

Estado da publicação: Não informado pelo autor submissor

NEUROFISIOLOGIA DO AMOR

Alberto A. Rasia-Filho

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.12093>

Submetido em: 2025-05-26

Postado em: 2025-05-29 (versão 1)

(AAAA-MM-DD)

NEUROFISIOLOGIA DO AMOR

Alberto A. Rasia-Filho

Professor Titular, Departamento de Ciências Básicas da Saúde/Fisiologia e PPG em Biociências, Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA); Professor orientador do PPG em Neurociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil.

Número ORCID de identificação: AARF (<https://orcid.org/0000-0003-4623-5916>)

Email: aarf@ufcspa.edu.br, rasiafilho@yahoo.com

Conflito de interesse: Nenhum a declarar. Nada neste texto foi escrito por I.A.

Apoio Financeiro: CNPq/Brasil (processo 314352/2020-1)

Resumo

Nesta revisão apresenta-se uma discussão sobre como conceituar ou definir amor humano, quais áreas do sistema nervoso central estão envolvidas e qual a heterogeneidade neuroanatômica e funcional que se observa quando da manifestação subjetiva de amor direcionado a pessoas ou mesmo em outras manifestações de amor.

Abstract

This review presents a discussion on how to conceptualize or define human love, which areas of the central nervous system are involved with its organization, and what neuroanatomical and functional heterogeneity occurs when subjectively perceiving and expressing this feeling to other people or even expressing other manifestations of love.

Resumen

Esta revisión presenta una discusión sobre cómo conceptualizar o definir el amor humano, qué áreas del sistema nervioso central están involucradas y qué heterogeneidad neuroanatômica y funcional se observa al percibir y expresar subjetivamente tal sentimiento a personas u otras manifestaciones de amor.

Palavras-chave: circuitos neurais, córtex pré-frontal, córtex insular, córtex cingulado

Key words: Neural networks, prefrontal cortex, insular cortex, cingulate cortex

Palabras clave: redes neuronales, corteza pré-frontal, corteza insular, corteza del cíngulo

INTRODUÇÃO

A definição de um termo ou tema é etapa inicial para a pesquisa direcionada, sua compreensão racional, argumentada e validada para um tema científico. Saber do que se trata o objetivo de estudo norteia que é que se busca e como obter informações e, ao julgá-las, avançar com novos resultados, guardados limites e possibilidades de conclusão de acordo com a metodologia empregada. Essa é a primeira dificuldade ao se tratar de ‘amor’, um sentimento subjetivo e pessoal, que pode variar ao longo da vida da pessoa e suas experiências, que tem influência social e cultural geral e ainda pode abarcar várias possibilidades ou nuances quanto à quem ou a que se relaciona o que se sente.

Neste contexto, não parece ser à toa que há muitas tentativas de explicação do que é amor, desde dicionários de Filosofia às mais diversas descrições de sua expressão e representatividade em escritos históricos, poesias, crônicas, pinturas e letras de músicas, por exemplo. Mais recentemente, abordagens neurofisiológicas com técnicas de imageamento encefálico procuraram correlacionar a sensação evocada e expressa como amor com ativação (ou inativação) de áreas do córtex cerebral e subcorticais concomitantemente.

Aqui apresenta-se o olhar de um cientista e as etapas (inerentemente muito complexas) para se chegar a uma abordagem neurofisiológica do amor humano. É disso que trata o presente capítulo, parte da disciplina eletiva “Amor: Uma Prática Biopsicossocial” da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA), como uma introdução ao assunto e para estimular a busca com a instigante e necessária integração de saberes. E, na impossibilidade de existir uma visão reducionista e, muito importante, procurando não formular ideias simplistas que não refletem a amplitude do tema, será possível perceber que existem mais perguntas que respostas na neurofisiologia do amor. Há, no entanto, dados muito relevantes já obtidos com um número reduzido de participantes. Tudo isso indica o quanto esse tema pode ser debatido e como se pode procurar avançar as questões pendentes. Como uma introdução, algumas referências serão incluídas aqui para fundamentar ideias e exemplificar resultados obtidos.

A BUSCA PELO CONCEITO OU PELA DEFINIÇÃO DE AMOR

Como se conceitua o que é amor descrevendo um sentimento complexo somente por meio de palavras sem empregar outras expressões corporais emocionais, nem mesmo entonação de voz? Sendo ainda mais preciso, como se define o amor enunciando-o com clareza e significação exata? Como se faz para diferenciar amor de sentimento de afeto, carinho, vínculo, cuidado ou felicidade se tudo isso pode se mesclar como descrição do que é amor? Ou, alternativamente, amor só pode ser compreendido como um sentimento positivo e com similaridades à felicidade, prazer, vínculo e companheirismo?

Como uma primeira proposição, porém, procuremos por ambos, conceito e definição de amor, sem usar qualquer recurso tautológico para sua explicação. Isto é, não se deveria utilizar um atributo do amor para definir amor em si e nem repetir a mesma ideia sobre amor empregando palavras diferentes para simbolizá-lo subjetivamente. Seria o mesmo que dizer que, neste primeiro momento, não poderíamos definir amor como “o sentimento quando alguém se sente amando ou

sentindo a sensação que caracteriza o que é amar do não amar”. Também vamos restringir “amor” à língua portuguesa, embora “amor” tenha representação equivalente nos mais diversos idiomas (incluindo ideogramas).

Avaliemos criticamente se amor poderia ser uma “sensação subjetiva percebida conscientemente e que os seres humanos expressam quando sentem profundo apreço, desejo de querer o melhor e manter-se com alguém ou algo de sua experiência”. Agora, notemos como cada uma das partes dessa frase poderia ser afirmada como parte do amor (ponto de exclamação a seguir), mas questionada (indicado por ponto de interrogação) quanto à sua especificidade, da seguinte forma: Amor poderia ser caracterizado como uma percepção subjetiva (!) percebida conscientemente (?) e que os seres humanos (?) expressam quando sentem (!) profundo apreço (?), desejo de querer o melhor e manter-se com alguém ou algo (!) de sua experiência (?). Sendo assim, amor seria uma percepção complexa e subjetiva, individual e com influência social e cultural, mas somente é sentido por seres humanos e mais nenhum outro animal, nem os primatas mais próximos? Apreço é estima, consideração ou admiração... seria suficiente para expressar o que se sente como amor ou é “pouco”? E, sendo amor uma percepção individual mas com interpretação coletiva, quem e quais referenciais serviriam para dizer se apreço é amor ou não? Os demais itens também poderiam ser debatidos... Além disso, para esse conceito acima tentado, não pareceria que amor e felicidade se confundiriam e o mesmo que se diz de um valeria para o outro?

