

## Considerações sobre cognição e evolução

José Roberto Castilho Piqueira

Luiz Henrique Alves Monteiro

Henrique Shützer Del Nero

**Como citar:** PIQUEIRA, J. R. C.; MONTEIRO, L. H. A.; DEL NERO, H. S.  
Considerações sobre cognição e evolução. *In:* GONZALES, M. E. Q.; BROENS,  
M. C. (org.). **Encontro com as Ciências Cognitivas**. Marília: Unesp Marília  
Publicações, 1998. 2 v. p. 235-246. DOI:  
<https://doi.org/10.36311/1998.85-86738-03-4.p235-246>



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Sin derivados 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

## CONSIDERAÇÕES SOBRE COGNIÇÃO E EVOLUÇÃO

José Roberto Castilho PIQUEIRA<sup>1</sup>  
Luiz Henrique Alves MONTEIRO<sup>2</sup>  
Henrique Schützer DEL NERO<sup>3</sup>

### Introdução

O desenvolvimento dos sistemas de computação, explosivo nas últimas três décadas, trouxe para a ciência a idéia de que os processos mentais pudessem ser melhor estudados através de associações, analogias e simulações realizadas em sistemas físicos artificiais, em uma edição arrojada do pensamento de von Neumann (von Neumann, 1958).

Essa esperança gerou esforços para responder questões filosóficas antigas e importantes, relacionadas à natureza do conhecimento, sua origem, emprego e desenvolvimento. Assim, como resultado da necessária interdisciplinaridade, começou a surgir, no início dos anos 70, a chamada Ciência Cognitiva ( Gardner, 1985 ), dividida pela diversidade de paradigmas, alguns fundamentados em lógica formal e outros em connexionismo.

Filósofos, físicos e matemáticos ficaram fascinados pelas questões epistemológicas e pela possibilidade de resolver, elegantemente, velhos problemas de processamento algorítmico, identificação de sistemas, otimização e mecânica estatística.

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Eletrônica da Escola Politécnica da USP – São Paulo - E-mail : piqueira@lac.usp.br.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Eletrônica da Escola Politécnica da USP – São Paulo.

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Eletrônica da Escola Politécnica da USP – São Paulo.

Com computadores, cada vez mais rápidos e com capacidade de memória cada vez maior, os novos algoritmos e métodos desenvolvidos atraíram engenheiros que propuseram sistemas especialistas, redes neurais e até uma nova lógica, chamada nebulosa, resolvendo, de maneira eficiente, antigos problemas práticos de controle, telecomunicações, automação e produção industrial.

Essas linhas de abordagem foram tão bem sucedidas, que passaram a dar contribuições valiosas na área clínica, com computadores empregados no tratamento de afasias e apraxias e em outros ramos da chamada terapia cognitiva (Posner, 1989).

Estava montado o quadro que parecia apontar para a computação como a grande panacéia para o entendimento final do problema mente corpo, tão velho e tão carente de discussões atualizadas.

Nesse ponto, entraram em cena biólogos, médicos, psicólogos e cientistas sociais, lembrando-nos que o que estava sendo chamado de complexidade não levava em conta fatores essenciais no desenvolvimento do conhecimento humano: a biologia do cérebro e a influência da diversidade cultural, própria da flexibilidade de adaptação da espécie humana.

Parece que tratar os mecanismos relacionados ao conhecimento seria entender um problema biológico complexo, mediado pela experiência subjetiva, nossa característica marcante. (Lindahal, 1997 ).

Este ensaio pretende dar uma visão biológica e cultural do aparato cognitivo humano. O biológico deve ser colocado dentro de um contexto evolutivo e, a cultura, que constrói a experiência subjetiva, participa da formação da consciência.

Discutiremos, através da evolução do sistema nervoso central, aliada à emergência de fenômenos conscientes, a capacidade peculiar da espécie humana de adquirir conhecimento.

É como brincar com aquelas bonecas russas, que abertas contêm outras menores, semelhantes às externas: a espécie humana que adquiriu habilidades especiais de aprender e usar conhecimentos, agora, quer entender sua capacidade de entender.

