

Uma Visão Geral Sobre a Teoria do Darwinismo Neural

Eduardo Ferreira Jucá de Castro, *Member, IEEE*
Fundação CPqD
Rod. Campinas Mogi-Mirim, km 118,5
Campinas – SP
+55 19 37057238
e.jucah@ieee.org

Abstract — This paper presents an overview of the Neural Darwinism, officially the Theory of Neural Group Selection, proposed by Dr. Gerald M. Edelman. Its origin, its principles, the experiments in order to validate it and a briefly discussion of the criticism and future possibilities are presented.

Keywords — Cognição Artificial, Consciência, Darwinismo Neural, Dispositivos Baseados no Cérebro, Teoria da Seleção de Grupos Neurais.

I. INTRODUÇÃO

A origem da mente e como modelá-la é uma questão recorrente nas Ciências Cognitivas. Diversas teorias vem sendo propostas ao longo da história mas talvez a mais controvertida e ao mesmo tempo inspiradora seja a Teoria da Seleção de Grupos Neurais (TNGS – acrônimo do inglês *Theory of Neuronal Group Selection*), mais conhecida como Darwinismo Neural. A TNGS, originalmente proposta pelo Dr. Gerald M. Edelman em 1978, apresenta uma explicação biológica para a origem da mente (Edelman, 1992, 1993, 1999; Rosenfield, 1986).

Em 1972, Gerald Edelman recebeu o prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina, conjuntamente com Rodney R. Porter, bioquímico britânico, pelas suas descobertas sobre a estrutura química dos anticorpos. Contrariando a teoria de Linus Pauling, da década de 1940, e confirmando a teoria de MacFarlane Brunet e Niels Jerne, da década de 1950, Edelman mostrou que os animais nascem com um repertório completo de anticorpos e que os corpos invasores provocam a seleção daqueles que efetivamente possam combater a presença desses últimos. O processo de produção de anticorpos, que são diferentes em cada indivíduo, e o funcionamento do sistema imunológico são consistentes com os princípios de evolução propostos por Charles Darwin, que formaram a base da biologia moderna. E foi exatamente essa analogia que levou Edelman a pensar que o cérebro também pudesse funcionar como um sistema seletivo (Rosenfield, 1986; Smoliar, 1989).

Para Edelman, o desenvolvimento e a dinâmica do cérebro são selecionistas por natureza e não “instrucionistas” (Seth e Baars, 2005). E, também, o sistema nervoso deve realizar a categorização perceptiva adaptativa em um mundo não rotulado (Smoliar, 1989).

Uma constante no trabalho de Edelman é a crítica ao modelo conexionista, argumentando que a grande e

constante variabilidade ou novas referências que surgem no ambiente não podem ter sido “programadas” a priori no organismo. Sequências de DNA, até onde se sabe, codificam apenas estruturas químicas e não definições de símbolos.

II. A TEORIA DA SELEÇÃO DE GRUPOS NEURONAIS – TNGS

A TNGS propõe que as funções superiores do cérebro e, em última instância, a mente, são o resultado de processos seletivos a partir de uma grande população de estruturas neurais construídas ao longo do desenvolvimento do organismo (Smoliar, 1989).

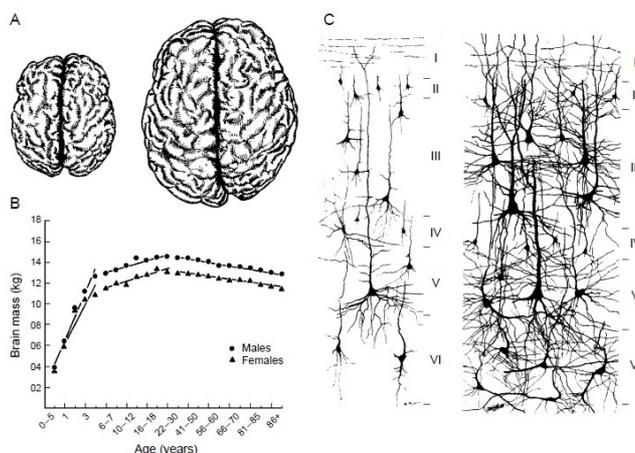


Figura 1- Crescimento pós-natal do cérebro humano. (A) Vista dorsal e (C) neurônios no córtex parietal de um cérebro normal ao nascer (à esquerda) e aos seis anos de idade (à direita). (B) A duração do crescimento do cérebro humano de acordo com a massa encefálica; o crescimento do cérebro (aqui com base em mais de 4000 indivíduos neurologicamente normais) continua por uma década ou mais. Fonte: (Purves, 1996)

Os três princípios básicos que embasam a TNGS são: seleção de desenvolvimento, seleção experiencial, e sinalização reentrante (Edelman, 1992, 1993; Smoliar, 1989; Rosenfield, 1986).

