

DARWINISMO NEURAL: UMA EXTENSÃO METAFÓRICA DA TEORIA DA SELEÇÃO NATURAL

Ana Maria Rocha de Almeida e Charbel Niño El-Hani***

RESUMO

O Darwinismo Neural (DN) explica o funcionamento do sistema nervoso central (SNC) com base em um processo de seleção populacional de grupos neuronais. Três características são compartilhadas entre DN e a teoria da seleção natural: (i) repertórios variados de elementos, cuja fonte de variação não está causalmente relacionada a eventos subseqüentes; (ii) interação com o ambiente, permitindo a seleção de variantes favorecidas; e (iii) reprodução diferencial e herança de características das variantes. Interpretado como uma forma de epistemologia evolucionista, DN pode ser incluído no programa da *epistemologia evolucionista de mecanismos* (EEM), como entendido por Bradie. Este autor caracteriza este programa por focar o entendimento da dinâmica das estruturas cognitivas de uma perspectiva evolutiva. Neste artigo, discutimos como o DN foi construído a partir de uma extensão metafórica da teoria da seleção natural. Os mecanismos propostos por aquela teoria para explicar o desenvolvimento da dinâmica do SNC também são discutidos.

Palavras-chave: darwinismo neural; epistemologia evolucionista; teoria da seleção natural; extensão metafórica.

NEURAL DARWINISM: A METAPHORICAL EXTENSION OF THE THEORY OF NATURAL SELECTION

Neural Darwinism (ND) explains the functioning of the central nervous system (CNS) on the grounds of a process of populational selection of neuronal groups. ND and the theory of natural selection share three characteristics: (i) varied repertoires of elements, with variation source not being causally related to subsequent events; (ii) interaction with the

* Grupo de Pesquisa em História, Filosofia e Ensino de Ciências Biológicas, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia (Ufba). *E-mail:* anagaivota@gmail.com

** Grupo de Pesquisa em História, Filosofia e Ensino de Ciências Biológicas, Departamento de Biologia Geral do Instituto de Biologia da Universidade Federal da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências/Ufba-Uefs. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Biomonitoramento/Ufba. *E-mail:* charbel@ufba.br

environment, allowing for the selection of favored variants; and (iii) differential reproduction and heredity of characteristics of the variants. If interpreted as a form of evolutionary epistemology, DN can be included in the program of the *evolutionary epistemology of mechanisms* (EEM), according to Bradie. He describes this program as focusing on the understanding of the dynamics of cognitive structures from an evolutionary perspective. In this paper, we address how ND was built from a metaphorical extension of the theory of natural selection. We also discuss the mechanisms proposed by that theory to explain the development of CNS dynamics.

Key words: Neural Darwinism; Evolutionary epistemology; Theory of natural selection; Metaphorical extension.

INTRODUÇÃO

A epistemologia é o ramo da filosofia que estuda o conhecimento humano, suas possibilidades e limitações. Tradicionalmente, é considerada uma disciplina normativa, gerando teorias do conhecimento de forma privilegiada e autônoma frente às ciências. Porém, com a revolução darwiniana, em meados do século XIX, tornou-se possível o desenvolvimento de uma abordagem alternativa da epistemologia, na qual a espécie humana e o seu conhecimento são entendidos, sob a luz da evolução, como produtos de um processo evolutivo que impõe limites à cognição e à experiência humanas. O conhecimento humano seria, então, restringido pelo processo evolutivo e, em decorrência, questões epistemológicas não somente poderiam como também deveriam beneficiar-se de estudos empíricos realizados pelas ciências naturais. Nesses termos, poderia ser diminuída a separação entre ciência e filosofia que se afirmou ao longo do século XIX. De acordo com esta perspectiva, os avanços científicos poderiam ser utilizados como fontes de dados para a resolução de questões epistemológicas, algo que não parecia recomendável para visões anteriores sobre a epistemologia, comprometidas com a idéia de que questões de fato não devem interferir no fazer filosófico.

A corrente de pensamento que concebe, dentro da epistemologia, esta proximidade entre as pesquisas científica e filosófica é chamada de epistemologia naturalizada, naturalismo epistemológico ou, simplesmente, naturalismo (Abrantes, 1998). A epistemologia evolucionista, por sua vez, pode ser entendida como um ramo do naturalismo epistemológico, sendo caracterizada pelo uso de um pensamento evolucionista na tentativa de entender a cognição e o conhecimento humanos.

A teoria da seleção de grupos neuronais (TSGN), também conhecida como darwinismo neural (DN), foi proposta por Gerald Edelman (1987; 1988; 1989; 1992. Ver tb. EDELMAN e TONONI, 1995, 2000) para tentar explicar os fenômenos mentais, incluindo os fenômenos conscientes, sob uma perspectiva neurocientífica. Ela está baseada no pensamento populacional, estabelecido, desde a ascensão do darwinismo em meados do século XIX, como modo característico de pensar a biologia, em oposição ao pensamento tipológico. Segundo esse último modo de pensar, prevalente durante todo o período anterior à publicação de *A Origem das Espécies*, existiria um número limitado de “tipos” fixos e imutáveis, subjacente a toda a variabilidade observada no mundo natural. Nessa perspectiva, a existência do tipo é entendida como um fato real, enquanto a variação é concebida como nada mais do que uma imperfeição do tipo, em suas manifestações particulares. O pensamento populacional, por sua vez, enfatiza o caráter único de cada indivíduo na natureza. Os organismos individuais, bem como outros tipos de entidades orgânicas, formam populações, nas quais a variação é a regra, e não a exceção. Longe de ser uma imperfeição, a variação constitui uma das bases do próprio processo evolutivo e, no pensamento populacional, o “tipo” é uma abstração construída a partir das médias populacionais (MAYR, 1994; 1998).

De acordo com a TSGN, mecanismos de seleção não atuam apenas no tempo evolutivo, mas também durante o tempo somático de um indivíduo. Segundo ela, os neurônios individuais formam grupos neuronais que são a base da variação sobre a qual atuam mecanismos de seleção somática, gerando padrões complexos de estrutura e funcionamento cerebrais. De acordo com esta teoria, grupos de centenas a milhões de neurônios fortemente conectados agem como unidades funcionais e constituem também unidades de seleção no sistema nervoso central (SNC) (EDELMAN, 1987). Os padrões funcionais são apresentados, no contexto desta teoria, como a base para o entendimento dos fenômenos mentais, e, portanto, podemos dizer que a TSGN busca constituir-se como uma teoria fisicalista da mente.

Segundo Edelman (1992), a TSGN é uma teoria evolutiva da mentalidade, criando uma ponte entre a biologia e a psicologia. Segundo ele, uma teoria que tem como objeto as bases biológicas da psicologia deve ser consistente com os princípios centrais da biologia do desenvolvimento e evolutiva, devendo ser uma teoria biológica e darwinista da mentalidade. Ele afirma ainda que a TSGN pode ser entendida como uma “extensão metafórica” da teoria darwinista, sendo possível perceber, contudo, não somente analogias, mas também diferenças importantes entre os processos de seleção natural e seleção de grupos neuronais. Precisamente por ser uma extensão de natureza

metafórica, ela não dá apoio a interpretações literais, que imponham analogias num domínio de fenômenos onde estas não podem ser efetivamente sustentadas.

