para a organização social mais complexa desses grupos. O sistema límbico e, em especial algumas de suas partes, como o hipocampo tem um papel importante também no aprendizado. Avaliando o significado emocional e afetivo de cada informação que nos chega, ele nos ajuda a selecionar aquelas que deverão ser armazenadas na memória (o que ocorrerá no neocórtex) e a desprezar aquelas “irrelevantes” no momento.

A outra parte, o neocórtex (Fig. 5) é a mais recente na filogênese e, de longe, é a que mais está crescendo nos mamíferos e, principalmente, nos primatas. Organiza-se em cada hemisfério, formando regiões funcionais (como já vimos na figura 2), seja na sua metade posterior, com a função de receber e interpretar informações sensoriais que chegam, seja na metade anterior organizando as respostas motoras adequadas a cada situação. Em cada uma dessas regiões encontramos áreas primárias ligadas diretamente à entrada ou saída neural e áreas secundárias encarregadas, seja de decodificar e interpretar informações sensoriais e armazenar as memórias relevantes que daí resultaram, seja de criar e memorizar programas de movimentos mais complexos, associando no tempo e no espaço a ativação de músculos específicos. Encontramos no neocórtex ainda (e em intenso desenvolvimento como se vê na fig. 5B e C) as chamadas áreas de associação, interrelacionando na parte posterior do córtex as informações de diferentes modalidades sensoriais e criando assim uma *consciência de “eu no mundo”*. E, bem na frente (Fig. 5C), no nosso assim chamado lobo frontal (uma quase exclusividade dos primatas), esse córtex associativo nos possibilita o planejamento consciente de ações, confrontando todas as informações sensoriais disponíveis, sejam atuais, sejam armazenadas na memória e de todos os programas de resposta disponíveis (recém-criados ou já testados e armazenados na memória motora). Constitui assim, talvez o mais

sofisticado substrato da nossa consciência, permitindo-nos uma *consciência previsiva*.

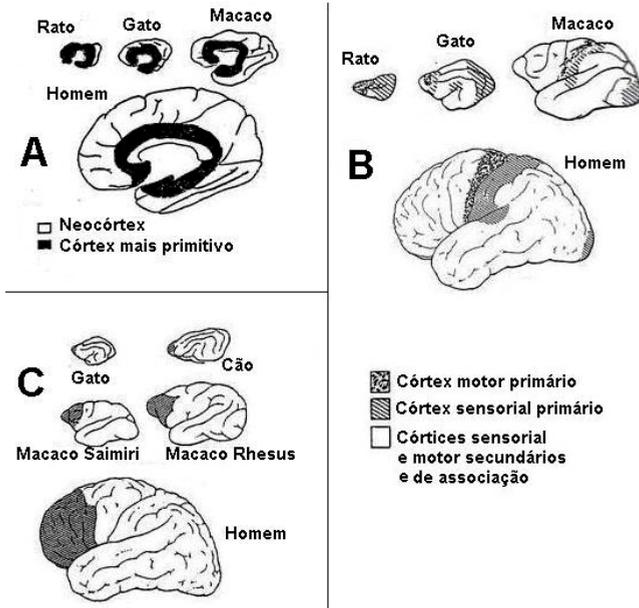


Figura 5: Áreas corticais antigas e recentes em mamíferos (adaptado de KANDEL, E.R.; SCHWARTZ, J.H. & JESSEL, T.M., 1991 e GANONG, W.F., 1981).

III - FILOGENIA DO SISTEMA NERVOSO

O estudo da estruturas cerebrais permite que se compare as relações existentes entre as diferentes espécies de vertebrados, no que diz respeito às suas localizações no processo de evolução das espécies (filogenia) e as diferenças anatômicas entre as diferentes espécies existentes. Ao longo da evolução, a análise filogenética também acarreta, a cada passo, questionamentos sobre a própria conceituação de termos como consciência e psiquismo entre outros, principalmente por propiciar especulações sobre os possíveis para-

lelos comportamentais existentes entre as diferentes espécies e o próprio ser humano (RIBAS, 2006).