A. Seleção de Desenvolvimento

A diversidade na população de estruturas neurais é o resultado epigenético do desenvolvimento pré-natal. A estrutura neural de um organismo não é exclusivamente determinada pelo seu repertório genético. Outros fatores que regulam as alterações celulares (divisão, adesão, migração, morte, extensão e retração de axônios e dendritos) também

influenciam para a geração dessa diversidade. Especialmente importantes nesse processo são as chamadas moléculas de adesão celular e de substrato (em inglês, *cell adhesion molecules*, CAMS, e *substrate adhesion molecules*, SAMS). Essas moléculas interagem com as superfícies neuronais e afetam a dinâmica das interações celulares da forma como elas ocorrem em determinados locais do sistema nervoso. A essa grande variedade de padrões de células, fonte inicial de grupos neuronais, Edelman chamou de repertórios primários (Figura 1 e Figura 2, superior).

B. Seleção Experiencial

Depois que a maior parte das conexões anatômicas do primeiro repertório foram estabelecidas, o foco do desenvolvimento passa agora para as modificações na intensidade das conexões entre os neurônios (sinapses). Essas modificações seletivas ocorrem dinamicamente em função do comportamento e da experiência no ambiente. Essa seleção ocorre entre populações de sinapses, por processos bioquímicos específicos, intensificando algumas e enfraquecendo outras mas sem alterações significativas na anatomia. Por causa dessas alterações na intensidade das sinapses, as conexões formadas em função de encontros anteriores com estímulos de tipo semelhante, tendem a ser favorecidas, e reforçadas, em detrimento de outras com menor ocorrência. Essa seleção experiencial, segundo Edelman, leva a formação de repertórios secundários de grupos neuronais, em resposta a padrões particulares de estímulos. Há uma certa superposição entre os processos de formação dos repertórios primário e secundário, uma vez que em certos momentos e locais a formação do repertório primário depende da alteração da intensidade de sinapses (Figura 2, no meio).

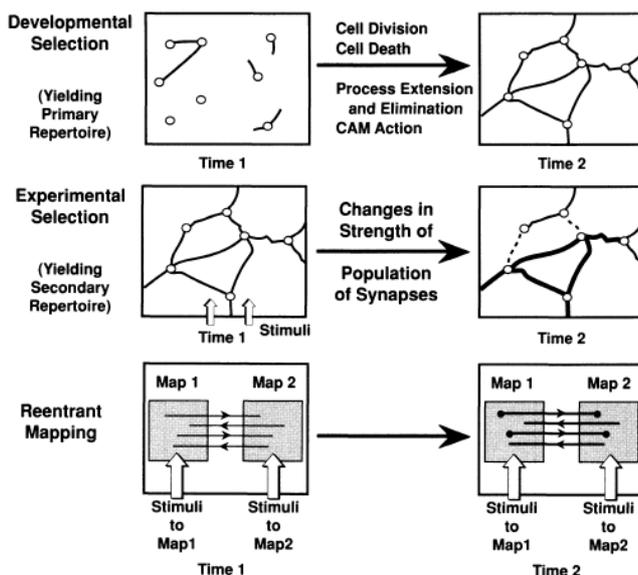


Figura 2- Os três princípios do Darwinismo Neural.
Fonte: (Edelman, 1992)

C. Sinalização Reentrante

A interconexão de grupos neuronais do repertório secundário, entre si e com outros elementos do sistema neural, ligados aos sentidos e mecanismos motores, formam conjuntos semelhantes a mapas. Esses mapas, representam

categorizações de eventos e objetos no mundo construídas a partir de sucessivas interações com o ambiente. Esses por sua vez, são interconectados por conexões massivamente paralelas e recíprocas. A sinalização reentrante ocorre ao longo dessas conexões. Isso significa que quando grupos de neurônios são selecionados em um mapa, outros grupos em outros mapas diferentes mas interconectados através dessas conexões reentrantes são também selecionados ao mesmo tempo. A correlação e a coordenação desses eventos seletivos são alcançadas pela sinalização reentrante e pelo reforço nas interconexões entre os mapas dentro de um espaço de tempo (Figura 2, inferior).

Edelman afirma que a coordenação seletiva de padrões complexos de interconexão entre grupos neuronais através da sinalização reentrante é uma premissa fundamental da teoria. E, também, que a sinalização reentrante é a principal base para a ponte entre a psicologia e a fisiologia.