Alternativamente, busquemos o que já está apresentado no *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa* (Ed. Objetiva, 2001): **AMOR** (a.) “**1** forma de interação psicológica ou psicobiológica entre pessoas, seja por afinidade imanente, seja por formalidade social. **2** atração afetiva ou física que, devido a certa afinidade, um ser manifesta por outro **2.1** forte afeição por outra pessoa, nascida de laços de consanguinidade ou de relações sociais **2.2** atração baseada no desejo sexual; afeição e ternura sentida por amantes **2.3** *p.ext.* relação amorosa, aventura amorosa; caso, namoro... **2.4** *p.ext.* atração sexual natural entre as outras espécies animais... **2.5** *p.met.* o ato sexual... **2.6** afeição baseada em admiração, benevolência ou interesses comuns; calorosa amizade; forte afinidade (*a. pelos antigos colegas*) **3** *p.ext.* força agregadora e protetiva que sentem os membros dos grupos familiares ou não, entre si (*a. filial, a. de mãe*) (*o a. dos torcedores por seu clube*) **4** *p.met.* a pessoa ou a coisa amada ou apreciada... **5** comunhão íntima, coesão com o universo, com ou sem conotação religiosa... **5.2** REL sentimento como de afeição e benevolência paterna atribuído a Deus em relação aos homens... (e) suas criaturas... **5.4** REL sentimento de caridade, de compaixão de uma criatura por outra, inspirada pelo sentido de sua relação comum com Deus (*a. ao próximo...*) **6** *fig* devoção de uma pessoa ou um grupo de pessoas por um ideal concreto ou abstrato; interesses, fascínio, entusiasmo, veneração (*herdou do pai o a. pelo mar*)...(a. ao teatro) **7** *p.met.* o objeto de tal interesse ou veneração (*seu a. sempre foi o automobilismo*)... **8** demonstração de zelo, dedicação, fidelidade (*a. pelo trabalho*) (*a. do cão pelo seu dono*) **9** ambição, cobiça **10** MIT um deus ou a personificação do amor [*Cupido (na Grécia, Eros), Vênus (na Grécia, Afrodite)*] **11** MIT cada uma das divindades infantis subordinadas a Vênus e a Cupido... **12** galanteios, expressões amorosas... **tratar com a.** dispensar carinho a alguém; prestar-lhe auxílio... **um a.** *infrm* pessoa ou coisa muito linda,... preciosa, uma beleza, uma graça, um encanto...”

No *Dicionário de Filosofia* de Abbagnano (Ed. Martins Fontes, 2007), com cerca de 11 páginas para o item AMOR, há exemplos de que “O amor tudo suporta, em tudo crê, tudo espera, tudo sustenta... Agora há fé, esperança, amor, três coisas; mas o amor é a maior de todas (Cor., I, 13, 7-13)”; “Amor ... é uma espécie de união ou vínculo de natureza afetiva, semelhante à união substancial porquanto quem ama comporta-se em relação ao amado como em relação a si mesmo... amar significa querer o bem de alguém... (São Tomás); e, “Amor é a disposição da alma de sentir prazer pela felicidade alheia” (Wolff).

Ou seja, é de parecer que “amor” é uma percepção tão “grande” e complexa que não pode ser descrita exatamente de uma única forma, embora sentido individualmente e, em muitos casos, compartilhado. Há, nesse sentimento subjetivo, envolvimento social e cultural estabelecido como amor e suas nuances. Bem pode ser, então, que essa subjetividade se expresse de forma poética como (no) *Presságio* de Fernando Pessoa:

O AMOR, quando se revela,
Não se sabe revelar.
Sabe bem olhar p'ra ela,
Mas não lhe sabe falar.

Quem quer dizer o que sente
Não sabe o que há de dizer.
Fala: parece que mente...
Cala: parece esquecer...

Ah, mas se ela adivinhasse,
Se pudesse ouvir o olhar,
E se um olhar lhe bastasse
P'ra saber que a estão a amar!...

Mesmo não se tendo a possibilidade de encontrar (porque parece não haver realmente) uma única definição ou conceituação para amor, mas buscando a forma como se estrutura e se manifesta em nossa espécie, várias questões relevantes surgem para sua consideração neurofisiológica. Várias serão apontadas aqui para reflexão.

Por exemplo, como emoção ou sentimento complexo, nasce-se com a capacidade de amar ou se pode aprender a amar em maior ou menor intensidade? Todos os seres humanos são iguais (com uma “normalidade”) na forma de amar? Ensina-se o que significa sentir e nomear como amor subjetivamente, interpretar seu significado e sua relação concreta como proximidade de mãe, pai, parentes ou quem cuida das crianças em seu desenvolvimento? Como característica ontogenética, há modificações “plásticas”, dinâmicas e/ou persistentes no sistema nervoso de quem ama e sente ser amado(a)? *Amar se aprende amando* (Carlos Drummond de Andrade)? Então, quantos tipos ou “graus” de amor existem? Que é considerado amar e demonstrar amor ao longo dos tempos? Lembremo-nos, por exemplo, como os povos indígenas consideram e guardam a Natureza, o vínculo que existe entre amigos(as) por décadas mesmo sem contato frequente ou como eram as manifestações comportamentais de adoração aos Beatles registrados na década de 1960... Há

variabilidade no que é percebido como amor ao longo do tempo de vida de cada pessoa, de suas experiências ou abstrações (seus ideais de amor e de vida) e, além disso, há diferenças entre os sexos e, sendo afirmativo, por quais razões? Da mesma forma, muito infelizmente, como a falta desse amor, o abandono e desamparo, as guerras e demais formas de violência, relacionamentos abusivos e tóxicos, a fome e a falta de esperança em melhores condições afetam o sistema nervoso em todas as idades, considerando-se as vulnerabilidades na infância e também nos demais ciclos de vida?

Evolutivamente, o amor é um sentimento somente humano e que somente nossa espécie a experimenta? Ou o critério de julgamento do que é amor ou não em outras espécies corre o risco de ser avaliado por nossa visão restritiva antropocêntrica? Se existe amor entre outros animais, como provar sua existência objetivamente (e especificamente para cada espécie) e relacioná-la filogeneticamente com o sentimento humano? Em havendo desenvolvimento filogenético do amor, quais são as “vantagens” e melhora adaptativa para a espécie ao amar? Uma das manifestações de amor descrita por humanos é a do amor de mãe e pai pelo(a) filho(a). As relações estabelecidas no vínculo e cuidado são verbais e não-verbais, variam de rápidas a longas, são recíprocas, com comunicação bidirecional visual e de percepção da expressão emocional facial, auditiva e da prosódia, tátil e gestual, passando a ter causa e efeito positivo para o sistema nervoso central em ambos mãe/pai e filho/filha (veja mais dados relevantes em Schore, 2021). Assim se formam memórias e se modificam comportamentos em desenvolvimentos mútuos. Em ratas, a maternidade induz alteração morfológica neuronal e, muito provavelmente, sináptica em circuitos neurais relacionados com formação de ninho, atenção e proteção à prole, orientação espacial, amamentação e comportamento agressivo contra intrusos (de Almeida et al., 2006; Rasia-Filho et al., 2004). Poderia ser isso também ser relacionado com amor maternal adaptado para outra espécie?