Do ponto de vista evolutivo nós, seres humanos, herdamos dos nossos ancestrais os neurônios, que praticamente não mudaram ao longo de toda a evolução. Há bilhões de anos eles permanecem com o mesmo aspecto geral e têm o mesmo mecanismo básico de funcionamento, sendo em essência o mesmos neurônios em um rato, em um jacaré ou em um peixe e até mesmo em um invertebrado. Aliás, foi a partir de um certo tipo de neurônio que ocorrem em moluscos (os chamados “neurônios de axônio gigantes”, encontrados em lulas e polvos) que se descobriram muitas das propriedades funcionais das nossas células nervosas (SCHMIDEK, 2005).

Mas qual é então o grande segredo? O que faz o nosso sistema nervoso ser tão diferente daquele de um jacaré, de um lambari ou de um gafanhoto? Basicamente é o enorme número de neurônios que compõe o nosso cérebro e o incrível número de interligações que essas células fazem. Invertebrados funcionam com apenas algumas dezenas de neurônios. E funcionam bem. Basta observar o rico comportamento de uma pequena aranha caçadora. Outro exemplo é o ouvido de algumas mariposas que possuem apenas um neurônio e que, mesmo assim, as capacita a detectar o ultra-som produzido por morcegos (seus predadores mais importantes), possibilitando a fuga quando os mesmos se aproximam. Também a musculatura extensora da grande pata traseira de um gafanhoto é enervada por apenas três neurônios: um, que produz a contração súbita de toda essa musculatura, causando o eficiente salto do inseto; outro que produz sua contração gradual essencial para sua locomoção e um terceiro que modula a contração durante o movimento (SCHMIDEK, 2005). Evidentemente, o sistema nervoso deste grupo animal evoluiu no sentido de uma crescente simplificação.

Já nos vertebrados, percebe-se um processo evolutivo oposto que parece atuar sob o lema: *“se com dez neurônios funciona bem, será que com vinte funcionará melhor? E com cem? E com mil?”*... O cérebro humano é assim constituído por cerca de 100 bilhões de neurônios (10^{11}) e o cérebro de animais vertebrados maiores pode ter até mais de 1 trilhão de neurônios (10^{12}).

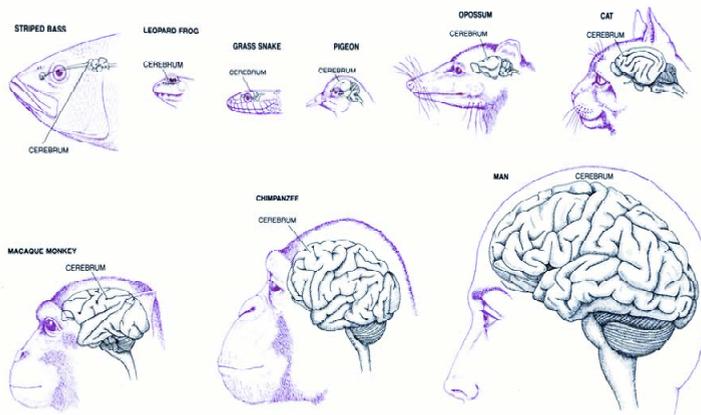
E assim, quando se compara os cérebros de diferentes vertebrados, é possível notar que cada novo grupo que surgia era acompanhado de um cérebro maior. E esse processo vem se acelerando nas espécies mais recentes, mudando acentuadamente a inclinação da curva evolutiva (como foi visto na Fig. 4). Primatas e hominídeos vêm aumentando enormemente o seu volume cerebral. E esse aumento não é inespecífico. Obedece a um padrão muito definido: não é todo cérebro que se modifica a cada passo evolutivo. Ao contrário, o cérebro “mais primitivo” permanece quase inalterado, enquanto novas partes vão sendo acrescentadas “à frente”. À medida que subimos na escala evolutiva, observam-se modificações na porção mais anterior do cérebro, aparecendo um córtex cerebral, e neste, um neocórtex. Nos primatas, especialmente no homem, o neocórtex torna-se enorme, recobrando e escondendo todo restante do cérebro.