Talvez isso seja um outro estágio filogenético.

### **Adaptação e aprendizado**

Quando se fala em evolução, uma das idéias centrais é a de adaptação, uma vez que a vida é resultado de um equilíbrio ativo entre os organismos e seu meio (Smith, 1995).

Assim, entendendo por aprendizado os processos de aquisição de conhecimentos relacionados à resolução de problemas e à capacidade do ser vivo adaptar-se ao meio, podemos assumir sua origem como simultânea à vida, ou seja, 3,5 bilhões de anos atrás (Arhem & Liljenstron, 1997).

Portanto, dentro de uma perspectiva evolutiva, conhecimento e aprendizado não estão, necessariamente, ligados à existência de um sistema nervoso central pois sua presença se nota a partir dos primeiros celenterados, há, apenas, cerca de 700 milhões de anos.

A presença de sistema nervoso proporciona, entretanto, maior especialização e, portanto, maior velocidade e flexibilidade ao processo cognitivo, permitindo, como consequência, um aumento na probabilidade de sobrevivência de uma dada espécie.

Originalmente, estabelecidos sistemas nervosos centrais de complexidades diversas e variáveis no tempo, processos aleatórios representativos de interação com o meio e de seleção, proporcionaram a emergência de mecanismos cognitivos superiores, resultados do aprimoramento das ações, através do uso da experiência subjetiva na aquisição de conhecimentos.

Processos fundamentados nessas experiências subjetivas serão, genericamente, denominados de cognitivos conscientes, resultando, filogeneticamente, em processos mentais da espécie humana (Darwin, 1871, Diamond, 1995).

O desenvolvimento das diversas espécies animais está relacionado ao aprendizado que cada uma pode desenvolver em relação à obtenção de recursos alimentares e à sobrevivência diante de intempéries e predadores.

Talvez, a grande função, incrementada pela organização e ação do sistema nervoso, em escalas filo e ontogenética, tenha sido encontrar formas de representação e memorização de dados do meio. Isso, certamente, aumenta a probabilidade de adaptação de uma espécie (Thom, 1975).

Assim, não se pode negar que a emergência dos processos mentais, relacionados ao aumento da complexidade do sistema nervoso dos vertebrados superiores, proporcionou maiores possibilidades de ações, levando-os a explorar de forma mais eficiente os recursos do meio.

Para a espécie humana, em particular, há evidências fósseis de emergência dos fenômenos mentais, relacionados ao aparecimento da linguagem e da consciência superior, verificados através de mudanças nas estruturas cranianas e no raio geográfico de ação das primeiras comunidades dos ancestrais humanos (Noble & Davidson, 1996).

A formação de um sistema nervoso, sua crescente complexidade, auxiliada por processos superiores de representação e linguagem, pode ser apontada como decisiva na evolução dos processos cognitivos da espécie.

Portanto, é impossível falar em cognição como um simples fenômeno reprodutível computacionalmente, resultante de processos repetitivos e instruídos. Trata-se de uma das principais transições na escala evolutiva (Smith & Szathmáry, 1995), emergindo da cognição consciente, paralelamente ao aumento de complexidade do sistema nervoso, orientado, dinamicamente, pelo meio.

### **Cognição: filogênese e ontogênese**

Trataremos do problema da cognição distinguindo dois mecanismos: o filogenético, relacionado às mudanças na estrutura do DNA, e ontogenético, relacionado à conectividade entre as diversas partes do sistema nervoso.

Uma das principais críticas à Ciência Cognitiva é sua excessiva preocupação em modelar computacionalmente os processos ontogenéticos, relegando a um plano inferior a filogênese dos mecanismos de aprendizado da espécie humana.

Há uma imensa variedade de trabalhos publicados tentando

estabelecer modelos de funções cognitivas e entendimento dos mecanismos de funcionamento do cérebro humano, como um dispositivo com uma certa estrutura e que desempenha certas funções.