Considerando o ser humano e nossa possibilidade de expressão do que se pensa ser amor, tal sentimento vale para “quem” (pessoas) ou para o “que” (objetos)? Se for para objetos, vale para seres inanimados que não retribuem em nada com o mesmo sentimento? Tudo isso representa “formas de amar” e são necessariamente diferentes entre si ou todas advém da mesma “base neurofisiológica” com um amplo espectro de representação?

A conclusão dessa primeira parte é que, frente a tantos questionamentos, ainda precisamos compreender muito mais sobre o que é percebido como “amor” ou que é “amar”. Por ora, haveria de parecer, como na letra do samba cantado por Paulinho da Viola, que “Não sou eu quem me navega, quem me navega é o mar” e o amor é maior que nossa compreensão permite caracterizar. Não obstante, técnicas de imageamento do sistema nervoso central permitiram que achados experimentais pudessem ser obtidos e relacionados com a percepção e elaboração consciente do sentimento “amor”, como descrito a seguir. Assim, amor passa a ser “visível” e representado por áreas corticais e subcorticais que aumentam e outras que diminuem sua atividade, formando uma “sinfonia” onde a composição significa todo um processamento neural integrado (Renner e Rasia-Filho, 2023) e, mesmo que de algo abstrato, ainda subjetivo e pessoal, porém que também desencadeia modificações mensuráveis na frequência cardíaca e respiratória,

na atenção direcionada, na expressão facial, na secreção neuroendócrina que fortalece vínculos e na formação de memória.

NEUROFISIOLOGIA DO AMOR HUMANO

Pelo mencionado até o momento, antevê-se que não há um único “centro” cerebral para elaboração de todo “amor”, mas processamento em paralelo em múltiplos circuitos neurais com várias funções integradas. Ou seja, não existe uma única área do sistema nervoso central que modula cada um e todos os aspectos relacionados a uma emoção complexa. O historicamente descrito “sistema límbico” é atualmente considerado com muito mais áreas, núcleos e subnúcleos com interações funcionais moduláveis entre porções subcorticais (com núcleos do complexo amigdalóide na transição para alocórtex) até neocorticais, dos núcleos da base além de núcleos e vias do hipotálamo e tálamo, do cerebelo e do tronco encefálico (Heimer et al., 2008; Panksepp 2016; Rasia-Filho et al., 2021). Outro exemplo expande o que aqui se descreve. O córtex insular não havia sido incluído como “sistema límbico” originalmente, mas se para tanto é necessário modular emoções (incluindo as muito complexas como perceber e demonstrar empatia), resultados experimentais em humanos demonstraram que “quando você vê a pessoa que ama, procura perceber a sua frequência cardíaca, sente uma cefaleia ou tem vontade de comer um biscoito de chocolate, uma parte do seu encéfalo certamente aumento muito sua atividade: o córtex insular” (Gogolla, 2017). A magnitude de áreas envolvidas já pode dar conta de porque os humanos atribuem o termo “amor” de forma vasta (Rinne et al., 2024) e porque pode haver notável variabilidade entre as pessoas no que percebem como amor e suas experiências. Os resultados experimentais indicam isso.

Adicionalmente, ainda que alguns tenham grande relevância, não há um único neurotransmissor para todas as sinapses de todos os circuitos neurais necessários para uma elaboração neural tão complexa como o amor. Muito provavelmente há muitos neurotransmissores, neuropeptídios, fatores neurotróficos e hormônios atuando em conjunto, em diversas áreas e modulando conexões locais, que se relacionam com a gênese e a expressão do amor e sua consolidação como sentimento complexo e memória. São exemplos: glutamato e GABA (basicamente como principais transmissores excitatório e inibitório, respectivamente), histamina (pela modulação da atenção), serotonina, dopamina, encefalina/endorfina, acetilcolina, ocitocina, vasopressina, fator de crescimento nervoso, kisspeptina (nos neurônios que sintetizam o hormônio liberador das gonadotrofinas, GnRH), cortisol e testosterona (vejam-se alguns resultados em Fischer et al., 2005; de Boer et al., 2012; Marazziti et al., 2021). Cada um deles têm funções integradas nos circuitos neurais relevantes (novamente como os músicos e instrumentos da sinfonia em execução).

Por isso tudo, evitem-se visões simplistas e preste-se muita atenção nas teorias e na metodologia de estudo das emoções/sentimentos complexos (vide Šimić et al., 2021). É preciso ver como são feitas as avaliações “controle” e comparativa dos dados obtidos ou como se faz para diferenciar (ou ter que incorporar no estudo) amor de atenção, processamento visual ou auditivo

e um estímulo neutro, julgamento social, excitação sexual e cognição. Ademais, mesmo que as emoções/sentimentos sejam conscientes (LeDoux and Brown, 2017), quais são os processamentos “não conscientes” relacionados com a percepção, análise, evocação e expressão de amor e como sensações imprecisas dadas pelas alterações de variáveis orgânicas (como aumento de frequência cardíaca e pressão arterial, aumento da ventilação, aumento da sudorese palmar e demais ativações simpáticas ou parassimpáticas, as quais não são “autônomas” nem passivas, Rasia-Filho, 2006) podem estar associadas à sensação percebida como amor (vide Nummenmaa et al. 2018). Notavelmente, a expressão do que sentimos pessoalmente é a “ponta do iceberg” consciente, como uma grande elaboração sináptica sensitivo/mnemônica/neuroendócrina/motora/emocional/abstrativa (muito provavelmente como propriedade emergente do conjunto de elementos envolvidos), embora amor seja, via de regra, involuntário e difícil de controlar (Fisher et al., 2005).