III. DISPOSITIVOS BASEADOS NO CÉREBRO

Edelman e seus colegas não veem como grandes quantidades de dados empíricos, disponíveis atualmente ou ainda por serem obtidos, podem ser analisados sem uma teoria. E, como biólogos, enfatizam que o formalismo computacional aplicado isoladamente do comportamento pode somente fornecer uma visão incompleta e uma imagem potencialmente ilusória da natureza da mente. Assim, a abordagem seletivista da TNGS é apontada como uma base adequada para a modelagem computacional do sistema nervoso capaz de lidar com essas questões. Essa abordagem foi chamada de Modelagem Neural Sintética (em inglês, *Synthetic Neural Modeling – SNM*) porque envolve a síntese em computador de um modelo completo do sistema nervoso, juntamente com o fenótipo de uma criatura inserida em um ambiente. Com base no SNM, uma série de autômatos, chamados Darwin, foi elaborada de forma a estudar diversos aspectos do funcionamento do sistema nervoso e também validar a TNGS. A esses autômatos o grupo de Edelman chamou de Dispositivos Baseados no Cérebro (do inglês, *Brain-Based Devices – BBD*) (Reeke et al., 1990).

A série de modelos BBD, iniciou-se em 1981, com versões puramente teóricas e, em 1992, passou a possuir um corpo físico de forma a interagir com o ambiente. Esse corpo foi chamado de NOMAD, acrônimo do inglês *Neurally Organized Mobile Adaptive Device*. O NOMAD foi construído de forma a atender a vários critérios de projeto. Dentre os quais, ser pequeno o suficiente para mover-se efetivamente em uma única sala experimental, mas grande o suficiente para fácil construção e ajuste; ser modular, permitindo que novos sensores e atuadores, afetando seu "fenótipo", pudessem ser adicionados sem grande esforço de reprojetar; e, sempre que possível, usar componentes disponíveis comercialmente (Edelman et al., 1992).

A plataforma NOMAD possui vários sensores, como uma câmera colorida, com capacidade de movimentação em dois eixos, para a visão; bigodes artificiais para detecção de textura; uma bússola e sensores para velocidade e distância percorrida pelas rodas para permitir um senso de orientação; e transceptores infravermelho e um telêmetro a laser que proporcionam um senso de proximidade com objetos. O

NOMAD se desloca autonomamente sobre seu ambiente em tempo real, e o seu comportamento é controlado por um sistema nervoso simulado executando em um conjunto de poderosos computadores (um *cluster* Beowulf de até 64 CPUs). Estes sistemas nervosos simulados possuem neuroanatomia realista, contendo da ordem de cem mil unidades neuronais, e alguns milhões de conexões sinápticas entre estas unidades (Krichmar et al., 2011).

Os BBD tem sido usados para para estudar percepção, condicionamento operante, memória episódica e espacial e controle motor através da simulação de regiões do cérebro como o córtex visual, o sistema de recompensa dopaminérgico, o hipocampo e o cerebelo.

Edelman e sua equipe argumentam que uma máquina inteligente deve seguir os seguintes princípios de projeto (Krichmar e Edelman, 2006):

1. incorporar um cérebro simulado com neuroanatomia detalhada e dinâmica neural;
2. organizar os sinais do ambiente em categorias sem conhecimento a priori ou instrução;
3. ter uma instanciação física, que permita a detecção ativa e movimento autônomo no ambiente;
4. se envolver em uma tarefa que é inicialmente limitada pelo conjunto mínimo de comportamentos inatos ou reflexos,
5. ter um meio para adaptar o comportamento na ocorrência de eventos importantes no ambiente (sistemas de valores); e
6. permitir comparações com dados experimentais adquiridos a partir de modelos do sistema nervoso de animais.

Resumidamente a cronologia e o objetivo dos BBD da série Darwin é (Krichmar et al., 2011):

- Darwin I (1981): demonstrou os princípios de degeneração, amplificação e seleção em uma tarefa de reconhecimento de padrões. Degeneração (*degeneracy*), seria a habilidade de que combinações de elementos estruturalmente diferentes executarem a mesma função (Seth e Baars, 2005).
- Darwin II (1982): demonstrou a importância das conexões reentrantes na seleção de grupos neuronais durante uma tarefa de categorização.
- Darwin III (1990): foi o primeiro modelo neural sintético de um organismo interagindo com um ambiente durante a execução de uma tarefa de coordenação sensorio-motor. O sistema nervoso simulado com visão e percepção tátil aprendeu a controlar um braço virtual para afastar objetos "nocivos".
- Darwin IV (1992): realizou rastreamento de objeto e tarefa de condicionamento e aplicou pela primeira vez a modelagem neural sintética a um dispositivo no mundo real.
- Darwin V (1998): demonstrou que a invariância de translação e seletividade de padrão emergem devido à continuidade de movimentos próprios (autogerados).
- Darwin VI e VII (2000-2002): foram os primeiros

BBD a separar o ciclo sensoriamento-percepção-ação em processos concorrentes em tempo real. Estes modelos explorou o papel da história na categorização perceptual, e demonstrou o reconhecimento visual sofisticado e invariante de objetos.