O presente artigo divide-se em três partes. A primeira delas trata da epistemologia naturalizada e, em particular, da epistemologia evolucionista, como ramo da primeira. Nessa seção, são discutidas, também, as principais questões da epistemologia evolucionista, segundo proposta de Bradie (1986, 1994). A segunda parte do artigo é dedicada a uma análise do darwinismo neural e de seus principais postulados. Por fim, tentaremos entender esse programa – o darwinismo neural – à luz da epistemologia evolucionista, entendendo-o como uma extensão metafórica da teoria da seleção natural, segundo os critérios propostos por Bradie (1986).

NATURALISMO EPISTEMOLÓGICO

A epistemologia ocupa-se dos fundamentos e da natureza do conhecimento (BRADIE, 1994). Por ser normativa, ela se preocupa, em particular, com a avaliação de estratégias e de seus produtos (crenças). Dentre as estratégias que a epistemologia avalia, estão aquelas empregadas pelas ciências. Quine foi o primeiro a tentar reverter esta posição, concebendo a epistemologia como parte da empreitada científica e, conseqüentemente, propondo que resultados desta última seriam capazes de iluminar questões da primeira. Deve-se observar, primeiro, que a tentativa de naturalizar a epistemologia não pode ser considerada simplesmente impossível, dado que a ciência é algumas vezes normativa e pode ter sucesso em avaliar suas próprias estratégias e seus instrumentos (HONDERICH, 1995). Nessa visão, contudo, os limites entre ciências e epistemologia são borrados, de modo que os resultados das ciências podem ser utilizados como fontes de dados e inspiração para a resolução de questões epistemológicas. Essa corrente de pensamento na epistemologia tem sido chamada de epistemologia naturalizada ou naturalismo epistemológico (ABRANTES, 1998).

A revolução darwiniana possibilitou o desenvolvimento dessa abordagem alternativa no campo da epistemologia. À luz da evolução, a espécie humana é, ela própria, um produto evolutivo e, desse modo, o processo evolutivo impõe limites à cognição e à experiência humanas. O conhecimento é visto, então, como restringido pelo processo evolutivo e concebe-se que a epistemologia, por sua vez, poderia beneficiar-se de um diálogo com o tratamento científico da evolução humana.

Abrantes (1998) propõe uma subdivisão do naturalismo epistemológico – ou, simplesmente, naturalismo – em tradicional e radical. Para ele, o

naturalismo tradicional refere-se a um campo de estudos que mantém o compromisso normativo da epistemologia, dentro de um projeto de melhoramento do nosso desempenho cognitivo a partir do conhecimento empírico do mundo e de nossas limitações cognitivas, derivado de áreas como a física, a biologia e a psicologia. Já o naturalista radical está comprometido, de acordo com Abrantes, com o abandono do estatuto normativo da epistemologia, de modo que o apelo ao conhecimento científico se justificaria por um objetivo apenas explicativo, e não prescritivo. Em suas palavras:

Juntamente com o abandono do projeto normativo, as versões naturalistas mais radicais tendem a eliminar qualquer referência à noção de racionalidade. As posições menos radicais defendem somente a substituição de uma noção categórica (incondicional) e essencialista de racionalidade [...] por uma noção instrumental (condicional), entendida em termos da adequação entre fins e métodos. (ABRANTES, 1993)

A influência do naturalismo vem crescendo nos últimos anos e, hoje, ele apresenta diversas orientações, por vezes conflitantes. Para os naturalistas, o caráter *a priori*¹ das suas teorias do conhecimento passa a ser tão falível quanto o de qualquer teoria científica e, desse modo, a epistemologia estaria comprometida, de modo necessário, a articular hipóteses e teorias que também estariam sujeitas a testes empíricos. Segundo essa visão, os conceitos e as teorias epistemológicas estão sujeitos ao crivo da experiência, assim como no caso dos conceitos e das teorias científicas (ABRANTES, 1993).

Dentro da epistemologia naturalizada, podemos reconhecer uma corrente que defende que a produção do conhecimento é regida por leis evolutivas. Essa corrente é chamada de epistemologia evolucionista (BRADIE, 1986). Em parte, a epistemologia evolucionista (EE) envolve, também, a aplicação de modelos e metáforas extraídos da biologia evolutiva para o desenvolvimento de teorias epistemológicas, na tentativa de caracterizar o desenvolvimento cognitivo humano.

¹ Deve-se notar que proposições *a priori*, que poderiam ser supostamente conhecidas sem qualquer experiência do curso específico dos acontecimentos no mundo, são elas próprias controversas. Isso porque não é realmente claro como o pensamento puro, sem o auxílio da experiência, pode dar lugar ao conhecimento. As duas grandes áreas na qual o conhecimento *a priori* parece ser possível são a matemática e a lógica. A preocupação do empirismo, no entanto, tem sido negar que este tipo de conhecimento seja possível no caso do mundo fenomênico. A distinção entre as categorias *a priori* e *a posteriori* dá lugar a um dos problemas fundamentais da epistemologia, a saber, o lugar da experiência e da razão na gênese do conhecimento (BLACKBURN, 1997).

A extrapolação de modelos e teorias de um campo do conhecimento científico para outro, constituindo-se em ponto de partida para pensar questões de uma dada área, é uma ferramenta bastante útil e frequentemente utilizada pelos cientistas. Segundo Bradié (1994), os modelos e metáforas têm um importante papel no pensamento científico como ferramentas para sugerir novas explicações para um fenômeno, novos experimentos e teorias, ou maneiras de expandir velhas teorias, e constituem-se em contribuições heurísticas óbvias. Podemos encontrar, na história das ciências, diversos exemplos de extensões metafóricas de teorias de um domínio para outro. Em particular, metáforas parecem ter um papel central na linguagem científica porque estabelecem ligações entre ela e o mundo, apresentando, portanto, um papel fundamental no ensino e na descoberta (GENTNER e JEZIORSKI, 1993).

Black (1995), ao revisitar seu clássico estudo *Models and Metaphors* (1962), reafirma que, numa metáfora, as interações mútuas entre a expressão metafórica e as teorias envolvidas (teoria-base e teoria-alvo²) levam a uma mudança de significado das palavras utilizadas na expressão metafórica. Nesse sentido, a metáfora possui um significado próprio, que extrapola seu conteúdo na teoria-base. Tal extrapolação torna arriscado, muitas vezes, o uso de metáforas nas ciências. Além disso, a linguagem metafórica apresenta outras limitações. Claramente, as metáforas carecem de explicitude e precisão, características fundamentais da linguagem científica (BOYD, 1993). Ainda assim, elas desempenham papéis cognitivos, heurísticos e retóricos fundamentais nas ciências, não parecendo possível dispensá-las (BRADIE, 1980, 1999; LAKOFF e JOHNSON, 1980; NIJHOUT, 1990; ORTONY, 1993; ROCHA & EL-HANI, 1996; VAN DER WEELE, 1999).