O cérebro humano é proporcionalmente o maior e o mais pesado entre todos os animais e a formação completa do mesmo, dentro dos limites de normalidade, vai desde meados da terceira semana de gestação quando se inicia a formação da placa neural embrionária, para só se completar por volta do quinto ano de vida, com a plena mielinização dos neurônios corticais*.

O Homem não tem o maior cérebro do reino animal, pois elefantes e baleias têm cérebros ainda maiores em massa. Mas, se compararmos igualmente o tamanho do corpo, o homem e o golfinho estão nitidamente no topo da lista. Para comparar o tamanho do cérebro em animais de peso corporal diferente pode se utilizar o quociente de encefalização (razão entre o peso do cérebro e o volume do corpo): se for inferior a um, a espécie tem um cérebro menor que a média das espécies com o mesmo tamanho corporal; se for superior a um, a espécie tem um cérebro maior que outras de peso semelhante. No caso humano o quociente de encefalização tem valor oito, sendo assim oito vezes maior que o de outros animais de mesmo porte, e

* Para que os axônios de muitos tipos de neurônios consigam transmitir mensagens com rapidez e precisão eles precisam estar maduro. Isto acontece quando o mesmo é envolvido por uma camada especial de gordura e proteína (a mielina), que atua como isolante elétrico e facilita a transmissão do impulso nervoso. Assim a maturação das células cerebrais, faz com movimentos complexos, os níveis de coordenação e controle motor fino só sejam alcançados após o término da formação da mielina (KOLB e WHISHAW, 2002).

também, três vezes mais pesado que o de um primata de peso semelhante. Além disso a zona externa, o córtex, é muito desenvolvida no homem em relação às outras espécies. Assim, pode-se dizer que o Homem tem a maior razão entre tamanho do cérebro e tamanho do corpo e também entre as áreas de córtex associativo e as áreas primárias (sensoriais e motora), refletindo capacidades de regulação comportamental e intelectuais acrescidas (Fig. 6).



A

Figura 6: Comparação do crescimento cerebral em diferentes espécies (Fonte: HUBEL, 1978).

A evolução filogenética do SNC pode ser dividida em três etapas básicas denominadas por Itzkoff (1983) de: 1) encéfalo reptiliano (medula e tronco encefálico, com as estruturas olfatórias, amígdala e hipocampo ainda rudimentares), que controlam funções básicas como a respiração e as batidas do coração, e o instinto de sobrevivência; 2) encéfalo do mamífero (com desenvolvimento significativo do hipocampo, caracterização do sistema límbico e desenvolvimento inicial do neocórtex), e 3) encéfalo humano (desenvolvimento final do neocórtex, em particular das áreas corticais associativas e caracterização das áreas de linguagem), com os seus cerca de

100 bilhões de neurônios que se conectam por meio de 1.000 e 10.000 sinapses por neurônio (Fig. 7).

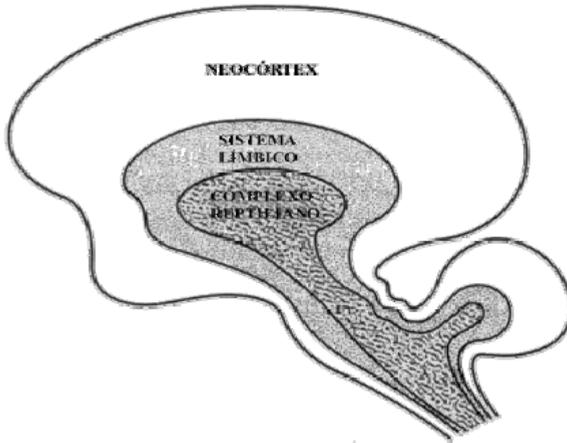


Figura 7. Ilustração da concepção do "Encéfalo 3 em 1" (*Triune Brain*) de MACLEAN (adapt. de ITZKOFF, SW, 1983).

