

neurociência

Fla-Flu no cérebro

Uma forma interessante de pensar sobre o funcionamento cerebral – e as pesquisas nessa área – é comparar os neurônios a torcedores de uma partida de futebol. Cientistas seriam observadores fora do “estádio”, tentando entender o que se passa em “campo”

por Antonio Galves

O AUTOR

ANTONIO GALVES é coordenador do Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão em Neuromatemática (Cepid NeuroMat), da Fapesp, e professor titular no Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo (IME/USP). É membro da Academia Brasileira de Ciências.





I magine o Maracanã lotado num dia de jogo entre Flamengo e Fluminense – o clássico Fla-Flu. Uma multidão de 70 mil torcedores enche o estádio. Considere agora que um observador tenha acesso às imagens sonoras da torcida, mas sem ter nenhuma visão do que acontece dentro do campo. Ele tenta interpretar o que ocorre no jogo – gols, bolas que passam raspando na trave, faltas, penalidades máximas, expulsões – somente com base nas reações da torcida.

Na verdade, a situação desse observador é mais complicada ainda, com dois tipos de restrições a suas possibilidades. Primeiro: ele não vê nem ouve as reações de toda a torcida. Ele só vê e ouve as reações de algumas dezenas – ou no máximo centenas – de torcedores. Segundo tipo: o observador está fora do estádio e só ouve de longe as reações dos torcedores.

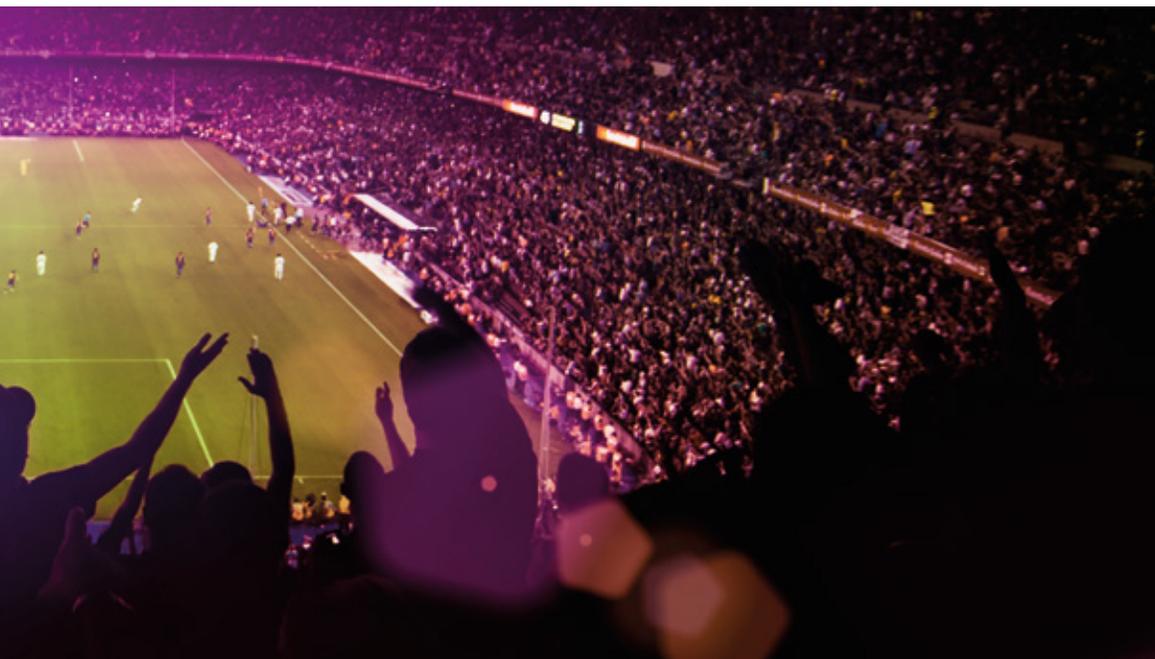
Essa é de certo modo a situação de um neurocientista. Na imagem do estádio, os torcedores são os neurônios, com a diferença de que, no lugar de 70 mil unidades, temos algo da ordem de 100 bilhões. O jogo de futebol acontecendo dentro do campo pode ser interpretado como toda a experiência ao nosso redor, no mundo. Ou, se formos muito rigorosos, em um laboratório para estudar o funcionamento do cérebro, que na nossa história é representado pela torcida.

O primeiro tipo de restrição às possibilidades de observação é similar àquela de um experimentador que faz registros individuais de um pequeno conjunto de neurônios. O segundo, mais drástico, lembra aquela de um pesquisador que registra eletroencefalogramas, um método para medir as variações da atividade cerebral.

IDENTIFICANDO TORCIDAS

O objetivo do observador é entender como os torcedores traduzem em gestos e sons o que acontece dentro do campo. Isso o leva a tentar identificar pequenos grupos de torcedores, em função, por exemplo, de suas afinidades. A necessidade dessa classificação é clara. Por exemplo, vemos que um gol do Flamengo será comemorado pela torcida rubro-negra e lamentado pela tricolor. Obviamente, o evento “gol do Flamengo” produz reações diferenciadas em grupos distintos de torcedores.