Modelagens interessantes dessas estruturas e funções têm sido propostas, proporcionando desenvolvimento em diversas áreas científicas que vão desde a medicina até as arquiteturas computacionais de inteligência artificial, passando pela psicologia experimental (Posner, 1989, Arbib, 1995).

Nesse tipo de modelagem, os processos ontogenéticos são, amplamente, privilegiados, partindo-se do pressuposto que o cérebro, tal como é, atualmente, salvo pequenas variações anatômicas e fisiológicas, é ponto de partida uniforme para os diversos indivíduos pertencentes à espécie humana.

O que propomos é a modelagem filogenética do aprendizado, através de processos dinâmicos que possam estar ocorrendo em escalas temporais mais longas, caracterizando uma dinâmica lenta de estabelecimento de novas estruturas e funções (Piqueira, 1996), proporcionadas pela emergência e atuação dos mecanismos de avaliação das experiências subjetivas.

Não se trata, portanto, de conceber o cérebro como um processador atual de impulsos ambientais que tem suas conexões sinápticas modificadas ao longo da vida de um indivíduo e sim como um aparato passível de mudanças nos padrões de resposta, transmitidos através das gerações, visando uma dinâmica e relacionando o balanço de energia com as velocidades adequadas à manutenção da vida.

De um lado a alta flexibilidade de respostas ao ambiente, proporcionadas pela grande variabilidade e instabilidade de padrões de conexão entre neurônios, marcante nos vertebrados superiores. Do outro, a rapidez das respostas pouco flexíveis, porém estáveis, marcantes nos organismos unicelulares.

No homem, as possibilidades de interações com o meio chegam a extremos bastante interessantes, ressaltados pela utilização das experiências subjetivas. O custo é, obviamente, a instabilidade dos sistemas e a baixa velocidade de resposta.

A flexibilidade, entretanto, é de tal ordem que permite à espécie a utilização de estratégias que auxiliam na compensação dos fatores limitantes, através

do controle de procedimentos de geração, distribuição e conversão das diversas modalidades de energia proporcionadas pelo ambiente (Wiesner, 1998).

### **Comunicação entre células e filogênese**

A base da flexibilidade, na operação dos sistemas de aprendizagem nos seres vivos, está ligada, ao que parece, à evolução de sistemas nervosos centrais, resultantes da transmissão e processamento de sinais elétricos, conduzidos ao longo das fibras nervosas.

O entendimento desse fenômeno passa pelos trabalhos clássicos de Hodgkin e Huxley, dos anos 50, sobre os mecanismos de ação de potenciais elétricos em neurônios

Assim, os mecanismos de troca de informação entre células do sistema nervoso central é realizado pela condução, através das membranas, de correntes de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , dependentes do tempo e de potenciais elétricos.

Nos anos 80, devido ao desenvolvimento de novas técnicas experimentais em eletrofisiologia, estabeleceu-se que as correntes iônicas passavam através de canais constituídos por proteínas específicas, os canais iônicos, que podiam ser de dois tipos : os controlados por potenciais elétricos e os controlados por ligantes como os neurotransmissores.

Os canais controlados por potenciais elétricos são, freqüentemente, classificados de acordo com o íon dominante : Na, Ca, K. Os controlados por neurotransmissores são classificados de acordo com o ligante ativo como : dopamina, noradrenalina, acetil-colina, GABA.

O número de canais descritos é imenso e cresce a cada dia. Essa diversidade de mecanismos de comunicação entre as células do sistema nervoso é a principal razão biológica da diversidade de ações e da flexibilidade de adaptação, apesar da instabilidade acarretada.