A epistemologia evolucionista pode ser entendida, então, como o resultado do uso de um procedimento bastante fértil na prática científica e filosófica, apesar de seus riscos: a construção de modelos analógicos a partir de teorias estabelecidas em certa área do conhecimento, no caso, a biologia evolutiva. Deve-se notar, no entanto, que Campbell (1960), um dos primeiros defensores de uma epistemologia evolucionista, não a entende apenas como uma tentativa de entender o conhecimento através do uso de metáforas derivadas da biologia evolutiva, mas, também, como uma tentativa de entender os processos biológicos em termos de metáforas derivadas da epistemologia. Nesse sentido, o estudo da epistemologia poderia contribuir para teorias biológicas sobre a cognição e a aprendizagem, ou seja, a compreensão da

² A teoria-base é a teoria “fonte”, ou seja, de onde se extrai o conteúdo a ser estendido a outro domínio do conhecimento, enquanto a teoria-alvo é o sistema de significados ao qual a metáfora está sendo aplicada.

maneira como o conhecimento é construído poderia iluminar as pesquisas sobre a cognição humana.

Segundo Bradie (1994), parece haver três distinções básicas necessárias para o entendimento das epistemologias evolucionistas. A primeira dessas distinções advém do fato de que, sob a expressão “epistemologia evolucionista”, é possível discernir dois programas de pesquisa distintos, ainda que muitas vezes inter-relacionados (Bradie, 1986). De um lado, o programa da epistemologia evolucionista de teorias (EET), que busca explicar a evolução do conhecimento humano e o estabelecimento de normas de conduta com base em modelos analógicos derivados da biologia evolutiva. De outro, a epistemologia evolucionista de mecanismos (EEM), que toma como base a evolução para explicar o desenvolvimento do sistema cognitivo humano e de suas estruturas - cérebro, sistema sensorial, sistema motor etc. -, explorando as conseqüências epistemológicas de tal abordagem. Esse programa é caracterizado pela busca de entendimento do desenvolvimento e da dinâmica de estruturas cognitivas a partir de uma perspectiva evolutiva, enfatizando suas contribuições para a adaptação dos organismos às circunstâncias ambientais.

A segunda distinção fundamental proposta por Bradie refere-se à diferença entre abordagens filogenéticas e ontogenéticas. As abordagens ontogenéticas buscam, no desenvolvimento do indivíduo e do seu SNC, informações sobre o funcionamento e as possíveis limitações de seu sistema cognitivo. Já as abordagens filogenéticas tentam esclarecer as relações de parentesco entre os grupos animais, observando suas características neuropsíquicas, a fim de perceber restrições filogenéticas e padrões de funcionamento do SNC que nos permitam entender o fenômeno da cognição.

A terceira distinção tratada por Bradie (1994) se refere às correntes descritiva e prescritiva da epistemologia. A corrente prescritiva está mais ligada às tendências tradicionais da epistemologia, enquanto a corrente descritiva está mais ligada à epistemologia evolucionista. Contudo, Abrantes (1993) identifica ambas as correntes dentro do naturalismo. Segundo esse autor, é possível distinguir entre um naturalismo tradicional, que ainda mantém propósitos prescritivos, e um naturalismo radical, que abandona qualquer forma de normatização. Em oposição a uma epistemologia analítica ou prescritiva, Campbell (1974), por exemplo, caracteriza a sua visão como *descritiva* do homem na sua condição de conhecedor. De acordo com o naturalismo radical, objetivos normativos não são admitidos, ou, no mínimo, são restringidos na epistemologia, e as teorias epistemológicas são tratadas como conjecturais e sujeitas ao crivo dos testes empíricos. Como resultado de tais discussões, três possíveis relações podem ser identificadas entre as epistemologias descritiva

e prescritiva: (i) alguns entendem a primeira como competidora da epistemologia tradicional ou prescritiva, (ii) outros como sucessora, e (iii) outros, ainda, como complementar (CAMPBELL, 1974).

Dentro desse quadro geral, Bradie (1994) propõe o entendimento da teoria da seleção de grupos neuronais como pertencente ao programa EEM. A TSGN é uma teoria neurocientífica que tenta explicar as funções mentais superiores (pensamento, linguagem, consciência, entre outras), com base em pressupostos evolucionistas, caracterizando-se, ainda, como uma abordagem ontogenética. Essa teoria será discutida a seguir.

DARWINISMO NEURAL OU TEORIA DA SELEÇÃO DE GRUPOS NEURONAIS (TSGN)

A teoria da seleção de grupos neuronais (TSGN) ou darwinismo neural (DN) é uma teoria neurocientífica proposta inicialmente por Gerald Edelman, no final da década de 1970 (EDELMAN 1988). A teoria foi articulada de modo cada vez mais detalhado nas décadas seguintes, em trabalhos individuais (EDELMAN 1987, 1988, 1989, 1992) e em colaboração com uma série de pesquisadores, com destaque, mais recentemente, para Giulio Tononi (EDELMAN e TONONI, 1995, 2000). A TSGN consiste em uma tentativa de explicar os fenômenos mentais com base na neurofisiologia e na ontogenia do sistema nervoso central (SNC).

A teoria discute tais fenômenos com base em dados empíricos sobre a química, a anatomia e a fisiologia cerebrais, tratadas como os realizadores das funções mentais, mas sem um compromisso com explicações reducionistas (*e.g.*, EDELMAN, 1992). A TSGN, portanto, se enquadra entre as teorias da mente fisicalistas, pressupondo um “realizacionismo físico” (KIM, 1998). A idéia de realização física implica que as propriedades mentais, quando realizadas, possuem uma base neural suficiente (mas não necessária, dada a realização múltipla) para sua realização. Isso quer dizer que nenhuma propriedade mental pode ser instanciada sem uma base neural subjacente, mas, ao mesmo tempo, propriedades mentais não podem ser reduzidas a propriedades neurais.

Segundo Edelman (1992), três pressupostos estão na base da TSGN. O primeiro deles, o pressuposto físico ou fisicalista, especifica que, nessa teoria, as leis da física não são violadas. Espíritos, almas ou substâncias mentais não têm qualquer participação nos eventos mentais, de acordo com essa teoria. Edelman afirma que a descrição do mundo pela física moderna é uma descrição adequada, porém não constitui uma base suficiente para uma teoria da

consciência, por não incluir, por exemplo, uma teoria da intencionalidade.³ Edelman, como um fisicalista, considera os fenômenos mentais como tipos especiais de funcionamento extremamente complexo de mapas neurais (ver abaixo), mas, ao mesmo tempo, procura não ignorar o papel da psicologia nas explicações de tais fenômenos.