Como já vimos, em primatas e mais especificamente nos antropóides (chimpanzés, gorilas, orangotangos, gibões e hominídeos) ocorreu ao longo do processo de evolução uma separação funcional entre os dois hemisférios: direito e esquerdo (Fig. 8).

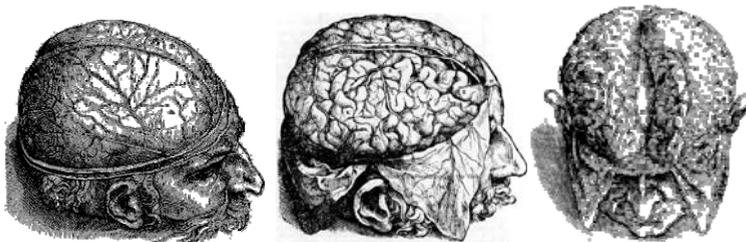


Figura 8: Cérebro exposto com seus dois hemisférios. (Fonte: SINGER, 1952, sobre originais de Andreas Vesalius, 1543).

O neocórtex esquerdo se especializou funcionalmente no processo de relacionamento racional-verbal e analítico com o “mundo externo”, assumindo o controle de uma “*mão preferencial*” (usualmente à direita) e o controle da linguagem em seus aspectos lógicos. Já o neocórtex direito ficou com o controle dos processos de relacionamentos, “*não verbais*”, *afetivos, holísticos, intuitivos e com as emoções*. Contudo, essa diferenciação, por ser recente na evolução, é apenas funcional. Como vimos acima, anatomicamente o neocórtex de ambos os hemisférios é praticamente idêntico (SCHMIDEK, 2005).

Em nossa cultura ocidental (provavelmente a partir da Renascença, com a sua valorização das ciências e a sua ênfase na razão, na análise, na matemática e na comunicação verbal lógica) os hemisférios adquiriram propriedades funcionais bastante distintas (Tab. 1). Mais do que isso, dada essa hierarquização de funções, é quase certo que o domínio funcional que mais prevalece é o do hemisfério esquerdo (aquele que “sabe das coisas”, aquele que tem êxito na nossa cultura)

HEMISFÉRIO ESQUERDO		HEMISFÉRIO DIREITO
Verbal (semântico)		<i>“Não verbal” (prosódico)</i>
Racional		<i>Afetivo</i>
Lógico		<i>Intuitivo</i>
Analítico		<i>Sintético</i>
Linear		<i>Holístico</i>
Temporal		<i>Espacial</i>
Abstrato		<i>Concreto</i>
Matemático		<i>Artístico</i>

Tabela 1. Especialização hemisférica no homem ocidental. (Fonte da figura: GOOGLE, 2008).

Para Edelman (2000), o emaranhado de fibras nervosas originadas nos neurônios encefálicos se organiza pelas conexões recíprocas existentes entre o tálamo e o córtex cerebral e também pelas fibras hemisféricas de associação e, portanto, envolve a ativação das áreas especializadas do córtex e das suas áreas e fibras de associação. É interessante aqui ressaltar que nesta concepção de Edelman de três conjuntos de circuitos básicos, o sistema límbico não constitui um sistema básico da organização das fibras encefálicas, e sim um conjunto de estruturas cerebrais que se dispõem como um círculo em torno do topo do tronco encefálico e pelo qual se encontram conectados os três sistemas básicos (RIBAS, 2006).

Gould (2002) admite que as mudanças de regulação dos genes responsáveis pelas mutações evolutivas se expressam na ontogenia do homem. Em contraposição às dúvidas existentes quanto aos paralelos que eventualmente ocorrem entre a filogênese e a ontogênese, a semelhança das conformações apresentadas pelo SNC nas progressivas etapas filogenéticas e embriológico-fetais do ser humano são particularmente evidentes (RIBAS, 2006).