- Darwin VIII (2004): modelados como as conexões reentrantes nas vias visuais e sincronia neural podem associar características de objetos complexos e sobrepostos em uma cena unificada.
- Darwin IX (2004): possuía bigodes artificiais para modelar a discriminação de textura no córtex somatossensorial.
- BBD Segway Jogador de Futebol (2005): desempenhou um jogo de futebol com times formados tanto por humanos quanto por outros robôs. Este modelo foi um sistema híbrido, onde um sistema nervoso simulado foi utilizado em conjunto com técnicas tradicionais de controle de robôs para produzir um comportamento mais hábil, confiável e seguro. Segway é um tipo de patinete motorizado.
- Modelo do Cerebelo Segway (2006): Este modelo do cerebelo foi construído sobre uma plataforma Segway para investigar o controle motor preditivo em uma tarefa de evitar obstáculos.
- Darwin X e XI (2005-2007): investigou um modelo do hipocampo de memórias espacial, episódica e associativa, e aprendeu a navegar tanto em campo aberto quanto em um labirinto.

Uma característica importante desses dispositivos é que, após um período de treinamento e comportamento, a atividade de todas as unidades neuronais, sinapses e circuitos pode ser gravada e examinada em detalhes. Isso não pode ser alcançado em experimentos com animais vivos (Edelman, 2007). Para mais detalhes sobre cada um desses dispositivos ver referências em (Krichmar e Edelman, 2006).

A. BBD Segway Jogador de Futebol – SS-BBD

O SS-BBD (Figura 3) é baseado na *Segway Robotic Mobile Platform*, uma versão comercial robótica do *Segway Human Transporter (HT)*. Um chassis de alumínio é montado sobre uma base comercial, contendo um cluster de seis computadores compactos, com processadores Pentium IV e bateria com autonomia para alimentar o sistema por 45 minutos.

O dispositivo físico é guiado por um sistema de controle híbrido consistindo de um sistema nervoso simulado e algoritmos matemáticos e de controle mais tradicionais. O sistema nervoso simulado é baseado em um modelo simplificado do sistema nervoso de vertebrados. A simulação neural é responsável pelo reconhecimento de objetos e controle sensoriomotor; os controladores tradicionais proveem a seleção de ação de alto nível.

A unidade neuronal no SS-BBD é simulada por um modelo de taxa média de disparo, onde variável taxa média de disparo de cada unidade corresponde à atividade média de um grupo de aproximadamente 100 neurônios reais durante um período de tempo de aproximadamente 30 ms. A

simulação possui 60.000 unidades neuronais e 1,6 milhões de sinapses.

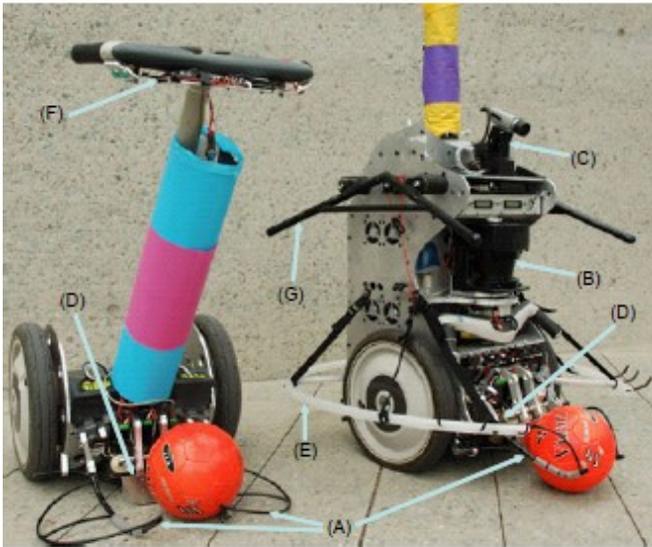


Figura 3: SS-BBD. À esquerda, um Segway HT modificado para um jogador humano e que permite ao ocupante a mesma capacidade de condução e chutar a bola do modelo à direita. (A) dispositivos de captura, (B) telêmetro a laser, (C) câmera, (D) mecanismo de chute, (E) anel de captura passivo, (F) módulo de comando de voz, (G) barras de colisão. Fonte: (Fleischer, 2006)

A arquitetura geral do sistema de controle, representada na Figura 4, pode ser descrita da seguinte forma: sensores infravermelhos, uma câmera e um telêmetro a laser fornecem entradas sensoriais para o sistema; seleção de ação é o módulo central e recebe entradas dos sensores infravermelhos e do sistema neural visual (Figura 5); seleção de ação envia comandos diretos para alguns atuadores e comandos indiretos para as rodas através das áreas neuronais de movimento de cabeça e corpo; os movimentos do dispositivo podem ser afetados também por um mecanismo de detecção e para evitar obstáculos.