O segundo pressuposto é denominado por Edelman “evolutivo” e assume que a mente e a consciência surgiram em algum ponto da evolução das espécies, e, assim, não existiam anteriormente. Além disso, ele inclui a suposição de que algumas funções mentais devem ser anteriores à própria consciência. Esse pressuposto elimina do quadro da teoria o panpsiquismo.⁴ Ele implica, ainda, que a aquisição da mente e da consciência ou conferiu diretamente aptidão darwiniana (*fitness*) aos organismos que as possuíam ou proveu uma base para o desenvolvimento de outros traços que aumentaram a aptidão darwiniana. Esse pressuposto implica, também, a tese de que a mente e a consciência são eficazes, ou seja, promovem uma vantagem adaptativa para o organismo que as possui, não sendo meros epifenômenos.

Por fim, o terceiro pressuposto é o dos qualia, que, segundo Edelman (1992), podem ser entendidos como uma forma de categorização de ordem superior, com relação ao “eu” (*self*) e a outros seres com aparato mental similar. Na TSGN, os qualia são entendidos como propriedades analisáveis da mente, relacionadas aos estados subjetivos e à consciência de ordem superior. Edelman não se compromete, assim, com a idéia comum na filosofia da mente de que os qualia seriam propriedades não-analisáveis, por serem intrínsecos, não-relacionais (KIM, 1996, 1998).

Edelman (1987; 1992) e Edelman e Tononi (2000) assumem, na TSGN, três mecanismos básicos que regem os eventos de formação e funcionamento cerebral, bem como explicam o funcionamento do SNC: (i) seleção somática; (ii) formação de mapas neurais; e (iii) sinalização reentrante. Esses mecanismos

³ Por “intencionalidade”, entende-se a qualidade de estar dirigido para algo, ou de “ser” acerca de algo, que está presente na maioria dos, se não em todos os estados conscientes. Nossos pensamentos, nossas crenças, nossos anseios, nossos sonhos e nossos desejos são acerca de coisas, do mesmo modo que as palavras que usamos para exprimir nossos estados mentais. O problema da intencionalidade diz respeito à tentativa de compreender em que consiste a relação que se verifica entre um estado mental ou a sua expressão e aquilo a que aquele estado mental, por ser intencional, se refere, seu conteúdo (BLACKBURN, 1997).

⁴ O panpsiquismo é a posição que sustenta que todas as partes da matéria implicam consciência, mas que esta consciência pode variar, de acordo com o grau em que as coisas apresentam estados internos subjetivos. Os que aceitam esta doutrina o fazem por não admitirem meios de explicar como a mente poderia ser formada a partir de entidades não-mentais (BLACKBURN, 1997; HONDERICH, 1995).

são, de acordo com a TSGN, responsáveis pela produção da variação, seleção de variantes e integração dos processos neuronais.

Dois tipos de seleção somática são distinguidos no contexto da TSGN: seleção no desenvolvimento (SD) e seleção na experiência (SE). A seleção no desenvolvimento produz variação de repertórios neuronais por meio da morte, reprodução e migração diferenciais de neurônios. Ela acontece principalmente durante o estágio embrionário de desenvolvimento e é capaz de produzir padrões neuroanatômicos únicos. Para Edelman (1992), as células migram, reproduzem-se e morrem de maneira que não pode ser prevista de uma perspectiva exclusivamente molecular, competindo umas com as outras, durante o desenvolvimento cerebral.

Na SD, diversos mecanismos moleculares estão atuando, e, na TSGN, eles não são considerados isoladamente. Nem mesmo a migração e a adesão celular, inicialmente dependentes da expressão das moléculas morforregulatórias CAM (moléculas de adesão celular) e SAM (moléculas de adesão ao substrato), podem ser entendidas exclusivamente do ponto de vista molecular, porque, como enfatiza Edelman (1995), a regulação da expressão dessas moléculas está sujeita a fatores epigenéticos. As CAMs, quando expressas nas superfícies das células neuronais, as conectam, levando à formação de grupos celulares, cujas bordas são identificadas por CAMs de diferentes especificidades. O processo de ligação dos grupos celulares assegura a regulação da movimentação das células e das subseqüentes sinalizações intracelulares, levando ao aparecimento da forma estrutural. Sinais bioquímicos específicos estão presentes em locais particulares, assegurando a constância da morfologia das espécies (Edelman, 1987). A regulação da expressão das SAMs e CAMs leva, portanto, à produção de morfologia. Durante o desenvolvimento, a migração celular é dependente da expressão de tais moléculas de superfície. Durante essa fase, milhares de neurônios também morrem, permanecendo aqueles devidamente selecionados por tal processo regulatório. Este processo de seleção resulta num padrão único de grupos neuronais, constituindo o que Edelman chama de “repertório primário” (Figura 1).

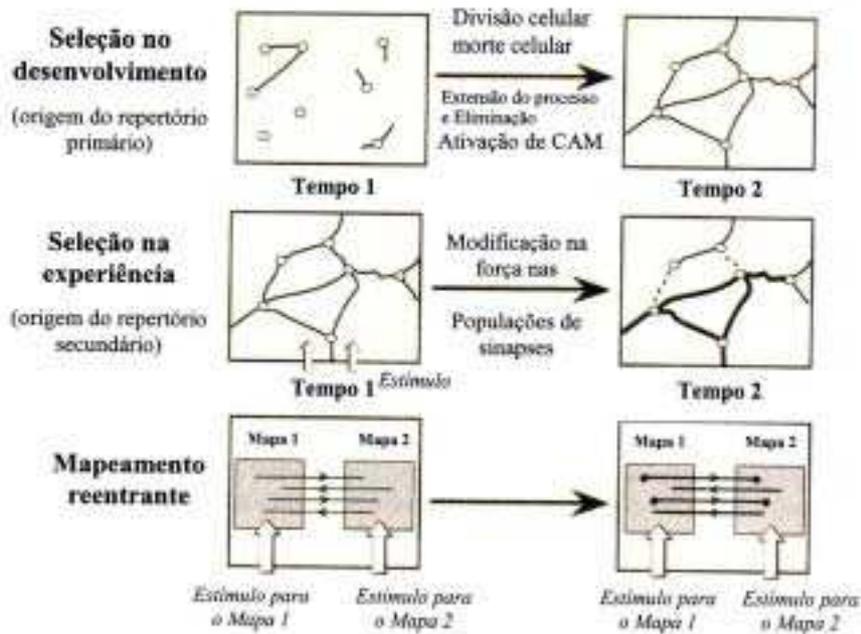


Figura 1 – Os três mecanismos propostos na TSGN. Inicialmente, a seleção no desenvolvimento leva à formação dos repertórios primários. Posteriormente, ocorre a formação do repertório secundário, através da seleção na experiência. E, por fim, tem lugar a sinalização reentrante, realizada entre mapas neurais (adaptado de EDELMAN, 1992).