Mudanças nas estruturas cerebrais têm sido correlacionados com a capacidade de lidar com e resolver problemas sociais e experiências provenientes do meio ambiente. Por exemplo, o corpo caloso (feixes de axônios, que comunicam um hemisfério cerebral com o outro) apresenta diferenças individuais. Por meio do eletroencefalograma de alta densidade (com grande número de eletrodos no crânio) e da ressonância magnética funcional (um exame de imagem que aponta as regiões cerebrais ativas para cada função) estudos têm mostrado que o corpo caloso é maior em músicos, o que possivelmente provoca maior grau de integração entre os dois lados do cérebro e, portanto, possibilita um controle mais preciso e coordenação mais eficiente dos dedos das duas mãos, uma audição diferenciada, e uma habilidade motora e sensibilidade emotiva impressionante (SCHLAUG, *et al.*, 1995).

O ser humano possui uma essência científica e afetiva. Damásio (1994) considera que há uma interação corpo-mente-emoção. E as emoções têm repercussões em toda a estrutura física — no sis-

tema endócrino, nos aparelhos digestivo, cardiovascular e músculo-esquelético, no sistema nervoso, nos órgãos sexuais, na cadeia genética, no genoma —, pois, direta ou indiretamente, todo o corpo humano está sujeito aos afetos. O que ouvimos, o que pensamos, o que sentimos, as pessoas, os objetos, enfim, tudo e todos ao nosso redor produzem uma forma de afetividade. Por outro lado, quem sente profundamente, como é o caso dos artistas, dos místicos, dos alternativos, muitas vezes até prescinde do raciocínio lógico.

Embora os dois “cérebros” estejam altamente conectados e dependam constantemente um do outro, visando um funcionamento integrado, cada um contribui de modo diverso para nossa experiência de vida e para nosso comportamento. O resultado da interação determina o que sentimos, a nossa relação com o mundo e os nossos relacionamentos com os outros. Quando há cooperação ocorre uma harmonia interna. (SCHREIBER, 2004).

E da harmonia resultante vem à capacidade de administrar bem os interesses divergentes e, às vezes, conflitantes. O cérebro emocional, frente às experiências, identifica se há pontos de vista e interesses divergentes, e o cérebro cognitivo, idealmente fundado nos valores da solidariedade e da igualdade, identifica e administra de modo inteligente para que a cooperação prevaleça, superando as vantagens da luta individual pela existência, conduzindo-nos para uma atitude serena e sábia.

Percebe-se, pois, que o desenvolvimento das estruturas cerebrais nos humanos se organizaram de modo mais complexo e diferenciado que propiciaram abstrações e comportamentos peculiares, o que, por sua vez, trouxe-nos uma consciência superior, mais fina e complexa.

IV – NEUROTRANSMISSORES, NEUROMODULADORES, HORMÔNIOS, E PLASTICIDADE CEREBRAL

Neurotransmissores são substâncias químicas produzidas pelos neurônios, as células nervosas, por meio das quais elas podem

enviar informações a outras células excitáveis (neurônios e células musculares). Os neurotransmissores agem nas sinapses, que são o ponto de junção do neurônio com a outra célula. Essas substâncias atuam no encéfalo, na medula espinhal, nos nervos periféricos e na junção neuromuscular ou placa motora.

Neuromoduladores são, em geral, também produzidos por neurônios e liberados nas suas terminações, modificando o estado funcional das células com as quais eles se conectam. Diferentemente dos neurotransmissores, que rapidamente são metabolizados ou recaptados pelo terminal, a ação dos neuromoduladores é bem mais duradoura.