Amor bem pode gerar expressão facial na própria pessoa, envolver o reconhecimento da face (e o grau subjetivo de beleza) e a percepção da expressão facial de outra pessoa, entendida como alegria e satisfação pela presença e companhia. Ocorre que homens e mulheres adultos jovens podem perceber e responder a expressões faciais com conteúdo emocional de forma diferente, não consciente ou consciente, relacionada com o tempo de exposição ao estímulo visual e às áreas corticais envolvidas (Fogazzi et al., 2020). Por exemplo, no córtex pré-frontal de mulheres há maior atividade que o em homens quando da percepção consciente de uma expressão facial de alegria (Fogazzi et al., 2020), mesmo que, após estimulação auditiva e visual, homens respondam mais intensamente a estímulos tranquilos e pacíficos que mulheres (Yang and Li, 2017). Há múltiplos processamentos neurais que podem estar indissociáveis no que é entendido por amor, embora sua percepção seja algo único (Bartels e Zeki, 2000). Por outro lado, a região de processamento multimodal orbitofrontal cortical pode participar da identificação de um rosto considerado belo, o que pode também gerar atração sexual (Zeki, 2007). Essa região se conecta funcionalmente com o complexo amigdalóide (ou amígdala). Assim, é igualmente muito interessante considerar como os circuitos neurais originalmente tidos como subcorticais evoluíram em paralelo com o córtex cerebral, em suas porções mais antigas – alocórtex – e mais recentes – neocórtex -, para processamento de percepção visual de expressão emocional facial, interpretação complexa de seu significado social e para organização de vários comportamentos (Rasia-Filho et al., 2021). Não é à toa que núcleos do complexo amigdalóide formam circuitos subcorticais-alocorticais-neocorticais para elaboração dinâmica de diversas emoções, incluindo felicidade (Diano et al., 2017), em situação fisiológica ou em distúrbios neurológicos e psiquiátricos (Zeki, 2007; Heimer et al., 2008), algo que aumenta muito em complexidade sináptica e no processamento neural na nossa espécie (Dall’Oglio et al., 2015; Rasia-Filho et al., 2021; Vásquez et al., 2024; Renner e Rasia-Filho, 2023).

Nesse contexto, Feldman (2017) propôs a existência de uma organização neural relevante para a formação de vínculos em humanos (“global human attachment system”) que seria constituído por três circuitos com sobreposições parciais de seus componentes: (1) circuito para “recompensa e motivação” relacionado com os núcleos da base (núcleos caudado, putâmen e *accumbens*), complexo amigdalóide, área tegmental ventral do mesencéfalo, córtex orbitofrontal, córtex pré-frontal ventromedial e giro do cíngulo anterior; (2) circuito ativado quando se observa as ações e emoções de outras pessoas (“embodied simulation”) e também para empatia,

composto pelo lobo da ínsula, giro do cíngulo anterior, giro frontal inferior, área/lóbulo parietal inferior e área motora suplementar; e (3) circuito para a capacidade de entender os estados mentais e intenções que se relacionam com os comportamentos tanto da própria pessoa como de outras (ou “teoria da mente”) e que conectam a região do sulco temporal superior, giro do cíngulo posterior, área de confluência parietotemporal, pólo temporal e córtex pré-frontal medial.

Em 2024, Bortolini et al. classificaram os achados obtidos de pessoas com vínculos muito próximos (entre pais e filhos, par romântico e entre amigos) em circuitos envolvendo as seguintes áreas: (1) para “recompensa social”, onde estavam partes dos núcleos da base (estriado e pálido ventral), tálamo, córtex pré-frontal ventromedial, área pré-óptica medial no hipotálamo anterior e região septo-hipotalâmica; (2) para cognição social, com componentes da amígdala expandida, giro do cíngulo posterior e pré-cúneo, córtex insular anterior, lóbulo parietal inferior e giro frontal inferior; e (3) para detecção, avaliação e resposta a estímulos internos e externos (“salience” ou “relevância”), conectando o complexo amigdalóide, giro do cíngulo anterior e lobo insular.

Conjugando esses dois trabalhos anteriores, Rinne et al. (2024) denominaram: (1) “áreas encefálicas para recompensa” as que se associam com recompensa, motivação e relevância e (2) “áreas encefálicas para cognição social” relacionadas com as ações e emoções de outras pessoas, empatia e “teoria da mente”. Com base nisso, foram registradas imagens por ressonância magnética funcional de 55 voluntários (29 mulheres e 26 homens sadios, média etária de 40 anos, com um filho e que se declaravam em relacionamento amoroso, em média, de aproximadamente 12 anos). Foi investigada a maior ou menor atividade neural encefálica quando os participantes sentiam amor para 6 tipos diferentes de estímulos. Para tanto, narrativas de cada situação eram escutadas e, logo a seguir, pedia-se que cada pessoa imaginasse os seus sentimentos. As narrativas eram de histórias de casais em amor romântico, amor pelos seus próprios filhos, por desconhecidos (como uma variedade de amor interpessoal, incluindo os com cunho religioso referido como “próximo”, o que incluía benevolência e gratidão), por animais de estimação (amor entre espécies) e pela natureza (ou seja, não humano e não social). Ativações encefálicas foram mais difusas ouvindo as narrativas que durante o momento de imaginação do sentimento de amor. Mais desativações encefálicas foram identificadas durante a imaginação do que ouvindo as histórias de amor, notavelmente no córtex parietal e temporal e nas áreas corticais mediais. Não obstante, todos os “tipos de amor” ativaram extensas áreas no lobo temporal e no córtex pré-frontal, guardadas algumas diferenças de lateralidade hemisférica. Detalhadamente, todos os “tipos de amor” envolveram e modificaram a atividade do córtex pré-frontal medial e giro frontal superior, córtex orbitofrontal, giro do cíngulo anterior e posterior (a parte anterior fica desativada quando da imaginação de amor comparado ao ouvir a narrativa de amor), giro temporal medial, sulco temporal posterosuperior/confluência parietotemporal, lóbulo parietal inferior, pré-cúneo, córtex insular, hipocampo, complexo amigdalóide, estriado, tálamo, cerebelo, mesencéfalo, ponte e bulbo (Rinne et al., 2024).

