

O Problema de Vinculação Neural

Nataniel Cezimbra

Um dos problemas interessantes em neurociência e psicologia, ao longo das últimas décadas, é o da vinculação neural (*Neural Binding*), ou seja, da dificuldade interdisciplinar de criar um modelo abrangente e verificável para a unidade da consciência. Por unidade de consciência, podemos entender não só a hipótese, mas principalmente, a problemática referente a como o cérebro gerencia, processa, sincroniza e integra percepções numa experiência única. Trata também de como ocorre a agregação temporal de várias qualidades perceptivas de um objeto físico (forma, cor, textura, dimensão, localização, movimento, etc), quando estas propriedades sensoriais diversas são processadas em diferentes áreas do cérebro. Não obstante, não apenas a percepção de objetos, mas como também são combinados os aspectos emocionais, cognitivos, comportamentais, as tomadas de decisões e as ações numa experiência coesa e única. Segundo Feldman (2013), o tema de vinculação neural pode ser subdividido em quatro grandes problemas: o de Coordenação Geral (*General Coordination*), o de Vinculação de Recursos Visuais (*Visual Feature-Binding*), o da Vinculação de Variáveis (*Variable Binding*), e o de Unidade Subjetiva da Percepção (*Subjective Unity of Perception*).

Os quatro problemas

De maneira sucinta, o problema de Coordenação Geral trata de três tópicos: 1) da atividade coordenada de diversos circuitos neurais sincronicamente, 2) do papel da atenção na percepção de como os fenômenos são ligados, notados e lembrados, e, 3) da unicidade da percepção, ou seja, como objetos e atividades que parecem estar no mesmo lugar e tempo tendem a ser vistos como unitários. Diante disso, importantes fenômenos são estudados neste campo que tem como base o conceito de sincronia temporal, co-ocorrência (sic), entre eles: a ativação e adaptação neural, os padrões de frequência neural em grande escala, as oscilações nos sinais neurais, o acoplamento entre a atividade em áreas cerebrais distantes mediado por potenciais de campo local (LFP - *local field potentials*) e o acoplamento de fase (1).

Em relação ao problema de Vinculação de Recursos Visuais, se investiga como o nosso cérebro consegue não confundir características e atributos visualmente percebidos de objetos. Neste campo, diversos estudos têm obtido sucesso em demonstrar de que forma as “vinculações” ocorrem. Por exemplo, sabe-se que o sistema visual é organizado de forma “espaciotópica” e que a visão mais detalhada é feita em fixações foveas que são inerentemente coordenadas no espaço e no tempo. Não obstante, se concluiu que a grande expansão das células visuais, de cerca de um milhão no nervo óptico para bilhões no córtex visual, é geralmente entendida como responsável pela transformação de sinais proximais conflitantes em estimativas das características de suas fontes distais. Outras pesquisas demonstram que o sistema visual consegue realizar reconhecimento complexo rapidamente e que a via ventral (*two-streams hypothesis*, modelo neural de processamento de dois fluxos) desempenha um papel importante porque contém neurônios de complexidade crescente e campos receptivos maiores. Outros tópicos, principalmente com utilização de ressonância magnética funcional (fMRI), buscam identificar as áreas cerebrais ativas na percepção visual, explorar como ocorrem os múltiplos processos de vinculações e como a memória visual (retenção de atributos, detecção de mudanças, organização espacial) atua no reconhecimento de objetos.

“Parece que o “truque” que o cérebro utiliza para compor uma cena singular, coerente e unificada a partir da fragmentação intracerebral da realidade externa é o disparo simultâneo, correlacionado em um instante, de todos os neurônios implicados na análise dos atributos de cada objeto particular. Portanto, ver um objeto implica a ativação de vários neurônios em diferentes localizações do sistema visual de maneira correlacionada. O problema do enlace, do ponto de vista neurobiológico, é entender como esses neurônios se ativam temporalmente de maneira síncrona, particularmente quando mais de um objeto ou evento pode ser percebido simultaneamente. Ou então, como questiona Gerald Edelman: “Como um conjunto de diversos mapas funcionalmente separados, podem estar ligados sem um mecanismo controlador de ordem superior?” (Silva, 2003)

Por sua vez, o problema de Vinculação de Variáveis trata de como o cérebro faz a ligação de duas ou mais variáveis independentemente de seus valores particulares, fenômeno que ocorre principalmente no processamento da linguagem e de outros pensamentos simbólicos. Infelizmente, esta é uma área em que os avanços foram discretos ao longo do tempo, sendo que vários modelos matemáticos e computacionais foram usados para explorá-los, porém resta um paradoxo, embora seja possível codificar inferências através de regras lógicas, simplesmente não se consegue saber como o cérebro cria estas regras. Por exemplo, em uma simples declaração, o cérebro consegue vincular através da linguagem conceitos (variáveis diferentes) como sujeito, verbo, objeto direto. Porém modelar esta vinculação e de que forma ela acontece no circuito neural se torna uma tarefa praticamente intransponível, sendo que neste campo de pesquisa, geralmente utilizam-se modelos denominados de vinculação de sincronia de fase temporal, em que se abandona o fato de que o cérebro funciona num paralelismo massivo, onde tudo é potencialmente ativo ao mesmo tempo, para a noção discreta de padrões de disparos neurais locais em fases separadas.