Por sua vez, a seleção na experiência (SE) se inicia logo após o nascimento, sendo decorrente da exposição do bebê a um mundo totalmente novo. Apesar de novo, o mundo não se mostra completamente incompreensível para o recém-nascido e a atenção seletiva do bebê levou Edelman a pressupor a existência de predisposições fenotípicas, chamadas por ele de “valores”⁵. Os valores vêm sendo preservados nas diferentes linhagens filogenéticas através dos tempos, por refletirem eventos de significância adaptativa, contribuindo,

⁵ O termo “valor” é utilizado na TSGN com um significado técnico próprio, referindo-se a predisposições fenotípicas conservadas durante a evolução porque conferem uma vantagem adaptativa ao organismo, por permitir a categorização dos comportamentos em termos de seu significado adaptativo. Esse conceito, portanto, não se relaciona estritamente ao significado coloquial do termo, devendo-se ter o cuidado de não o interpretar dessa maneira.

assim, para a aptidão darwiniana (*fitness*) dos indivíduos. De acordo com Edelman (1987), os valores são percebidos internamente como sensações, permitindo que o bebê selecione ativamente as experiências, levando ao que ele chama de “categorização por valor” (EDELMAN, 1992). Um exemplo desse tipo de categorização seria “comer é melhor do que não comer”. Contudo, o indivíduo em desenvolvimento também cria suas próprias categorias ao longo da experiência e utiliza tanto as categorias inatas quanto as construídas para atribuir sentido ao mundo ao seu redor. Durante a experiência, grupos neuronais são ativamente selecionados nas interações do indivíduo com o mundo, constituindo o que Edelman chama de “repertório secundário”. A formação do repertório secundário não envolve alteração do padrão anatômico, propondo-se que, durante o comportamento, conexões sinápticas são fortalecidas ou enfraquecidas através de processos bioquímicos específicos. Este mecanismo gera circuitos funcionais a partir dos padrões neuroanatômicos do repertório primário. Até certo ponto, os mecanismos que levam à formação dos repertórios primário e secundário são interconectados.

À medida que os padrões de interconexão entre populações de neurônios se tornam mais complexos, as informações são correlacionadas e categorizadas na própria estrutura funcional do SNC. Os padrões se desenvolvem, ao longo da ontogenia humana, até o aparecimento das funções mentais superiores e de um sentido do Eu, a autoconsciência. Para explicar o salto dos níveis “inferiores” de interconexão neuronal aos níveis “superiores” de função mental, incluindo as funções conscientes, Edelman (1992) toma como base as idéias de “mapa neural” e “sinalização reentrante”. Para ele, os mapas são séries interrelacionadas de grupos neuronais – formados a partir dos repertórios primário e secundário –, envolvendo centenas desses grupos funcionais e permitindo uma resposta adequada às experiências do mundo, com base na categorização por valor, explicada acima. A sinalização reentrante refere-se ao mecanismo de ligação entre os grupos neuronais de diferentes mapas funcionalmente correlatos, através de seleção paralela e correlação temporal das atividades desses mapas, de maneira recursiva e bidirecional (ver Figura 1). Para Edelman e Tononi (2000), a “reentrada” não é apenas o mais importante mecanismo integrativo em cérebros estruturalmente mais complexos, mas também um dos mais desafiadores princípios conceituais propostos na TSGN. De fato, uma premissa fundamental dessa teoria é a de que a seleção coordenada de padrões complexos de interconexão entre grupos neuronais, por reentrada, está na base de todo comportamento (EDELMAN, 1992).

Segundo Kandel, Schwartz e Jessel (1997, 2000), as áreas do córtex visual de primatas, por exemplo, apresentam cerca de 30 mapas funcionalmente distintos, cada um tendo um papel definido na categorização do estímulo,

relacionando-se à posição espacial, cor, forma etc. Diante dos estímulos sensoriais oriundos de um certo objeto no mundo exterior, esses mapas precisam, porém, interconectar-se de maneira rápida e simultânea, para que tenhamos a imagem formada de maneira inteligível. Na filosofia da mente e na neurociência, este é o chamado “problema da ligação”: Como explicar a ativação simultânea e o funcionamento correlato de diversas áreas cerebrais? A TSGN afirma que a integração de mapas neurais é o resultado dos efeitos construtivo e correlativo da sinalização reentrante dentro de e entre áreas corticais relevantes. Em suma, esta é a solução proposta pela TSGN para o problema da ligação. Esse processo é fundamental para a categorização perceptiva, que se encontra na base de qualquer construto perceptivo, mostrando, portanto, grande significado adaptativo.

Ao relacionar-se com o mundo, um organismo recebe diversos estímulos sensoriais distintos, precisando, a partir desses estímulos, coordenar respostas adequadas a cada situação. A percepção envolve, como destaca Edelman (1987), o ato de discriminar um objeto ou evento através de uma ou mais modalidades sensoriais, separando-o dos outros objetos ou eventos. Nesse contexto, o mundo se apresentaria como um ambiente não rotulado (*prelabeled*, segundo EDELMAN, 1987) onde o organismo interage gerando categorias. Assim, a percepção implica, necessariamente, categorização e generalização, processos pelos quais podemos tratar objetos ou eventos aparentemente diferentes como equivalentes. Ou, dito de outra maneira, a percepção implica a habilidade de agrupar, mediante a apreciação de propriedades semelhantes, objetos e eventos distintos (EDELMAN, 1992).

Mas – poderíamos pensar – como categorizamos objetos e eventos, dada a suposição de um mundo não previamente identificado, na ausência de categorias pré-determinadas? Segundo a TSGN, o processo de categorização deve ser entendido do ponto de vista de um organismo em adaptação ao seu nicho. Mapas neurais distintos recebem os estímulos externos e, devido à intensa interconexão e redundância neuronais, neurônios em diversas partes do cérebro são capazes de interconectar-se, formando o que Edelman (1992) chama de “mapa global”. Um mapa global é uma estrutura dinâmica contendo múltiplos mapas locais reentrantes, capazes de interagir com partes não-mapeadas do cérebro. O mapa global permite, então, a ocorrência de eventos seletivos ao nível dos mapas locais, conectando a resposta motora do animal a estímulos do mundo. A seleção de grupos neuronais em determinados mapas locais de um mapa global resulta em categorizações perceptivas particulares, sendo essas categorizações, como já mencionado, realizadas com base nos valores.

Em um nível extremamente complexo de funcionamento, Edelman (1987) postula dois tipos de consciência: a consciência primária ou de primeira ordem e a consciência de ordem superior ou de segunda ordem. A primeira é definida como o estado de estar conscientemente atento às coisas do mundo, sem qualquer percepção de passado e futuro, e sem autoconsciência (EDELMAN, 1992). A partir do surgimento do sistema cortical, os organismos foram capacitados a coordenar categorizações espaço-temporais do mundo, no que é chamado, na TSGN, de “cena”. Segundo esta teoria, uma cena é um conjunto de categorizações organizadas no espaço e no tempo, incluindo eventos familiares e não-familiares, que é de extrema utilidade para que o organismo consiga conectar tais eventos a eventos anteriormente aprendidos, e, desse modo, possa comportar-se de modo eficaz em ambientes complexos. No contexto da TSGN, postula-se que foi exatamente o desenvolvimento evolutivo da habilidade de ‘gerar’ uma cena que levou à emergência da consciência primária. Para Edelman, a consciência primária aparece, pelo menos, desde os mamíferos, enquanto a consciência de ordem superior (ver abaixo) seria exclusiva da espécie humana.