Mais especificamente, durante a imaginação de cada “tipo de amor” e quando comparado com a estimulação controle neutra, amor romântico ativou partes do lobo frontal medial, giro do cíngulo posterior, pré-cúneo, cerebelo e mesencéfalo. Amor parental ativou as mesmas áreas mas, adicionalmente, o estriado e o tálamo, algo não encontrado nas demais condições. Amor por amigos envolveu o córtex frontal medial superior e orbitofrontal, pré-cúneo e giro do cíngulo

posterior. Amor às demais pessoas gerou menor ativação que as relações mais próximas. Ainda assim, houve mais atividade em partes do córtex frontal medial superior e giro orbitofrontal. Amor por animais de estimação causou menos ativações que amor por humanos, mas se associou com ativações em pequenas partes do córtex frontal medial, incluindo o giro superior e orbitofrontal e giro do cíngulo anterior. Nos participantes que tinham animais de estimação, comparado com os que não, ocorreu mais atividade na região do pré-cúneo/ giro do cíngulo posterior, sulco temporal posterosuperior, lóbulo parietal inferior e lobo temporal ventral, incluindo parte dos giros fusiforme e parahipocampal e o hipocampo). Para amor à natureza, algumas áreas diferem daquelas do amor interpessoal, mas envolvem os giros fusiforme e parahipocampal, lóbulo parietal superior, pré-cúneo e cúneo, giro do cíngulo, hipocampo e cerebelo. Ainda relevante, amor romântico e parental ativaram mais áreas mediais (pré-cúneo/ giro do cíngulo posterior e córtex pré-frontal medial) que amor por outras pessoas, animais de estimação ou natureza; amor por humanos ativou mais áreas mediais e região parietotemporal que amor por animais de estimação ou pela natureza. Desativações em áreas encefálicas ocorriam concomitantemente (Figura 1; e, para mais detalhes relevantes, veja-se Rinne et al., 2024).

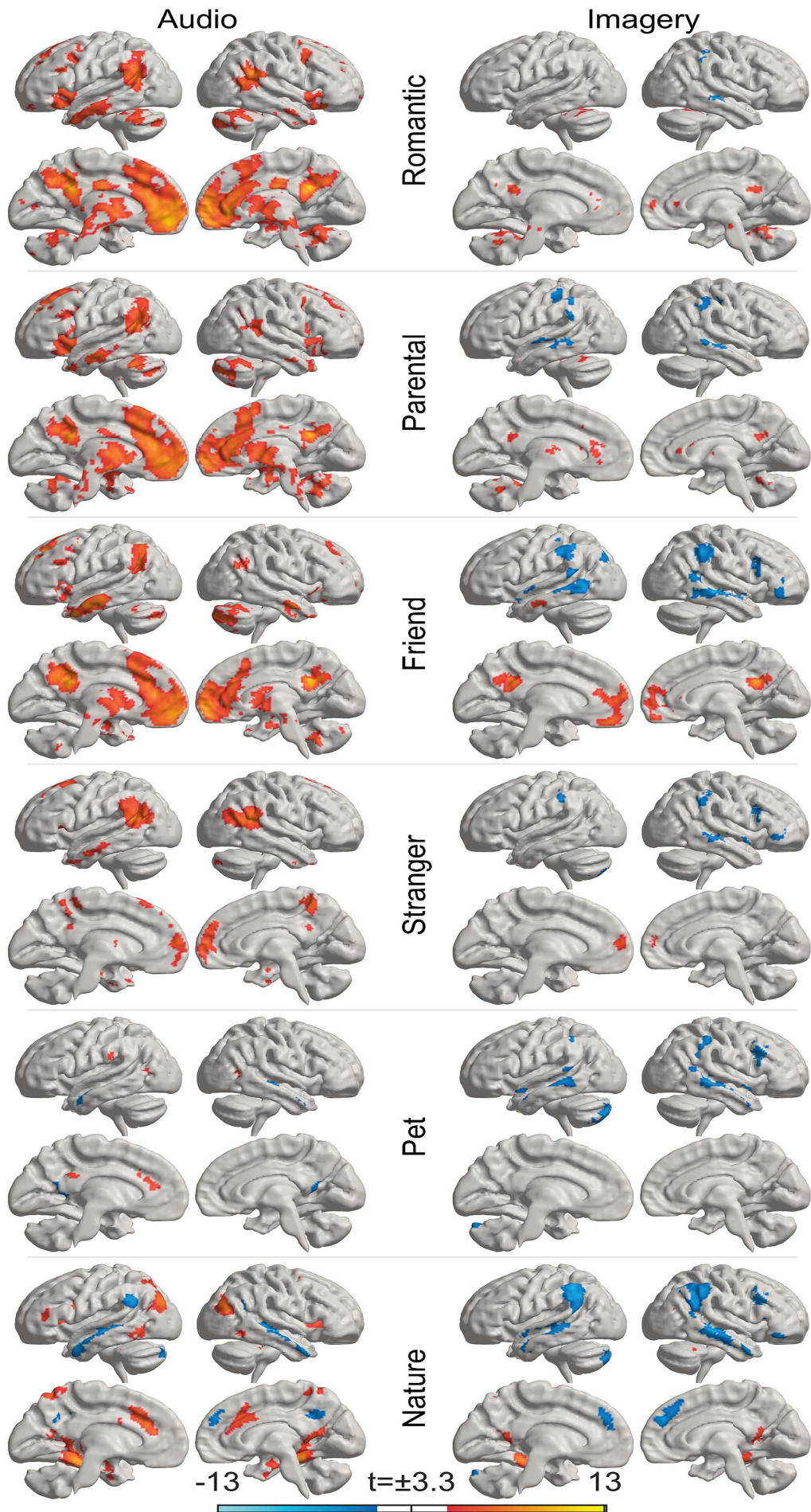


Figura 1. Imagens de ressonância magnética funcional mostrando áreas encefálicas humanas ativadas ou desativadas enquanto voluntários escutam histórias de amor (esquerda, “Audio”) e imaginando o sentimento de amor (direita, “Imagery”) de tipo romântico (“Romantic”), a filho/a (“Parental”), a amigo/a (“Friend”), a outras pessoas (“Stranger”), por animais de estimação (“Pet”) e pela natureza (“Nature”), quando comparados com história narrada com conteúdo neutro como controle. Cores “quentes” indicam áreas ativadas mais intensamente e cores “frias” indicam as que foram mais ativadas na história controle ou desativadas quando do teste para o sentimento de amor (legenda na parte inferior da figura). Reproduzido de Rinne et al. (2024; <https://doi.org/10.1093/cercor/bhae331>) sob licença Creative Commons CC BY (“Figure 5”, sem modificações da imagem publicada originalmente, artigo também citado nas referências).

Anteriormente, de Boer et al. (2012) haviam escrito sobre “amor ser mais do que somente um beijo” e apresentavam uma perspectiva “neurobiológica” sobre amor e afeto, para o que Marazziti et al. (2021) postularam possibilidades adicionais. Amor pode ser o resultado de diferentes fases, cada uma relacionada com um “substrato” neural conservado evolutivamente e integrado para sua elaboração. Ou seja, em uma primeira fase (nomeada de amor “romântico” pelos autores) envolveria a ativação de áreas que também regulariam medo e ansiedade enquanto uma segunda fase envolveria vínculo, com efeitos benéficos na saúde mental e física geral (Marazziti et al., 2021).