Já os *Hormônios* são substâncias químicas específicas produzidas por órgãos ou determinadas células de órgãos do sistema endócrino, que são liberadas e transportadas diretamente pelo sangue ou por outros fluidos corporais. A sua função é exercer uma ação reguladora (indutora ou inibidora) em outros órgãos ou regiões do corpo

Normalmente, estes três tipos de substâncias agem de forma integrada, sendo liberados em determinadas situações. Basicamente a diferença entre hormônios e os outros dois tipos de substâncias é que os primeiros são produzidos por órgãos específicos chamados de glândulas endócrinas, e atuam simultaneamente em diversos locais do organismo, de vez que são liberados na corrente sanguínea. Sua ação é assim mais lenta e, em geral, mais duradoura. Já os outros, produzidos por células nervosas (neurônios) são liberados nos seus terminais e assim tem ações mais locais, rápidas e específicas. Uma ampla gama de substâncias presentes no cérebro tem sido identificada como agentes neurotransmissores e como neuromoduladores, relaciona-se a regulação da sua produção e liberação com o crescimento e com diferenciação de dendritos e axônios no cérebro em desenvolvimento, e com arborização dendrítica e sinaptogênese do mesmo

Comparado a outras espécies o cérebro humano é, de longe, o mais complexo e poderoso, porque além do grande número de neurônios ele tem a capacidade incomparável de restaurar suas próprias funções. O cérebro exibe o crescimento de conexões neuronais. Durante nossa vida, um único neurônio pode fazer cerca de 6.000 a

20.000 conexões sinápticas com outros neurônios localizados em diversas partes do cérebro e o número de sinapses que cada neurônio é capaz de fazer tem maior influência no desempenho cerebral do que o próprio número destas células (SCHMIDT, 2000).

Khasal e Stauth (1997) entendem que cada célula cerebral tem “ramificações”, que alcançam outras células cerebrais com finalidade de fazer ligações de memória. O cérebro não armazena cada uma da suas memória em neurônios isolados ou distintos, mas sim em redes neuronais. Se um dado neurônio morre, o cérebro pode restabelecer essa conexão de memória através de outro neurônio e assim conservar a memória. Os neurolobiólogos chamam a isto de *circuitos redundantes*. Assim à medida que ocorre o envelhecimento, as células cerebrais se ramificam cada vez mais, como uma árvore em crescimento, de forma que na meia-idade tem-se muito mais ramificação do que na juventude e essas ramificações extras compensam a morte de células cerebrais.

Experimentos realizados com ratos mostraram que quando os mesmos eram criados em gaiolas contendo brinquedos, como bolas, rodas, escadas, rampas, etc., desenvolviam um córtex cerebral significativamente mais espesso do que aqueles criados em um ambiente mais limitado, sem os brinquedos ou vivendo isolados. O aumento da espessura do córtex não era devido apenas a um maior número de células nervosas, mas sim a um aumento expressivo de ramificação dos seus dendritos e das suas interconexões com outras células. (CARDOSO; SABBATINI, 2000). A partir desta informação, a conclusão óbvia é que o desenvolvimento do cérebro humano talvez seja virtualmente quase ilimitado.

E a medicina moderna está entrando numa era, onde não se pode aceitar o mesmo declínio que nossos avós sofreram. Na maioria das pessoas 20% de todas as células nervosas morrem durante o curso de sua existência. O tamanho do cérebro diminui significativamente e há uma perda da função cerebral. Quando isto acontece há uma baixa de energia vital, do estado de humor, do impulso sexual e da função imunológica. Este declínio do potencial cerebral e da sua energia, em parte, está ligado à excessiva produção do hormônio cortisol pelas glândulas supra-renais, em resposta ao estresse crônico

(CAVALETT *et.al*, 2006). O cortisol retira do cérebro a glicose, sua única fonte de energia, debilitando, entre outros, o principal centro regulador do aprendizado e da memória, o hipocampo. Ele danifica também bilhões de outros neurônios, reduzindo a produção de muitos neurotransmissores, como a acetilcolina e o glutamato (envolvidos no processo de aprendizagem e de memória a longo prazo) comprometendo assim a integridade bioquímica do cérebro. É como se as “linhas” estivessem congestionadas e a memória não pudesse mais ser acessada com facilidade.