Do ponto de vista evolutivo, uma observação importante é que muitos tipos de canais são anteriores à existência de um sistema nervoso central. Estudos de

biologia molecular sugerem que os canais de Ca e K surgiram há cerca de 1400 milhões de anos. Os canais de Na e os primeiros canais ligantes surgiram com os sistemas nervosos primitivos, isto é, nos primeiros celenterados, há cerca de 700 milhões de anos (Arhem e Liljestron, 1997). Isso sugere que a chave das origens da cognição superior está na organização e interação de estruturas previamente existentes, com duas características especiais:

- A tendência dos neurônios de se agruparem e
- A tendência desses grupos de neurônios de aumentarem de volume, denominada encefalização

As diferentes estratégias de agrupamento de neurônios e as variações de volume desses agrupamentos permitiram à espécie humana o aprimoramento das estratégias de coleta e processamento das informações sobre o ambiente, transformando experiências prévias em ações e memórias apropriadas.

Desde os estágios iniciais da evolução, os sistemas nervosos, ao processar as informações sensoriais, possibilitavam discriminação e categorização, com o auxílio de mecanismos rudimentares de aprendizado e memorização.

Mesmo organismos relativamente simples, como minhocas e insetos, são aptos a aprender e armazenar informações em seus sistemas nervosos, não havendo razão para, nesse estágio de desenvolvimento, associar processos cognitivos a experiências conscientes.

Assim, é possível falar, inicialmente, de evolução da cognição, sem levar em conta a sua relação com a consciência, considerando que, em algum ponto da evolução do sistema nervoso, a complexidade passou a ser de tal ordem que permitiu a habilidade de integração de informações na percepção de objetos.

Essa habilidade, desenvolvida durante a evolução de répteis e mamíferos, parece se relacionar à integração e formação de padrões de atividade neuronal em diversas regiões da área cortical (Crick & Koch, 1995).

A percepção integrada permitiu representações internas do mundo externo, propiciando modelos de categorização de objetos. O aumento de complexidade permitiu previsões do ambiente futuro, em função do ambiente atual

e da experiência presente. O sucesso dessas previsões se relaciona à extensão da capacidade de aprendizado e memória do animal.

### **Filogênese da cognição superior**

Níveis mais altos de aprendizado compreendem raciocínio, planejamento e pensamento abstrato, com o comportamento do cérebro ficando mais independente dos impulsos externos, ainda de grande valia para a sobrevivência.

Finalmente, a habilidade de interiorizar as representações do mundo inclui a formação de padrões temporais, conectando seqüências de eventos cerebrais em correspondência a seqüências de eventos externos, permitindo o entendimento da seta do tempo.

Para a espécie humana, os modelos internos, que incluem outros indivíduos e suas mentes, são importantes na determinação da significância dos comportamentos e no planejamento de passos seguintes. O sentido do *Eu* é desenvolvido através da experiência seqüencial de eventos, de acordo com os modelos internos de mundo e da separação das representações do *self* e do *não-self*. Esses atributos da cognição superior requerem associações com a experiência consciente, questão em aberto e objeto de estudo recente (Donald, 1991).

Os processos cognitivos parecem ser compostos de múltiplos níveis, variando dos altamente conscientes até os inconscientes, com complexidades múltiplas, em diversas escalas. Expectativas, objetivos, vontade, planos, desejos estão além da percepção imediata e o entendimento de seus processos de formação, possivelmente, nos colocará em contato com os mecanismos de experimentação subjetiva, dominantes em nossas operações conscientes.

Aparentemente, os detalhes físicos das operações do sistema nervoso central, como conhecemos atualmente, não são suficientes para a explicação da emergência da cognição consciente. Há, aqui, uma aparente não linearidade, própria dos sistemas complexos, cujo comportamento é radicalmente diferente da superposição dos comportamentos das partes (Dawkins, 1986).

Embora a idéia de consciência esteja ligada ao estado de atenção e,

através de avaliações subjetivas, à tomada de decisões, há muitos níveis diferentes possíveis.

Edelman (1992) distinguiu formas evolutivamente primárias de formas mais avançadas. A capacidade de atenção seletiva e de processamento simultâneo são associadas à consciência primária, enquanto a superior é acompanhada pelo sentido do *Eu*.