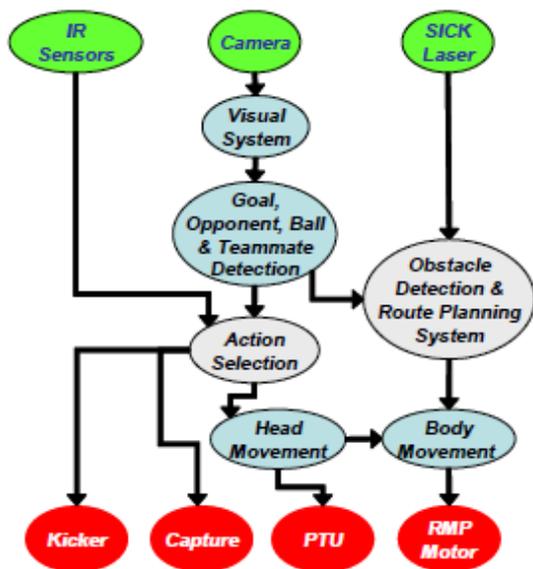


Figura 4: Arquitetura de controle do SS-BBD. Verde: sensores; Azul: áreas neuronais; Cinza: componentes de controle tradicionais; Vermelho: atuadores. Fonte: (Fleischer, 2006)

Para realizar as ações (jogadas) o SS-BBD precisa reconhecer seu companheiro de time, os jogadores adversários, seu próprio gol e o gol adversário.

Durante o evento 2005 *RoboCup American Open*, em Atlanta, Georgia, uma série de jogos de demonstração foi realizada para promover essa nova categoria. A equipe do *Neurosciences Institute* venceu todos os cinco jogos realizados. (Fleischer, 2006)

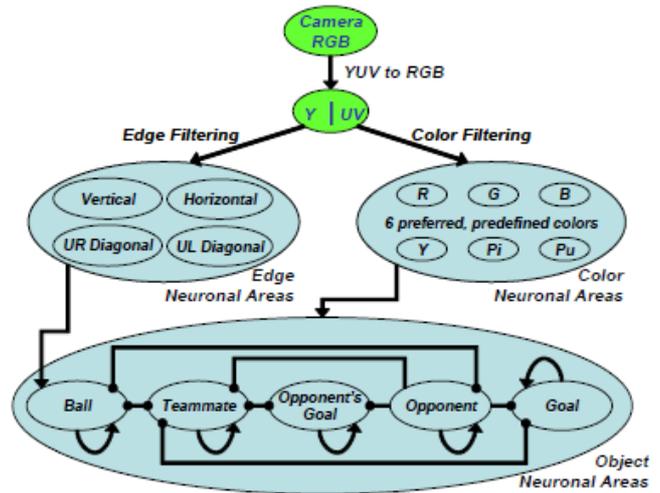


Figura 5: Esquema da arquitetura neural para o sistema visual e detecção de objetos. Imagens RGB são convertidas para YUV. Filtros de Gabor são aplicados ao canal Y (luminância), e o domínio UV tem as cores filtradas para produzir atividade neuronal em áreas sintonizadas com bordas e cores específicas. Cada área neuronal de detecção de objetos recebe como entrada um conjunto determinado de áreas de cores e bordas específicas. Inibição cruzada e autoexcitação das áreas de objeto melhoram o reconhecimento. Todas as conexões no fluxo de processamento são retinotópicas. Linhas terminadas setas: conexão excitatória; Linhas terminadas em círculo: conexão inibitória. Verde: entradas sensoriais; Azul: áreas neuronais. Fonte: (Fleischer, 2006)

IV. DARWINISMO NEURAL E CONSCIÊNCIA

Com base em vários resultados de estudos fisiológicos, Seth e Baars (Seth e Baars, 2005), afirmam ser amplamente aceito que a consciência está relacionada com interações de baixa amplitude, relativamente rápidas e generalizadas no núcleo talamocortical do cérebro, impulsionadas por tarefas e condições em curso. E, também, que extensões da teoria do Darwinismo Neural endereçam a associação da consciência com a atividade globalmente coordenada no núcleo talamocortical.

Dois temas maiores ocuparam os trabalhos para estender a TNGS para incluir a consciência:

1. uma associação da consciência primária com as interações reentrantes entre categorização e memória, onde consciência primária refere-se a presença de uma cena multimodal de eventos perceptivos e motores; e
2. uma tentativa de associar consciência com atividade neural no núcleo talamocortical, onde atividade no núcleo corresponde a discriminação de sinais sensoriomotores em um espaço de alta dimensão, produzindo comportamento adaptativo.