Em outro estudo, empregou-se ressonância magnética funcional para estudar amor romântico (considerado como no seu período mais inicial e intenso) e, mais especificamente, os mecanismos neurais para a escolha de um companheiro/a, algo que Darwin já havia descrito para seleção sexual (Fisher et al., 2005). Amor romântico é capaz de alterar comportamentos para que se possa estar mais próximo, dar e ter mais atenção da pessoa amada, mostrando maior simpatia além de menor julgamento crítico sobre quem se ama (Fisher et al., 2005; Zeki, 2007). As hipóteses de estudo aqui foram: (1) que amor romântico envolve circuitos relacionados com recompensa e motivação (e dopamina como neurotransmissor relacionado a isso) e (2) que amor romântico envolve circuitos direcionados a um comportamento (“goal-directed behavior”) com várias emoções associadas (mais do que ser uma única emoção somente). Os voluntários participantes (10 mulheres e 7 homens, média etária de 20 anos e que se declaravam estar “apaixonados” ao longo de 1-17 meses de relacionamento, média de 7 meses). Cada participante via a fotografia da pessoa amada e os resultados eram comparados com uma imagem “neutra”. Dentre outras regiões, a ativação subcortical pelo estímulo de evocação amorosa ocorreu na área tegmental ventral mesencefálica do hemisfério direito, onde se localizam os neurônios dopaminérgicos do grupamento A10, e no núcleo caudado, parte anteromedial, também no lado direito. Ambos estão relacionados com a possibilidade de contribuir para o estado de excitação/alerta/atenção (“general arousal”) e também com a motivação do amor romântico. É interessante que a excitação sexual, embora com algumas áreas em comum, pode gerar ativações em algumas áreas encefálicas diferentes do que o relatado nos estudos acima, incluindo cláustro e hipotálamo (pelo menos em homens heterossexuais, baseado em Redoute et al., 2000 e Arnow et al., 2002, tomando-se ainda a sugestão de separar “excitação sexual” de “motivação sexual” masculina, Bogacki-Rychlik et al.,

2024). Há menos dados, embora muitíssimo importantes, para o processamento sensorial em mulheres e que são relevantes para o comportamento sexual feminino (Knop et al. 2022).

Outro estudo (Bartels e Zeki, 2000) envolveu 11 mulheres e 6 homens, entre 21 e 37 anos de idade, que se reconheciam “verdadeiramente, profundamente e intensamente apaixonados” (“truly, deeply, and madly in love”) e com uma média de 28 meses de relacionamento. Tais participantes colocaram pontuação maior em escala para a sensação de amor do que o valor correspondente à excitação sexual quando viam fotos da pessoa amada (em comparação com a de amigos próximos) mesmo ocorrendo ativação simpática concomitante (avaliado pela sudorese palmar). Neles houve maior atividade no giro do cíngulo anterior e na parte posterior do hipocampo bilateralmente, córtex insular médio e parte anterior dos núcleos caudado e putâmen principalmente no hemisfério esquerdo e em partes do cerebelo. Fisher et al. (2005), em relacionamentos interpessoais com mais meses de duração, identificaram também ativação no pálido ventral e, no hemisfério direito, no giro do cíngulo posterior e retrosplenial. Isso sugere que o vínculo amoroso ao longo do tempo segue envolvendo várias regiões encefálicas em paralelo e é algo dinâmico, podendo mudar enquanto se mantém a relação e o alto sentimento de amor envolvido. Mas, embora as regiões encefálicas ativas possam também participar da elaboração de outros estados emocionais, o que é evocado no amor parece integrar as estruturas neurais que estão ativadas (e provavelmente subnúcleos em algumas áreas) numa combinação funcional com um padrão único (Bartels e Zeki, 2000).

Neste mesmo sentido, participantes (10 mulheres e 7 homens) que relataram sentir intenso amor pela mesma pessoa por muito mais tempo (casados em média há 21 anos), quando viam imagens do rosto da pessoa amada, apresentavam aumento de atividade na área tegmental ventral e no estriado dorsal, consistente com os resultados de início de relacionamento, além do córtex insular, giro do cíngulo anterior e posterior, globo pálido, tálamo, substância nigra e núcleos da rafe (Acevedo et al., 2012). A ativação do hipotálamo e da parte posterior do hipocampo se relacionava com o relato de maior frequência de relações sexuais do casal (Acevedo et al., 2012).

Por outro lado, a separação, rejeição ou perda de uma relação amorosa também gera modificações nos circuitos neurais. Há diferenças entre pessoas felizes e amando daquelas recentemente rejeitadas por pares. Essas apresentam maior ativação na parte ventral da região do putâmen direito e no centro do núcleo *accumbens*, o qual também está envolvido com a modulação de recompensa e reforço de emoções (Fisher et al., 2006), neste caso como uma sensação descrita como ruim. Estudo adicional (van der Watt et al., 2021) demonstrou uma mudança significativa na atividade de áreas corticais (giro do cíngulo, córtex insular, córtex orbitofrontal e pré-frontal, giro angular, pólo temporal e hipocampo) e subcorticais (estriado, área tegmental mesencefálica) que poderia também se relacionar com a sensação de dor (por perda social), sofrimento, memória, emoção e readaptação comportamental.

Por fim, Bartels e Zeki (2004) e Zeki (2007) demonstraram como áreas encefálicas se relacionam com amor romântico em homens e mulheres e como isso se modifica quando da maternidade e da expressão do “amor maternal”. No primeiro caso, adiciona-se o comentário que o complexo amigdalóide (neste momento ainda considerado como uma “unidade”, o que, em verdade, não o é dadas suas subdivisões anatômicas e funcionais; Rasia-Filho et al., 2000) pode ser desativado quando é vista a imagem da pessoa amada, o que também poderia significar menor

medo e mais confiança à situação social (Zeki, 2007). Da mesma forma, a redução de atividade em algumas partes do córtex frontal poderia reduzir julgamentos críticos e de avaliação de risco, modificando a execução de comportamentos específicos por parte das pessoas que se amam (Zeki, 2007). Somente nas mulheres testadas (não nos homens, embora o tamanho amostral seja pequeno para conclusões definitivas) houve ativação da parte ventral no giro do cíngulo anterior quando estimulada resposta relacionada com amor romântico (Bartels e Zeki, 2004).