Por meio da tomografia computadorizada, da tomografia por emissão de pósitrons e da imagem de ressonância magnética tem sido possível demonstrar a plasticidade cerebral, sendo que áreas “arruinadas” podem ser trazidas de volta à vida funcional. Para tanto é necessário não negligenciar o cuidado físico e emocional do cérebro afim de que as células nervosas possam crescer e se modificar positivamente em resposta às experiências e à aprendizagem (SCHMIDT, 2000).

Estudos realizados por Snowdon (2003) com freiras católicas vivendo em um convento no norte dos Estados Unidos, revelou fatos que apóiam a teoria da estimulação cerebral. Freiras que viveram mais (algumas delas já haviam atingido mais de cem anos de idade) e que mostravam uma melhor saúde mental eram quase sempre aquelas que praticavam atividades tais como pintura, ensino e palavras cruzadas, que exigiam um constante "exercício mental". Uma possibilidade é que todos os estímulos que nos proporcionam experiências diferentes liberam hormônios que libertam os neurônios em estado germinal.

Assim, percebe-se que o número de sinapses que cada neurônio é capaz de fazer tem influência na inteligência e no desenvolvimento cerebral. E à medida que as ramificações dendríticas crescem, há um aumento da capacidade cerebral de integrar mais funções complexas e diferentes. Por exemplo, a cada novo sorriso que encontramos, ao sentir o perfume de uma flor não familiar, ou de ouvir uma harmonia musical diferente, o cérebro forma novas conexões, associando assim a memória dessas experiências por toda extensão do córtex cerebral. Isto explica, por exemplo, o fato de sermos capa-

zes de reconhecer ao telefone, a identidade de uma voz familiar, antes mesmo que seu nome seja pronunciado (SCHMIDT, 2000).

V - CONCLUSÃO

Sintetizando as informações apresentadas acima, é possível dizer que a evolução do sistema nervoso central (SNC) dos animais vertebrados se deu na direção do aumento de complexidade, com um gradativo e marcante aumento do tamanho cerebral, resultado de um crescente número de neurônios e do surgimento progressivo de novas estruturas cerebrais (particularmente o córtex cerebral) e de sua expansão. O caminho de evolução do SNC percorrido pelo seres humanos se deu em direção à crescente intercomunicação entre neurônios, levando ao desenvolvimento de novas estruturas neuronais, que nos possibilitam uma mais rica percepção consciente do mundo em que vivemos e uma mais efetiva adaptação a diferentes ambientes. O processo evolutivo levou (até pela complexidade de suas dimensões e potencialidades) à separação de funções entre os nossos hemisférios corticais, criando-nos, de um lado, um “cérebro” cognitivo, racional e analítico e, de outro, um “cérebro” intuitivo, afetivo e emocional.

Da existência destes dois modos operacionais surge-nos, se soubermos integrá-los harmoniosamente, a potencialidade de um processo de consciência bastante ampliado e de uma vida mais plena, criativa e amorosa.

É preciso também notar que o processo de interação entre os neurônios não é fixo, mesmo após o nosso desenvolvimento e maturação iniciais. Ao contrário, dada a plasticidade entre as conexões sinápticas e à ação variável de substâncias transmissoras e moduladoras, o cérebro deve ser entendido como um conjunto de sistemas funcionais altamente dinâmicos com amplas potencialidades de reajuste e até de recuperação.

Finalmente é preciso considerar que o homem não é um organismo acabado. Seu cérebro continua em constante evolução biológica adequando-se sempre a novas circunstâncias, e em busca do

equilíbrio. Oxalá a adaptação possa nos guiar no sentido de promoção de relações cada vez mais amorosas e cooperativas.

VI - REFERENCIAS

CANTOS, G.A.; HEINRICH, T.A.; SILVA, C.M.; *et al.* Fatores de risco para doenças cardiovasculares e diestresse psicológico em universitário dislipêmicos. **Revista Ciências da Saúde**, v. 26, p. 159-162; 2006.

CARDOSO, S.H.O.; SABBATINI, R.M.E. Aprendizagens e mudanças no cérebro. **Revista Cérebro e Mente**, v.11; 2000.