O surgimento da consciência primária, segundo o modelo proposto na TSGN, depende da ocorrência de três eventos: o surgimento do sistema cortical (ligado fortemente ao sistema límbico), o desenvolvimento de uma memória que relaciona a aprendizagem às emoções do organismo (memória conceitual), e o aparecimento de um circuito especial de reentrada, que permite a sinalização reentrante entre a memória conceitual e os mapas globais ligados à categorização perceptiva, em tempo real. Com estes sistemas, temos, então, a emergência da categorização conceitual das percepções e esta interação entre a memória conceitual e a categorização perceptiva leva ao surgimento da consciência primária. A consciência primária é fundamental para o surgimento da consciência de ordem superior, mas está circunscrita a um pequeno intervalo de tempo, que podemos chamar de presente (Figura 2).



Figura 2 – Esquema representativo da consciência primária, segundo proposto na TSGN (adaptado de EDELMAN, 1992).

Portanto, a consciência primária permite a formação de uma cena e esta imagem pode ser, em parte, regenerada pela memória. Mas, de acordo com Edelman, esta “lembrança” não pode acontecer com referência a uma memória simbólica, ou seja, a uma memória de símbolos e seus respectivos significados. Além das estruturas envolvidas na consciência primária, a consciência secundária requer a habilidade de construir um “mundo” social e em termos do passado e do futuro. Para Edelman (1992), na ausência de uma memória simbólica, isso não pode acontecer.

A pergunta a ser respondida, e que nos leva ao entendimento da emergência da consciência de ordem superior, é a seguinte: como tornamos conscientes de estarmos conscientes? Um dos requisitos para o surgimento de tal fenômeno mental é, então, a possibilidade de relacionar a representação conceitual de um Eu social a um sistema de memória. A memória de longo termo de relações simbólicas, adquiridas durante a interação social com outros indivíduos da mesma espécie, é fundamental para o conceito do Eu social

(EDELMAN, 1992). O desenvolvimento de repertórios neuronais capazes de retardar respostas são, por isso, requeridos e acredita-se hoje que estes sistemas estejam localizados em regiões específicas do lobo frontal. Esses repertórios são capazes de categorizar os processos da própria consciência primária e isso acontece através de vias de simbolização, por comparação, punição e recompensa durante o contato social. A capacidade de simbolização de um indivíduo está intimamente ligada com os processos cognitivos da linguagem. Acredita-se, com isso, que o desenvolvimento de uma linguagem seja, também, um requisito básico para a emergência da consciência de segunda ordem. Dado o surgimento da capacidade de distinguir modelos conceituais simbólicos da experiência perceptiva corrente, um conceito de passado pode, então, emergir. Esse fenômeno é o que Edelman (1992) denomina “presente lembrado” (*the remembered present*) e possibilita um quadro referencial de passado e futuro (Figura 3).

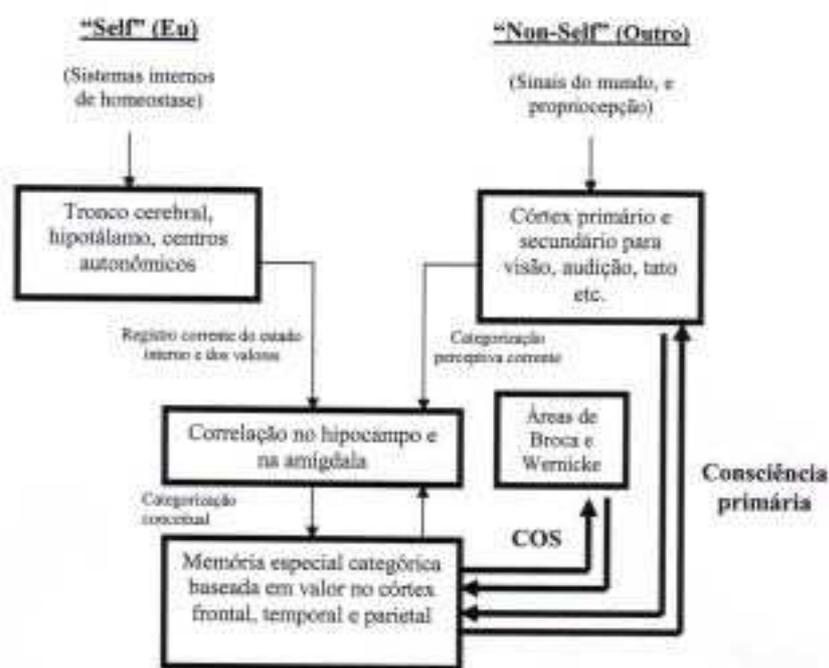


Figura 3 – Esquema representativo da consciência de ordem superior (COS), segundo proposto na TSGN (adaptado de EDELMAN, 1992).

A consciência de segunda ordem é, nesses termos, a própria autoconsciência, a consciência do Eu em um quadro temporal de passado, presente e futuro. O surgimento de ambos os tipos de consciência está ligado a novos processos de reentrada que teriam aparecido no curso da evolução. Além disso, elas coexistiriam na espécie humana. Quando a consciência primária ou a consciência de ordem superior aparece, estamos lidando com níveis enormes de complexidade no cérebro, com padrões que envolvem a formação de mapas de mapas de mapas etc. O surgimento de ambos os tipos de consciência, portanto, está ligado a novos processos de reentrada que aparecem no curso da evolução e, segundo Edelman (1992), a consciência de ordem superior pode ser encontrada apenas em humanos.

Todos os fenômenos mentais poderiam ser explicados, segundo a TSGN, com base nos mecanismos expostos acima. Recentemente, porém, Edelman e Tononi (2000) postularam uma nova hipótese, a hipótese do núcleo dinâmico, após evidências sugerindo que apenas uma pequena fração de grupos neuronais contribua diretamente para o estado consciente (EDELMAN e TONONI, 1998; EDELMAN e TONONI, 2000). Segundo esta hipótese, um grupo de neurônios pode contribuir diretamente para o estado consciente se fizer parte de um agrupamento (*cluster*) funcional distribuído, através de circuitos de reentrada no sistema tálamo-cortical. Um agrupamento funcional pode ser entendido como um grupo de elementos que interagem fortemente e que são funcionalmente demarcados do resto do sistema (EDELMAN e TONONI, 2000), atingindo, portanto, alto grau de integração. Além disso, para a manutenção do estado consciente, é essencial que tal agrupamento funcional seja altamente diferenciado, exibindo alto grau de complexidade.⁶

⁶ A medida de complexidade considerada na TSGN se refere à avaliação da informação mútua existente entre cada grupo neuronal e o resto do sistema, para todas as bipartições possíveis do sistema. Segundo EDELMAN e TONONI (2000), tal medida de complexidade, que eles chamam de *complexidade neural*, pode ser dada pela fórmula:

$$C_N(X) = \sum_{k=1}^{n/2} [MI(X_j^k; X-X_j^k)]$$

onde X^k são os grupos neuronais; n , o número de elementos do sistema; e MI , informação mútua entre o grupo e o resto do sistema.