Há fortes argumentos para considerarmos a consciência superior como sendo específica dos humanos, tendo em vista o alto grau de complexidade e organização de seu cérebro, comportamento e linguagem. Nenhuma outra espécie desenvolveu, por exemplo, as funções descritivas e argumentativas em suas linguagens. (Edelman, 1992 & Popper, 1976).

### **Ontogênese e filogênese da cognição: modelos computacionais**

O desenvolvimento da computação e de interfaces amigáveis para usuários permitiram que a modelagem matemática e a simulação computacional de processos complexos deixassem de ser privilégio de uma elite de teóricos de matemática e ciência da computação (Hannon & Ruth, 1997).

Os protocolos experimentais, nos diversos ramos das ciências humanas e biológicas, podem ser enriquecidos por simulações dinâmicas que, de certa maneira, tentam reproduzir comportamentos reais, principalmente, para sistemas complexos.

A ontogênese de processos cognitivos e sensoriais tem sido amplamente estudada através de distintas abordagens matemáticas. Formação de mapas corticais, através de redes neurais (Mazza, 1997); emergência de mecanismos sensoriais, através de equações dinâmicas não lineares (Freeman, 1991); estabelecimento de padrões complexos, através da teoria da informação (Benedito-Silva, 1998), são exemplos dessa estratégia.

A modelagem da filogênese de processos biológicos tem aparecido com frequência na literatura (Hoppenstead & Peskin, 1992), principalmente tratando de modelos de genética populacional, usando equações dinâmicas.

Os problemas de genética, relacionados aos sistemas complexos adaptativos, proporcionaram, inclusive, técnicas algorítmicas bastante adequadas à solução de problemas de identificação e otimização não linear (Holland, 1992).

Não temos, entretanto, conhecimento de tentativas de modelagem da filogênese de processos cognitivos, raciocínio que imaginamos possa ser iniciado a partir da dinâmica evolutiva de crescimento de ligações entre neurônios de várias redes, estabelecendo-se níveis de abstração diferentes de tarefas, como se faz nas arquiteturas hierárquicas em camadas, para sistemas computacionais distribuídos (Day & Zimmermann, 1983).

Os mecanismos de cognição mais simples teriam sua dinâmica modelada por redes de osciladores mutuamente sincronizados (Del Nero, 1997) e os pesos das conexões, variando em uma escala temporal rápida, seriam os responsáveis pela ontogênese de cada camada.

As camadas corresponderiam aos níveis de complexidade crescente, de acordo com a emergência de novas funções. A flexibilidade, em uma escala temporal mais lenta, surge das interconexões entre as diversas redes de osciladores que, de maneira cooperativa, recebem informações das camadas inferiores, processam-nas, entregando-as aos níveis superiores.

Assim, estaria estabelecida uma estratégia para a filogênese da cognição. Crescimento da conectividade nas diversas camadas e estabelecimento de novas ligações entre elas, criando padrões de oscilação espaço-temporais variáveis em diversas escalas.

Tem-se, então, um projeto fundamentado na extensão do átomo cognitivo (Del Nero & Piqueira, 1998), proposto, inicialmente, como passível de simular a emergência dos modos automático e voluntário em uma arquitetura artificial.

A proposta, agora, ligeiramente diferente das apresentadas em trabalhos anteriores, pretende estabelecer camadas constituídas de redes com três malhas de sincronismo de fase (PLLs), com frequências naturais diferentes e mutuamente sincronizadas (Piqueira, 1997).

A obtenção de sincronismo em uma determinada camada deverá

representar sua estabilidade. Comportamentos quase periódicos, em uma dada camada, implicarão recrutamento de novas redes, idênticas às anteriores, conectadas ao mesmo nível de abstração, representando o processo de agrupamento de neurônios. A conexão entre camadas adjacentes representará a encefalização, recrutada através do aparecimento de soluções caóticas nas camadas inferiores.

Todo o mecanismo descrito representa o projeto de um modelo, cuja montagem e simulação estamos iniciando em nosso laboratório.