CAVALET, C.; BERNARDINI, J.D.; BAGESTÃN, M.M.O.; *et al.* Determinação do cortisol sanguíneo e urinário e sua relação com estado de estresse em pacientes de um programa de prevenção para doenças cardiovasculares. **Revista Ciências da Saúde**, v.25, p.103 – 106; 2006.

DAMASIO, A.R. **Descartes Error. Emotion, Reason and the Human Brain**. Avon Books, New York; 1994.

EDELMAN, G.M.; TONONI, G.A. **Universe of consciousness: how matter becomes imagination**. New York: Basic Books; 2000.

GANONG, W.F. **Fisiologia médica**. Edit. Atheneu; 1983.

GOOGLE. Disponível em:
<http://malprg.blogs.com/francoatirador/images/leftrightbrain_000.jpg> Acesso em: 16 nov. 2008.

GOULD, S.J. **The structure of the evolutionary theory**. Cambridge: The Belknap Press of the Harvard University Press; 2002.

GRIER, J.W. **Biology of animal behavior**. Edit. Times, Mirror, Mosby; 1984.

HUBEL, D.H. The brain. In: **The brain: a scientific american book**. San Francisco: Scientific American, W. H. Freeman; 1979. p.4-11.

ITZKOFF, S.W. **The form of man**. Ashfield: Paideia Publishers; 1983.

JERISON, H.J. **Paleoneurobiology and the evolution of mind.** Scientific American, v. 234, n. 1, p:90-101; 1976.

KANDEL, E.R.; SCHWARTZ, J.H. & JESSEL, T.M. **Principles of neural science.** Edit. Elsevier; 1991.

KHASAL, D.S.; STAUTH, C. **Longevidade do cérebro.** Ed. Revista, Rio de Janeiro, RJ; 1997.

KOLB, B.; WHISHAW, I.Q. **Neurociência do Comportamento.** Barueri: Ed. Manole Ltda; 2002.

LASSEN, N.A.; INGVAR, D.H. & SKINHOJ, E. **Brain function and blood flow.** Scient. Amer. V. 239, n. 4, p:50-59; 1978.

LURIA, A.R. **The working brain (introduction to neuropsychology).** The Penguin Press; 1976.

MOUNTCASTLE, V.B. **Fisiologia médica.** Edit. Guanabara Koogan; 1978.

NETTER, F.H. **Nervous system.** Edit. Ciba Collection of Medical Illustrations; 1962.

RIBAS, G.C. Considerações sobre a evolução filogenética do sistema nervoso, o comportamento e a emergência da consciência. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, v. 28, p. 236-238; 2006.

RONSEIN, G.; WALTRICK, C.A.; SILVA, C.M. *et al.* Influência do estresse nos níveis sanguíneos de lipídeos, ácido ascórbico, de zinco e de outros parâmetros bioquímicos. **Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana**, Argentina, v. 38, n. 1, p. 35-38, 2004.

SCHLAUG, G.; JÄNCKE, L.; HUANG, Y.; *et al.* Increased corpus callosum size in musicians. **Neuropsychologia**. vol. 33, p:1047-1055; 1995.

SCHMIDEK, W.R. **Biodanza uma terapia do hemisfério direito.** Monografia de Biodanza, São Paulo; 2005.

SCHMIDT, M. **Gorduras inteligentes.** Ed.Roca, São Paulo, SP; 2000.

SCHREIBER, S.D. **Curar o estresse e a depressão sem medicamento nem psicoanálise.** Sá Editora, São Paulo, SP; 2004.

SINGER, C. **Vesalius on the human brain.** Oxford Univ. Press; 1952.

SNOWDON, D.A. Nun Study - Healthy aging and dementia: findings from the Nun Study. **Ann Intern Med.** **V.** 139, p: 450-4; 2003.

ZIGMOND, M.J.; BLOOM, F.E.; LANDIS, S.C.; ROBERTS, J.L.; SQUIRE, L.R. **Fundamental neuroscience.** Academic Press; 1999.