Amor romântico e amor maternal geram vínculo, ativam áreas específicas para cada um deles, mas também apresentam sobreposições de áreas funcionando em comum, principalmente as relacionadas com recompensa (como é o estriado). Isso pode gerar motivação e repetição de ações, além de ativar áreas relacionadas com formação de vínculo, o que será necessário ocorrer ao longo do tempo para, por exemplo, cuidado do filho/a recém-nascido e mais adiante (Zeki, 2007).

Amor maternal (estudado em 20 mães que viam fotos do próprio filho/a, idades variando entre 9 meses a 6 anos) promoveu ativação bilateral do giro do cíngulo anterior, partes dorsal e ventral, parte medial insular, córtex orbitofrontal lateral e pré-frontal lateral, áreas no córtex occipital (próximo da área V3), córtex fusiforme lateral, nos núcleos da base (cabeça do núcleo caudado, putâmen e globo pálido), parte posteroventral do tálamo, região subtalâmica, substância nigra e na substância cinzenta periaquedutal, núcleo cerúleo e núcleos da rafe no mesencéfalo. Muitas dessas áreas não foram ativadas por amor romântico, indicando um processamento específico relacionado com o amor parental (Bartels e Zeki, 2004).

Ambos, amor romântico e maternal, desativaram concomitantemente áreas encefálicas relacionadas com emoções “negativas”, julgamento social (podendo fazer com que se seja mais indulgente com quem se ama ou a um/a filho/a) e “teoria da mente”, embora, nas mães, estejam ativadas áreas relacionadas com o reconhecimento facial que devem servir para entender o que procura expressar o filho/a e estar constantemente atenta a seu bem-estar (Zeki, 2007). Desativações durante a elaboração de amor maternal envolvem ambos hemisférios (e o direito ainda mais) no córtex pré-frontal medial, confluência parieto-occipital/sulco temporal superior, córtex pré-frontal mesial/paracíngulo, pólos temporais, giro do cíngulo posterior, cúneo medial e complexo amigdalóide (Bartels e Zeki, 2004; Figura 2).

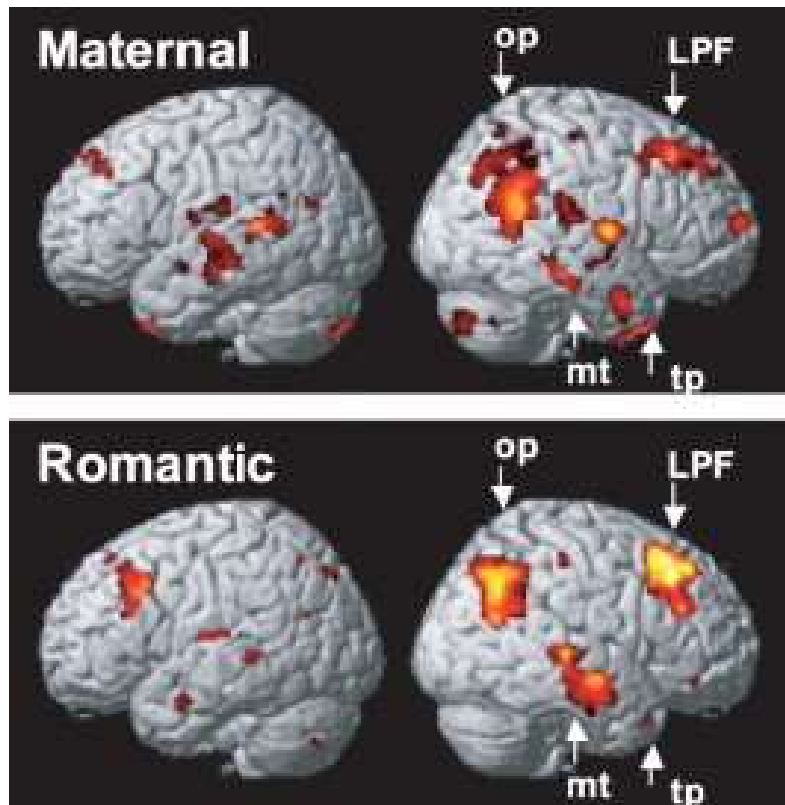


Figura 2. Imagens de ressonância magnética funcional demonstrando áreas encefálicas humanas desativas quando testadas para amor maternal e romântico, mostradas em vermelho e amarelo, respectivamente. mt, córtex temporal medial; op, confluência occipitoparietal; tp, polo temporal; LPF, córtex pré-frontal lateroventral. Reproduzido de Zeki (2007; <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.03.094>) sob licença CCC John Wiley and Sons/FEBS PRESS #6007370832093 (“Figure 5”, sem modificações da imagem publicada originalmente, artigo também citado nas referências).

A conclusão dessa segunda parte é que há várias áreas e circuitos, alguns mais específicos aos tipos de amor percebidos, com maior e menor atividade para que esses sejam elaborados, reconhecidos e manifestados. Há áreas em comum funcionando para amor romântico e amor parental, mas algumas são específicas de amor materno, por exemplo. Variações hemisféricas corticais também existem. Tal processamento neural envolve múltiplas funções que podem se modificar com o tempo e com as experiências pessoais.

Não é de surpreender que haja esse tipo de organização neural extensa na nossa espécie e que precisa ser ainda muito mais estudada e entendida dada a multiplicidade de “tipos” de amor e a subjetividade de sua definição e expressão. É muito estimulante e mesmo necessário, portanto, que a neurofisiologia do amor esteja integrada e seja assim recebida nas humanidades, na arte em geral e associada com um *continuum* de dados clínicos para que novas perspectivas se abram para seu estudo (Zeki, 2007; Feldman, 2017). Todas essas manifestações culturais, sociais e pessoais são, de fato, um produto da percepção, da elaboração e da expressão da própria neurofisiologia

do amor, de circuitos neurais corticais e subcorticais, de mudanças em variáveis orgânicas sistêmicas e de secreções neuroendócrinas, de tal forma que são orquestradas simultaneamente fazendo um reconhecimento consciente (e também com atividades não-conscientes) do que se sente como amor e de amar com suas consequências comportamentais. Juntar essa base científica com a beleza da expressão da arte do amor é algo imensamente bem-vindo e prazeroso; verdadeiramente, são dois lados da mesma moeda. Expandir os conhecimentos abarcando mais pessoas e culturas gerarão, esperançosamente, mais respeito à diversidade humana.

Referências

Acevedo BP et al. (2012) Neural correlates of long-term intense romantic love. *Soc Cogn Affect Neurosci* 7(2):145-159. doi:10.1093/scan/nsq092

Arnow BA et al. (2002) Brain activation and sexual arousal in healthy, heterosexual males. *Brain* 125(Pt 5):1014-1023. doi: 10.1093/brain/awf108.