Por último, o problema da Unidade Subjetiva da Percepção, provavelmente, trata do tema mais profundo e interessante da vinculação neural, pois busca explorar de que forma ocorre a experiência pessoal subjetiva. Em outras palavras, temos a percepção (ilusão) de um mundo visual estável devido a integração que fazemos de diversas funções e circuitos neurais que captam e processam nossas percepções. Nas palavras de Feldman (2006), é importante reconhecer: “(..) que o cérebro é um sistema neural que evoluiu para operar um corpo físico em um ambiente social. Ele está constantemente tentando encontrar o melhor ajuste entre os objetivos do agente e a entrada perceptual ruidosa e está sujeito a todo tipo de ilusões.”

Entende-se, em uma abordagem da neurociência, que a atividade cerebral ocorre: 1) em determinados circuitos através de disparos neurais espaço-temporais, que 2) há uma sincronização e acoplamento destes determinados circuitos em 3) funções cerebrais de percepção, cognição, emoção e comportamentos que se vinculam numa experiência única de consciência. Se estas suposições são verdadeiras, e a evolução das pesquisas neste campo a sustentem, há a possibilidade de que uma “disfunção de vinculação” possa ser um componente relevante nas causas e origens de diversos distúrbios mentais, principalmente na investigação de neuropatologias que tenham sintomas relacionados a distorção das percepções sensoriais da realidade, de desvios da função do ego relacionados à consciência (auto-percepção) e atenção, além de transtornos orgânicos como demência, esquizofrenia e taupatias (Garcia 2021, Yao 2023 e Assis 2015).

- (1) Segundo Qin (2021), o acoplamento de fase neural é um mecanismo para a comunicação entre áreas cerebrais, e ocorre “quando a potência (ou amplitude) de uma oscilação de alta frequência é bloqueada (e muitas vezes modulada) pela fase de uma oscilação de baixa frequência”. É observado em várias regiões do cérebro e desempenha um papel crucial em funções motoras e processos cognitivos, como memória de trabalho, atenção e aprendizado.

Referência Bibliográfica:

- Feldman J. The neural binding problem(s). *Cogn Neurodyn*. 2013 Feb;7(1):1-11. doi: 10.1007/s11571-012-9219-8. Epub 2012 Sep 1. PMID: 24427186; PMCID: PMC3538094.
- Garcia-Toro M, Blanco C, Gonzalez A, Salva J. Psychopathology and the binding problem. *Med Hypotheses*. 2001 Dec;57(6):718-23. doi: 10.1054/mehy.2001.1441. PMID: 11918433.
- Qin Y, Menara T, Bassett DS, Pasqualetti F. Phase-amplitude coupling in neuronal oscillator networks. *Phys Rev Res*. 2021;3(2):023218. Disponível em: <https://journals.aps.org/prresearch/pdf/10.1103/PhysRevResearch.3.023218>
- Weiller C, Reisert M, Peto I, Hennig J, Makris N, Petrides M, Rijntjes M, Egger K. The ventral pathway of the human brain: A continuous association tract system. *Neuroimage*. 2021 Jul 1;234:117977. doi: 10.1016/j.neuroimage.2021.117977. Epub 2021 Mar 21. PMID: 33757905.
- Yao D, Chen Y, Chen G. The role of pain modulation pathway and related brain regions in pain. *Rev Neurosci*. 2023;34(8):899-914. doi: 10.1515/revneuro-2023-0037. Epub 2023 Jun 8.
- De Assis, L. P. G. (2015). Neural binding, consciousness, and mental disorders: Complexity as a common element. *Activitas Nervosa Superior*, 57(3-4), 110-121.
- Silva, Maurício Marx et al (2003). A consciência: algumas concepções atuais sobre sua natureza, função e base neuroanatômica. *Rev. psiquiatr. Rio Gd. Sul* 25 (suplemento 1) Disponível: <https://www.scielo.br/j/rprs/a/TkPVRtCN4gfpGNKWqTK58Mr/?lang=pt>
- Roelfsema, Pieter R. *Neuron* (2023) , Volume 111, Issue 7, 1003 – 1019. Solving the binding problem: Assemblies form when neurons enhance their firing rate—they don’t need to oscillate or synchronize.
- Reynolds JH, Desimone R. The role of neural mechanisms of attention in solving the binding problem. *Neuron*. 1999 Sep;24(1):19-29.