O primeiro tema pode ser resumido como: “Nós

propomos que a consciência primária emerge na evolução quando, através do surgimento de novos circuitos de mediação da sinalização reentrante, áreas posteriores do cérebro relacionadas com categorização perceptiva são dinamicamente ligadas com áreas anteriores responsáveis pela memória baseada em valor. Com esses meios instanciados, um animal poderia ser capaz de construir um presente lembrado – uma cena que adaptativamente relaciona contingências imediatas ou imaginadas com o histórico anterior de comportamentos dirigidos por valor”. Consciência primária, sob esse prisma, dotaria um animal de seletividade discriminatória ampliada, flexibilidade e capacidade de planejamento quando respondendo a ambientes complexos, se comparados com seus ancestrais pré-conscientes.

O segundo tema advém da observação de que a consciência é ao mesmo tempo altamente diferenciada (cada evento consciente é um dentre um astronômico número de possíveis eventos conscientes) e altamente integrada (cada evento consciente é experienciado como uma unidade).

De acordo com essas visões, o sistema talamocortical apresenta um tipo muito especial de neuroanatomia com alta interconectividade, adequada para equilibrar a integração e diferenciação que caracterizam a consciência. E, mais importante, essas propriedades não são vistas em outras grandes estruturas cerebrais como o cerebelo, que em muitos mamíferos tem um número de neurônios similar ao encontrado no sistema talamocortical. (Seth e Baars, 2005)

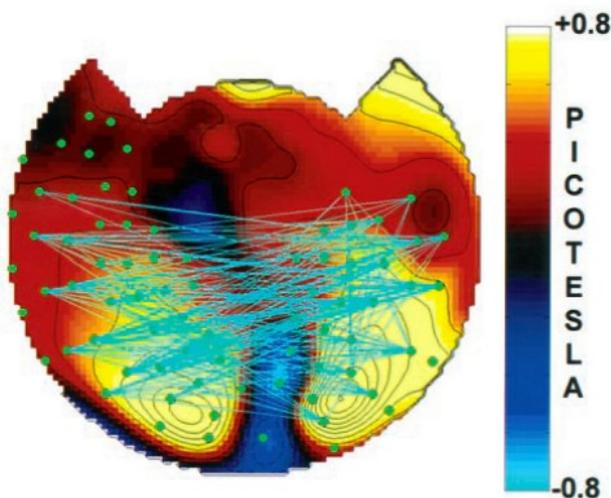


Figura 6: Resultados de um estudo de magnetencefalografia (MEG) de cabeça humana inteira onde os sinais são decorrentes de estímulos visuais binoculares rivais e marcados em frequência (Srinivasan et al., 1999). O mapa topográfico indica a magnitude da potência do sinal MEG na frequência do estímulo dominante perceptualmente consciente menos subtraindo aqueles na mesma frequência quando o mesmo estímulo foi não-dominante e não-consciente. A percepção consciente de um estímulo foi associada com um aumento significativo na coerência calculada entre canais MEG distantes na frequência do estímulo percebido. Pares de canais de MEG cuja coerência mudou com a mudança na percepção estão ligados na figura por linhas retas na cor azul claro. Estes dados apontam para um papel para sincronia maior entre os grupos neuronais distintos e distantes na área de trabalho global (Global Workspace) durante a percepção consciente. Presumivelmente, estes grupos generalizados que constituem a área de trabalho (Workspace) contribuem para o núcleo dinâmico (Dynamic Core). Fonte: (Edelman et al., 2011).

Uma característica do córtex cerebral é a presença de conexões corticocortical ligando vários neurônios em

regiões espacialmente dispersas do córtex entre si de forma recíproca. Da mesma forma, o tálamo projeta um grande número de axônios para todas as áreas do córtex e o córtex projeta um número ainda maior para o tálamo. Juntas, as conexões corticocortical, corticotálamico e talamocortical fornecem uma base estrutural necessária para a sinalização reentrante dinâmica, a sinalização recíproca no âmbito do córtex e entre o córtex e o tálamo, constituindo um núcleo dinâmico (*Dynamic Core*) (Figura 6). O acoplamento reentrante pode resultar na formação de padrões de atividade de bloqueio temporal síncrono essenciais para conectar e integrar as funções distintas de diferentes áreas cerebrais. A atividade reentrante permite que uma área do cérebro com respostas originalmente evocadas por estímulos sensoriais passe a responder de forma semelhante na ausência desses estímulos. Por este meio o cérebro "fala a si mesmo," uma base necessária para a memória e o pensamento (Edelman et al., 2011).