### Referências

- ARBIB, M. A. *The handbook of brain theory and neural networks*. Cambridge, Mass: The MIT Press, 1995.
- ARHEM, P., LILJENSTRÖM, H. On the coevolution of cognition and consciousness. *Journal of Theoretical Biology*, n. 187, p. 601-12, 1997.
- BENEDITO-SILVA, A. A. *Entropia informacional e cronobiologia*. São Paulo, 1998. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- CRICK, F., KOCH, C. Are we aware of neural activity in primary visual cortex? *Nature*, n. 375, p. 121-3, 1995.
- DARWIN, C. *The descent of man*. Princeton: Princeton University Press, (1871) 1981.
- DAY, J. D., ZIMMERMANN, H. The OSI reference model. *Proceedings of the IEEE*, v. 71, n.12, p. 1334-40, 1983.
- DAWKINS, R. *The blind watchmaker*. London: Penguin Books, 1986.
- DEL NERO, H. S. *Computação topológica e controle voluntário em arquiteturas naturais e artificiais*. São Paulo, 1997. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- DEL NERO, H. S., PIQUEIRA, J. R. C. Consciousness and controllability: looking for a legitimate temporal code in the brain. *Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science*. v. 50, n. 2/3, p. 159-64, 1998.
- DIAMOND, J. A evolução da inventividade humana. In: MURPHY, M. P., O'NEILL, L. A. J. (Ed.) *O que é vida? 50 anos depois*. São Paulo: UNESP, (1995) 1997.
- DONALD, M. *Origins of the modern mind*. Cambridge: Harvard University Press, 1991.
- EDELMAN, G. M. *Bright air, brilliant fire: on the matter of the mind*. New York: Basic books, 1992.

- FREEMAN, W. J. The physiology of perception. *Scientif American*, n. 264, p. 78-85, 1991.
- GARDNER, H. *The mind's new science*. New York: Basic Books, 1985.
- HANNON, B., RUTH, M. *Modeling dynamic biological systems*. New York: Springer Verlag, 1997.
- HOLLAND, J. H. *Adaptation in natural and artificial systems*. Cambridge: The MIT Press, 1992.
- HOPPENSTEAD, F. C., PESKIN, C. S. *Mathematics in medicine and life sciences*. New York: Springer-Verlag, 1992.
- Lindahl, B. I. B. Consciousness and biological evolution. *Journal of Theoretical Biology*, n. 187, p. 613-29, 1997.
- MAZZA, M. B. Simulação computacional do processamento neuronal no córtex somatossensorial primário. Ribeirão Preto, 1997. Dissertação (Mestrado) - FFCLRP-USP.
- NOBLE, W., DAVIDSON, I. *Human evolution, language and mind*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- PIQUEIRA, J. R. C. Estabilidade estrutural e organização. In: DEBRUN, M., GONZALES, M. E. Q., PESSOA JÚNIOR, O. (Ed.). *Auto-organização: estudos interdisciplinares*. Campinas: Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, UNICAMP, 1996. (Coleção CLE- v. 18).
- \_\_\_\_\_. *Uma contribuição ao estudo das redes com malhas de sincronismo de fase*. São Paulo, 1997. Tese (Livre Docência) – Escola de Politécnica. Universidade de São Paulo.
- POPPER, K. R. *Unended quest. An intellectual autobiography*. London: Fontana/Collins, 1976.
- POSNER, M. I. *Foundations of cognitive science*. Cambridge: The MIT Press, 1989.
- SMITH, J. M. *The theory of evolution*. Cambridge: Cambridge University Press, (1958) 1995.
- SMITH, J. M., SZATHMÁRY, E. *The major transitions in evolution*. Oxford: W. H. Freeman and Company Limited, 1995.
- THOM, R. *Structural stability and morphogenesis*. Reading: The Benjamin/Cummings Publishing Co., 1975.
- VON NEUMANN, J. *The computer and the brain*. New Haven: Yale University Press, 1958.
- WIESNER, J. B. Electronics and evolution. *Proceedings of the IEEE*, v. 86, n. 3, p. 595-6, 1998.