Bartels A, Zeki S. (2000) The neural basis of romantic love. *NeuroReport* 11(17):3829-3834. doi: 10.1097/00001756-200011270-00046.

Bartels A, Zeki S. (2004) The neural correlates of maternal and romantic love. *NeuroImage* 21(3):1155-1166. doi: 10.1016/j.neuroimage.2003.11.003.

Bogacki-Rychlik W et al. (2024) Neurophysiology of male sexual arousal-Behavioral perspective. *Front Behav Neurosci* 17:1330460. doi: 10.3389/fnbeh.2023.1330460.

Bortolini T et al. (2024) The extended neural architecture of human attachment: an fMRI coordinate-based meta-analysis of affiliative studies. *Neurosci Biobehav Rev* 159:105584. doi:10.1016/j.neubiorev.2024.105584.

Dall'Oglio A et al. (2015) The human medial amygdala: structure, diversity, and complexity of dendritic spines. *J Anat* 227:440-459. doi: 10.1111/joa.12358.

de Almeida RM et al. (2006) The effect of 5-HT(2a/2c) receptor agonist microinjected into central amygdaloid nucleus and median preoptic area on maternal aggressive behavior in rats. *Braz J Psychiatry* 28(2):130-134. doi: 10.1590/s1516-44462006000200011.

de Boer A. et al. (2012) Love is more than just a kiss: a neurobiological perspective on love and affection. *Neuroscience* 201:114-124. doi: 10.1016/j.neuroscience.2011.11.017.

Diano M et al. (2017) Dynamic changes in amygdala psychophysiological connectivity reveal distinct neural networks for facial expressions of basic emotions. *Sci Rep* 7:45260. doi: 10.1038/srep45260.

Feldman R. (2017) The neurobiology of human attachments. *Trends Cogn Sci* 21(2):80-99. doi: 10.1016/j.tics.2016.11.007.

Fisher H et al. (2005) Romantic love: an fMRI study of a neural mechanism for mate choice. *J Comp Neurol* 493: 58-62. doi: 10.1002/cne.20772.

- Fisher H et al. (2006) Romantic love: a mammalian brain system for mate choice. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 361(1476):2173-2186. doi:10.1098/rstb.2006.1938.
- Fogazzi D et al. (2020) The prefrontal cortex conscious and unconscious response to social/emotional facial expressions involve sex, hemispheric laterality, and selective activation of the central cardiac modulation. *Behav Brain Res* 393:112773. doi: 10.1016/j.bbr.2020.112773.
- Gogolla N. (2017) The insular cortex. *Curr Biol* 27(12):R580-R586. doi: 10.1016/j.cub.2017.05.010.
- Heimer L et al (2008) *Anatomy of Neuropsychiatry – The New Anatomy of the Basal Forebrain and Its Implications for Neuropsychiatric Illness*. Academic Press, San Diego.
- Knop AJJ et al (2022) Sensory-tactile functional mapping and use-associated structural variation of the human female genital representation field. *J Neurosci* 42:1131-1140. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1081-21.2021.
- LeDoux JE, Brown R (2017) Emotions as higher-order states of consciousness. *Proc Natl Acad Sci USA* 114:E2016–E2025. doi: 10.1073/pnas.161931611.
- Marazziti D et al. (2021) The science of love: State of the art. *Adv Exp Med Biol* 1331:249-254. doi: 10.1007/978-3-030-74046-7_16.
- Nummenmaa L et al. (2014) Bodily maps of emotions. *Proc Natl Acad Sci* 111(2):646–651. doi:10.1073/pnas.1321664111.
- Panksepp J (2016) The cross-mammalian neurophenomenology of primal emotional affects: From animal feelings to human therapeutics. *J Comp Neurol* 524:1624-1635. doi: 10.1002/cne.23969.
- Rasia-Filho AA (2006) Is there anything "autonomous" in the nervous system? *Adv Physiol Educ* 30(1):9-12. doi: 10.1152/advan.00022.2005.
- Rasia-Filho AA et al. (2000) Functional activities of the amygdala: an overview. *J Psychiatry Neurosci* 25:14-23. PMC1407702.
- Rasia-Filho AA et al. (2004) Influence of sex, estrous cycle and motherhood on dendritic spine density in the rat medial amygdala revealed by the Golgi method. *Neuroscience* 126:839-847. doi: 10.1016/j.neuroscience.2004.04.009.
- Rasia-Filho AA et al. (2021) The subcortical-allocortical-neocortical *continuum* for the emergence and morphological heterogeneity of pyramidal neurons in the human brain. *Front Synaptic Neurosci* 13:616607. doi: 10.3389/fnsyn.2021.616607.
- Redouté J et al. (2000) Brain processing of visual sexual stimuli in human males. *Hum Brain Mapp* 11(3):162-177. doi: 10.1002/1097-0193(200011)11:3<162::aid-hbm30>3.0.co;2-a.
- Renner J, Rasia-Filho AA (2023) Morphological features of human dendritic spines. In: Rasia-Filho AA, Calcagnotto ME, von Bohlen und Halbach O (eds) *Dendritic Spines: Structure, Function, and Plasticity/Advances in Neurobiology* 34. Springer Nature, Cham, p. 367-496. doi: 10.1007/978-3-031-36159-3_9.

Rinne P et al. (2024) Six types of loves differentially recruit reward and social cognition brain areas. *Cerebral Cortex* 34(8):bhae331. doi: 10.1093/cercor/bhae331.

Schore AN (2021) The interpersonal neurobiology of intersubjectivity. *Front Psychol* 12:648616. doi: 10.3389/fpsyg.2021.648616.

Šimić G et al. (2021) Understanding emotions: Origins and roles of the amygdala. *Biomolecules* 11:823. doi: 10.3390/biom11060823.

van der Watt ASJ et al. (2021) Functional neuroimaging of adult-to-adult romantic attachment separation, rejection, and loss: A systematic review. *J Clin Psychol Med Settings* 28(3):637-648. doi: 10.1007/s10880-020-09757-x.

Vásquez CE et al. (2024) Morphological heterogeneity of neurons in the human central amygdaloid nucleus. *J Neurosci Res* 102(4):e25319. doi: 10.1002/jnr.25319.

Yang C.-Y, Lin C-P. 2017. Magnetoencephalography study of different relationships among low- and high-frequency-band neural activities during the induction of peaceful and fearful audiovisual modalities among males and females: Gender differences in cross-frequency coupling. *J Neurosci Res* 95(1–2): 176–188. doi: 10.1002/jnr.23885.

Zeki S. (2007) The neurobiology of love. *FEBS Lett* 581(14):2575-2579. doi: 10.1016/j.febslet.2007.03.094.

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.