V. DISCUSSÃO

Desde sua formulação a TNGS sofreu várias críticas, sendo um ponto comum a dificuldade de entender as propostas de Edelman. Citações representativas são: “Alguns críticos dizem que o Dr. Edelman está interpretando mal os outros modelos da mente. O filósofo Daniel C. Dennett sugeriu, por exemplo, que o Dr. Edelman está "reinventando a roda" de forma ignorante e disse que sua teoria não é "nem revolucionária, nem original." Outros consideram os próximos passos na sua teoria excessivamente obscuros. Em 1988, o biólogo Gunther Stent disse: "Eu não me considero uma pessoa burra demais. Eu sou um professor de biologia molecular e presidente da seção de neurobiologia da Academia Nacional de Ciências, então eu deveria entendê-la. Mas eu não entendi”.” (Rothstein, 2004).

Mas outras críticas mais pertinentes, questionam se a TNGS pode ser considerada realmente Darwinista. Talvez a crítica de maior repercussão tenha sido a de Francis Crick, que contestou a analogia da TNGS com a Teoria da Evolução; declarou que as unidades de seleção deveriam ser populações de sinapses e não grupos neuronais; apontou os resultados das simulações (os primeiros modelos Darwin) como inconclusivos; e que um nome mais apropriado para a teoria seria *Neural Edelmanism* (Crick, 1989). Apesar das respostas de Reeke e Michod (Michod, Reeke, 1990), refutando as conclusões de Crick como interpretações errôneas, esse sustentou suas críticas dizendo que eram três as dificuldades com o termo “seleção de grupos neuronais”: a utilidade da ideia de seleção; as vantagens teóricas da proposta; e a existência de grupos neuronais na concepção do Edelman (Crick, 1990). No entanto, não acrescentou nenhum argumento contundente.

Purves também contestou que o desenvolvimento do cérebro deveria ser interpretado à luz de um *framework* Darwiniano, dizendo: “Entusiasmo não comprovado para a ideia de que o desenvolvimento neural avança pela seleção de um excesso inicial só pode obscurecer a natureza essencialmente construtivista do desenvolvimento do cérebro dos mamíferos, e pode impedir o esforço para compreendê-lo.” (Purves, 1996).

Críticas mais produtivas foram com relação a ausência de mecanismo de replicação das unidades de evolução na TNGS. Mesmo um crítico favorável como Calvin (Calvin, 1987 e 1988), questionou essa “deficiência”. Mais do que isso, Calvin propôs um mecanismo de replicação (Calvin, 1996). Mais recentemente, Chrisantha Fernando, também propôs mecanismos de reprodução mas defendendo que neurônios, e não populações de grupos neuronais, seriam as unidades de evolução, capazes de replicação, em um sentido mais estrito para a seleção natural, conforme o biólogo evolucionista John Maynard Smith (Fernando, 2011).

Não há evidências de aplicações práticas para essas propostas nem de repercussões no trabalho de Edelman. A segunda talvez por ser ainda muito recente.

Mas um outro trabalho, também recente e que deve gerar resultados práticos nos próximos anos, mostra a estreita relação entre as hipóteses para o *Dynamic Core* e o *Global Workspace* (Edelman, Gally e Baars, 2011). Isso porque a teoria do Global Workspace possui uma importante implementação prática, realizada por Stan Franklin, da Universidade de Memphis, EUA, conhecida como arquitetura Baars-Franklin.

VI. CONCLUSÃO

A TNGS foi proposta há mais de 30 anos e ainda se mantém em pauta. Sua sólida base teórica e experimental devem ser uma importante razão para isso. E, talvez, a habilidade do próprio Edelman em promover sua teoria.

No entanto, não pode ser ignorado o fato de que o financiamento continuado do DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*), agência do Departamento de Defesa dos EUA, é um indicio da importância da TNGS.

Além disso, recentes descobertas e avanços na área médica, como o aperfeiçoamento de exames, tem reforçado algumas de suas ideias centrais.

Como disse Rosenfield (Rosenfield, 1986), “... a linguagem é adquirida em sociedade, mas nossa habilidade de usá-la, de constantemente reconceber o mundo à nossa volta, é no mínimo em parte um reflexo dos múltiplos mapeamentos e remapeamentos que parecem ser centrais à função do cérebro. Essa visão reforça a ideia de que dois cérebros não podem ser, ou nunca serão, idênticos. A teoria de Edelman da seleção de grupos neuronais desafia aqueles que afirmam que a ciência vê os seres humanos individuais e outros animais como máquinas reprodutíveis e que a ciência é pouco preocupada com os atributos únicos dos indivíduos e as fontes dessa unicidade. O Humanismo nunca teve uma melhor defesa.”