Além disso, MI pode ser medida através da fórmula:

$MI(X_j^k; X-X_j^k) = H(X_j^k) + H(X-X_j^k) - H(X)$, num sistema X , um grupo neuronal j de k elementos (X_j^k), sendo o seu complemento no sistema indicado por $(X-X_j^k)$ e H sendo a entropia.

Portanto, na TSGN, a consciência não é uma “coisa” e tampouco uma propriedade. Ela é entendida como o resultado da realização de um processo integrado e diferenciado de ativação neuronal (EDELMAN e TONONI, 2000) e, portanto, ontologicamente um processo.

A METÁFORA EVOLUTIVA

O termo “modelo” é utilizado por cientistas e filósofos com uma pluralidade de significados. Como proposto por Abrantes (1999), pelo menos três tipos de modelos podem ser diferenciados: os modelos semânticos, que podem ser entendidos como interpretações do cálculo de uma teoria; os modelos analógicos, que são construídos a partir de teorias familiares que servem como base para a construção de teorias aplicáveis a novos domínios de fenômenos; e os modelos como representações idealizadas de sistemas particulares, que podem ser inseridos numa teoria fundamental, possibilitando a aplicação dessa última àqueles sistemas.

A TSGN pode ser entendida como um modelo analógico da teoria da seleção natural. Uma analogia baseia-se em semelhanças, enfatizando-as, e está além do significado literal das palavras. Por “extensão metafórica” de um termo, podemos entender o modo como ele abrange coisas semelhantes. Então, um argumento analógico apóia-se na idéia de que, uma vez que as coisas são parecidas em alguns aspectos, provavelmente também o serão em outros (HONDERICH, 1995). Os modelos analógicos cumprem, na ciência, um papel fundamental. Podemos, através de tal artifício, modelar um sistema com base na representação de um outro sistema, “usualmente mais familiar, cujo funcionamento se supõe ser análogo ao do primeiro” (BLACKBURN, 1997). No caso da TSGN, parte-se de um raciocínio analógico, no qual uma teoria conhecida, a teoria da seleção natural como teoria-fonte, é utilizada como uma inspiração heurísticamente fértil para a construção de uma nova teoria, em um novo domínio de fenômenos, no caso, os fenômenos neurobiológicos e mentais. É nesse sentido que a TSGN pode ser entendida como uma extensão metafórica da teoria da seleção natural.

Para Bradie (1994), três elementos são fundamentais para o estabelecimento de metáforas evolutivas: (i) a produção de variação; (ii) um mecanismo de seleção; e (iii) um mecanismo de herança – reprodução com preservação das características adaptativas. É controversa, porém, a necessidade de tais metáforas evolutivas apresentarem analogias com conceitos centrais da biologia evolutiva, como os de gene, genótipo/fenótipo, organismo, espécie etc. (BRADIE, 1986). Por sua vez, para que uma teoria consiga explicar

adequadamente o desenvolvimento da complexidade do SNC e de sua circuitaria, dois requerimentos são necessários: a geração de diversidade neuronal suficiente e a presença de um mecanismo seletivo (EDELMAN, 1992). Porém, para que esta seja entendida como uma metáfora evolutiva, um mecanismo de herança precisa ser evidenciado.

Os mecanismos seletivos postulados pela TSGN são claros: a seleção no desenvolvimento e a seleção na experiência, fundamentais para o estabelecimento dos repertórios primário e secundário. Ao mesmo tempo, a geração de variação nos repertórios neuronais é tal que mesmo gêmeos monozigóticos apresentam diferenças nas interconexões de grupos neuronais (EDELMAN, 1992).

Durante o desenvolvimento embrionário, por exemplo, a morte, reprodução e migração diferenciais de neurônios permitem a produção de padrões neuroanatômicos únicos. Esses eventos celulares ocorrem de maneira que não pode ser prevista a partir de uma base meramente molecular, resultando na constituição do repertório primário. As características herdadas, nesse caso, a base genética de regulação e expressão dos mecanismos moleculares de desenvolvimento cerebral, sofrem, contudo, forte influência do meio e são, por ele, em grande parte, influenciadas. Os mecanismos moleculares subjacentes à seleção no desenvolvimento constituem uma das bases de variação no SNC. O repertório primário consiste, então, num conjunto de possibilidades variantes, que sofrerá novamente seleção somática, agora, a seleção na experiência.

Esse segundo conjunto de eventos seletivos acontece durante a interação do organismo com o meio, garantindo a sobrevivência e possível reprodução dos organismos que melhor se adaptam ao mundo, representando-o e categorizando-o de forma mais adequada. A herança dessas características advém da vantagem reprodutiva que as mesmas podem prover ao organismo. Mas tal herança não garante à prole um sucesso adaptativo compatível com os parentais, pela dependência epigenética do desenvolvimento e funcionamento do SNC. A herança desse segundo conjunto de fenômenos, relacionados à interação do organismo com o meio, parece ser dependente do meio sociocultural particular em que o organismo se encontra. Portanto, o padrão de tal herança se mostra compatível com os padrões propostos de herança cultural.

Todos os outros fenômenos mentais dependem, segundo a TSGN, do estabelecimento dos repertórios primário e secundário para seu desenvolvimento. Na formação da consciência de primeira ordem, por exemplo, temos claramente a atuação dos mecanismos seletivos propostos, de modo que novos circuitos funcionais se estabelecem em regiões precisas do cérebro.

Já a consciência de segunda ordem é dependente da interação social do organismo. Nesse sentido, podemos traçar um paralelo com os mecanismos discutidos anteriormente. Enquanto a consciência de primeira ordem apresenta mecanismos seletivos compatíveis com a seleção no desenvolvimento, tendo uma base genética de herança, a consciência de ordem superior parece aproximar-se dos mecanismos de seleção na experiência, possuindo também uma influência cultural para tal herança.