Continuar observando e mesmo tentar implementar as propostas da TNGS não deve ser um trabalho infrutífero.

REFERÊNCIAS

Crick, F. (1989). Neural Edelmanism. *Trends in Neurosciences*, 12(7):235-273.

Crick, F. (1990). Reply, *Trends in Neurosciences*, 13(1):13-14.

Calvin, W. H. (1987). The Brain as a Darwin Machine. *Nature*, 330(6143):33-34.

Calvin, W. H. (1988). A Global Theory. (Book Reviews: Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection. Gerald M. Edelman. Basic Books, New York, 1987). *Science*, 240(4860), 1802:1803.

Calvin, W. H. (1996). The Cerebral Code: Thinking a Thought in the Mosaics of the Mind. MIT Press, 1996. [Online] Disponível: <http://williamcalvin.com/bk9/index.htm>

Edelman, G. M. (1992). *Bright Air, Brilliant Fire: On the Matter of the Mind*. New York: Basic Books.

Edelman, G. M., Reeke, G. N., Jr., Gall, W. E., Tononi, G., Williams, D. and Sporns, O. (1992). Synthetic neural modeling applied to a real-world artifact. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 89(15):7267-7271.

Edelman, G. M. (1993). Neural Darwinism: Selection and Reentrant Signalling in Higher Brain Function. *Neuron*, 10(2):115-125.

Edelman, G. M. (1999). Building a Picture of the Brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 882:68-89.

Edelman, G. M. (2007). Learning in and from Brain-Based Devices. *Science*, 318(5853):1103-1105.

Edelman, G. M., Gally, J. A., and Baars, B. J. (2011). Biology of consciousness. *Frontiers in Psychology*, 2(1):4 [online] Disponível: http://www.frontiersin.org/consciousness_research/10.3389/fpsyg.2011.00004/abstract

Fernando, C. (2011). Neural Edelmanism and Neural Darwinism. *The Evolutionary Review*, a ser publicado. Disponível: http://www.cogs.susx.ac.uk/users/ctf20/dphil_2005/Publications/EvolRevi ew5.docx

Fleischer, J., Szatmary, B., Hutson, D., Moore, D., Snook, J., Edelman, G.M., e Krichmar, J. (2006). "A neurally controlled robot competes and cooperates with humans in Segway soccer," Robotics and Automation, 2006. ICRA 2006. Proceedings 2006 IEEE International Conference on, pp.3673-3678, 15-19 May 2006.

Fleischer, J. G., Gally, J. A., Edelman, G. M., and Krichmar, J. L. (2007). Retrospective and prospective responses arising in a modeled hippocampus during maze navigation by a brain-based device. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 104(9):3556-3561.

Krichmar, J. L. and Edelman, G. M. (2006). Principles Underlying the Construction of Brain-Based Devices, In *Adaptation in Artificial and Biological Systems*, T. Kovacs, and J. A. R. Marshall, eds. (Bristol UK: Society for the Study of Artificial Intelligence and the Simulation of Behaviour), pp. 37-42.

Krichmar, J. L. et al. (2011). Brain-Based Devices. The Neurosciences Institute. [Online] Disponível: <http://vesicle.nsi.edu/nomad/>

Michod, R. (1990). Letter to the editor, *Trends in Neurosciences*, 13(1):12-13.

Purves, D., White, L. E., and Riddle, D. R. (1996). Is neural development darwinian? *Trends in Neurosciences*, 19(11):460-464.

Reeke, G. N., Jr (1990). Letter to the editor: Neural edelmanism, *Trends in Neurosciences*, 13(1):11-12.

Reeke, G. N., Jr, Sporns, O., and Edelman, G. M. (1990). Synthetic Neural Modeling: The “Darwin” Series of Recognition Automata. *Proceedings of The IEEE*, 78(9):1498-1530.

Rosenfield, I. (1986). Neural Darwinism: A New Approach to Memory and Perception. *The New York Review of Books*, 33(15)(October 9, 1986):21-27.

Rothstein, E. (2004). The Brain? It's A Jungle in There. The New York Times. March 27, 2004. [Online] Disponível: <http://www.nytimes.com/2004/03/27/books/the-brain-it-s-a-jungle-in-there.html?scp=1&sq=The+Brain%3F+It%27s+A+Jungle+in+There&st=cse&pagewanted=all>

Seth, A. K., and Baars, B. J. (2005). Neural Darwinism and consciousness, *Consciousness and Cognition*, 14(1):140-168.

Smoliar, S. W. (1989). Book Review: Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection. Gerald M. Edelman. Basic Books, New York, 1987. *Artificial Intelligence*, 39(1):121-139.