Segundo Bradie (1994), a TSGN pode ser situada dentro do programa da epistemologia evolucionista de Mecanismos (EEM), por analisar os mecanismos atuantes no desenvolvimento ontogenético do SNC sob uma perspectiva evolucionista. O próprio Edelman (1992) considera a sua teoria um complemento do programa de pesquisa iniciado por Darwin. Para ele, a TSGN procura dar conta do que precisamos saber para entender a origem evolutiva da mente e do comportamento humanos:

O que precisamos entender – além do mecanismo da herança – é como a morfologia, na base do comportamento, surgiu durante a história evolutiva e como o comportamento, em si, altera a seleção natural. [...] Se nós aceitamos sua [de Darwin] posição de que não existe aspecto do comportamento humano que não possa, eventualmente, ser entendido por uma explicação evolutiva, então, nossa meta é tentar completar o programa. (EDELMAN, 1992, p. 45)

Para Sacks (1995), a TSGN pode ser vista como a primeira teoria verdadeiramente global da mente e da consciência; a primeira teoria biológica da individualidade e da autonomia. Além disso, para Edelman (1992), a TSGN é capaz de conectar a psicologia e a biologia, completando o programa darwiniano de explicar a consciência e a mentalidade a partir de uma perspectiva evolucionista. A extensão metafórica da teoria da seleção natural para o domínio da compreensão do cérebro, da mente e da consciência seria, assim, uma etapa fundamental na constituição do próprio programa darwiniano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fenômenos biológicos complexos, como a consciência, por exemplo, desafiam, até os dias atuais, as explicações mecanicistas apresentadas pela ciência. A complexidade desses fenômenos leva à necessidade de modelos explicativos multicausais que ultrapassam os limites de uma única disciplina, como a Biologia, por exemplo. Nesses casos, o uso de metáforas, embora tenha seus riscos, é uma ferramenta heurísticamente poderosa na construção do conhecimento científico, tendo demonstrado seu poder numa diversidade de campos do conhecimento. No caso da Biologia, o pensamento evolucionista,

desde a sua origem, vêm ganhando espaço nas explicações dos fenômenos científicos, principalmente dos fenômenos biológicos e a teoria da seleção natural, por sua vez, tem sido uma teoria-base fértil para a construção de teorias e modelos em outras áreas do conhecimento.

Dessa forma, a construção da TSGN oferece um exemplo bastante ilustrativo do poder heurístico da extensão metafórica, no caso, do pensamento evolucionista, levando a potenciais avanços no entendimento do SNC, da mente e da consciência. Neste caso, a TSGN leva em conta o pensamento darwiniano para entender o conhecimento humano e, portanto, pode ser considerada um exemplo da epistemologia evolucionista de Bradie (1994).

Esperamos ter mostrado as contribuições desta teoria e, assim, da extensão metafórica da teoria da seleção natural ao campo das neurociências, não obstante a cautela sempre necessária quando são aproximados campos do conhecimento distintos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRANTES, P. *Naturalizando a epistemologia*. In: P. ABRANTES (Org.) *Epistemologia e Cognição*. Brasília: Editora da UNB, 1993.
- ABRANTES, P. Naturalismo Epistemológico: Apresentação. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, série 3, v. 8, n. 2, p. 7-26, 1998.
- ABRANTES, P. Simulação e Realidade. *Revista Colombiana de Filosofia da Ciência*, v. 1, n. 1, p. 9-40, 1999.
- BLACK, M. *Models and metaphors*. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1962.
- BLACK, M. *More about metaphors*. In: ORTONY, A. (Ed.) *Metaphor and Thought*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- BLACKBURN, S. *Dicionário oxford de filosofia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor. 1997.
- BOYD, R. Metaphor and Theory Change: What is “metaphor” a metaphor for? In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and thought*. England: Cambridge University Press, 2nd ed, p. 481-494, 1993.
- BRADIE, M. Models, Metaphors, and Scientific Realism. *Nature and Systems*, v. 2, p. 3-20, 1980.
- BRADIE, M., Assessing Evolutionary Epistemology. *Biology and Philosophy*, v. 1, p. 401-459, 1986.
- BRADIE, M. Epistemology from an Evolutionary Point of View. In: E. SOBER (Ed.) *Conceptual Issues in Evolutionary Biology*. 2. ed. Massachusetts: MIT Press, 1994.
- BRADIE, M. Science and Mtaphor. *Biology and Philosophy*, v. 14, p. 159-166, 1999.
- CAMPBELL, D. T., Blind Variation and Selective Retention in Creative Thought As in Other Knowledge Processes, *Psychological Review*, v. 67, p. 380-400, 1960.

- CAMPBELL, D. T., *Evolutionary Epistemology*. In: P. A. SCHILPP (Ed). *The Philosophy of Karl Popper I*. 413-463. LaSalle, III.: Open Court, 1974.
- EDELMAN, G. M. *Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection*. New York: Basic Books, 1987.
- EDELMAN, G. M., *Topobiology*. New York: Basic Books, 1988.
- EDELMAN, G. M. *The Remembered Present*. New York: Basic Books, 1989.
- EDELMAN, G. M. *Bright Air, Brilliant Fire: On the Matter of the Mind*, New York: Basic Books, 1992.
- EDELMAN, G. M. e TONONI, G., *Neural Darwinism: The Brain as a Selectional System*. In: J. CORNWELL (Ed.) *Nature's Imagination: The Frontiers of Scientific Vision*. Oxford: Oxford University Press. p. 78-100, 1995.
- EDELMAN, G. M. e TONONI, G., *Consciousness and Complexity*. *Science*, v. 282, p. 1846-1851, 1998.
- EDELMAN, G. M. e TONONI, G. *A Universe of Consciousness: How Matter Becomes Imagination*. New York: Basic Books, 2000.
- GENTNER, D. e JEZIORSKI, M. The shift from metaphor to analogy in western science. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and thought*. 2. ed. England: Cambridge University Press, 1993.
- HONDERICH, T, *The Oxford Companion to Philosophy*. Oxford: Oxford University Press, 1995.
- KANDEL, E. R; SCHWARTZ, J. H.; JESSEL, T. M. *Fundamentos da neurociência e do comportamento*, Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, 1997.
- KANDEL, E. R; SCHWARTZ, J. H.; JESSEL, T. M., *Principles of Neural Science*. New York: McGraw-Hill, 2000.
- KIM, J. *Philosophy of Mind*. Boulder: Westview Press, 1996.
- KIM, J. *Mind in a Physical World: Na Essay on the Mind-Body Problem and Mental Causation*. Cambridge: MIT Press, 1998.
- LAKOFF, G.; JOHNSON, M. L. *Metaphors We Live By*. Chicago: Chicago University Press, 1980.
- MAYR, E. *Typological versus Population Thinking*. In: E. SOBER (Ed.) *Conceptual Issues in Evolutionary Biology*. 2. ed. Massachusetts: MIT Press, 1994.
- MAYR, E. *O Desenvolvimento do Pensamento Biológico*. Brasília: Editora da UNB, 1998.
- NIJHOUT, F. H. Metaphors and the role of genes in development. *Bioessays*, v. 12, n. 9, p. 441-446, 1990.
- ORTONY, A. *Metaphor and Thought*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- ROCHA, P. L. B.; EL-HANI, C. N. The Description of the Evolutionary Process as a Metaphor of Phylogenetic Systematics. *Journal of Comparative Biology*, v. 1, n. 1/2, p. 17-28, 1996.
- SACKS, O. *A New Vision of the Mind*. In: J. CORNWELL (Ed.) *Nature's Imagination: The Frontiers of Scientific Vision*. Oxford: Oxford University Press, 1995.
- VAN DER WEELE, C. *Images of Development: Environmental Causes in Ontogeny*. Albany-NY: SUNY Press, 1999.