Na comparação com a neurociência, a situação do observador é mais complicada porque, contrariamente às torcidas, neurônios não vestem camisas de clubes. Temos de identificar os diversos grupos de neurônios por seu comportamento diante das situações vividas durante o jogo. Se dois torcedores gritam gol simultaneamente de forma alegre,



NA ANALOGIA COM O CAMPO DE FUTEBOL, zonas do estádio correspondem a áreas específicas do cérebro, e suas manifestações são registradas através de eletroencefalogramas que medem a atividade elétrica global de cada região

podemos pensar com grande possibilidade de certeza que eles torcem pelo mesmo time. Mas o que fazer num jogo que termine sem gol? Aí a matemática pode dar uma ajuda ao observador. Ele pode tentar identificar torcedores que torcem pelo mesmo time, ou para times diferentes, calculando a porcentagem de suas reações concordantes ou divergentes. Se o percentual de concordantes for alto, muito provavelmente eles são torcedores do mesmo time. Se houver muitas reações discordantes, muito provavelmente eles vibram por times diferentes.

Se por um momento o observador pudesse olhar simultaneamente para o público e para o que acontece dentro do campo, provavelmente veria outro tipo de espectadores do jogo. Trata-se de um pequeno grupo que festeja todos os gols, seja de que time for, e aprecia belas jogadas independentemente do time que as faz. Esses são possivelmente turistas de outros países, apreciadores de futebol que, de passagem pelo Rio, não quiseram perder a ocasião de ver um jogo no lendário Maracanã.

Os torcedores também podem ser identificados mesmo sem olhar para o que acontece dentro do gramado. Basta de novo calcularmos a porcentagem de vezes com a qual cada um deles tem uma reação concordante ou divergente em relação a um torcedor qual-

quer. Se o jogo for equilibrado, com os dois times jogando bem, no final a porcentagem de concordâncias entre o turista apreciador de futebol e o torcedor escolhido é de 50%. Se a partida for desequilibrada, com um dos times jogando melhor do que o outro, essa porcentagem será diferente em função da proporção relativa de boas jogadas de um time e do outro.

A LEI DOS GRANDES NÚMEROS

Um famoso teorema matemático assegura que as frequências relativas de concordâncias e discordâncias entre dois torcedores convergem ao final do jogo para um número entre 0 e 1 bem definido, apesar de todas as variabilidades de situações de jogo, de estados de espírito dos diversos torcedores individuais, do fato de chover ou fazer sol durante o jogo, independentemente de a arbitragem ser boa ou ruim, e de todos os diversos acasos que tornam um Fla-Flu um espetáculo quase sempre inesquecível. O teorema matemático que garante a convergência das frequências relativas é a lei dos grandes números.

Para apresentá-la, consideremos uma experiência que tenha dois resultados possíveis: sucesso ou fracasso. Vamos supor que essa experiência seja repetida muitas vezes, independentemente umas das outras. A lei

dos grandes números diz que a porcentagem de sucessos numa longa sequência de experimentos converge para um número entre 0 e 1 bem definido. Isso acontece sempre, sejam quais forem os detalhes dos resultados parciais obtidos. No final da sequência de experiências, a frequência relativa de sucessos será sempre a mesma. Frequência relativa é uma expressão utilizada por estatísticos para falar de porcentagens e, nesse caso, se refere ao número de boas jogadas (os “sucessos”) ao longo das repetições, dividido pelo número total de tentativas.

Mas voltemos à lei dos grandes números. Um exemplo ajuda a entender seu significado. Imaginemos uma experiência concreta: sortear ao acaso uma bola de uma urna que tenha bolas brancas e pretas com certa proporção. Esse sorteio é feito de olhos fechados, sem ver a cor da bola que estamos sorteando. Feito o sorteio, anotamos a cor da bola sorteada, a recolocamos na urna e recomeçamos. Fazemos novo sorteio de olhos fechados, e assim por diante. Se repetirmos essa experiência diversas vezes, sempre respondendo a bola sorteada na urna e escolhendo às cegas uma nova bola, a frequência relativa de bolas pretas sorteadas convergirá sempre para um número bem definido. Que número é esse? Esse número é a proporção de bolas pretas contidas na urna. Por exemplo,

se a urna tiver igual número de bolas pretas e brancas, a porcentagem de vezes em que sorteamos uma bola preta convergirá para o número 0,5. Se na urna houvesse sete bolas pretas e três bolas brancas, a porcentagem de vezes em que sorteamos uma bola preta convergirá para 0,7. Na linguagem cotidiana, diríamos que em 70% dos sorteios saiu uma bola preta.

A lei dos grandes números é ao mesmo tempo uma lei da física e um resultado da matemática. Como lei da física, ela pode ser experimentalmente verificada por cada leitor que se disponha a reproduzir a experiência de realizar muitos sorteios sucessivos de uma bola de uma urna, cada sorteio sendo feito às cegas, e a bola sorteada sendo recolocada na urna, após sua cor ser registrada. Pode-se verificar experimentalmente que a porcentagem de vezes em que sorteamos uma bola preta fica cada vez mais próxima de um número fixo entre 0 e 1: esse número é exatamente a proporção de bolas presentes na urna.

Uma pergunta que surge imediatamente: como a distância entre a proporção de sorteios de bola preta se aproxima do número que expressa a proporção de bolas pretas presentes na urna? Esse resultado é representado pelo teorema da teoria das probabilidades. Ele diz que, quando o número de sorteios cresce, a proporção de bolas pretas sorteadas se aproxima cada vez mais do número entre 0 e 1, que por sua vez representa a proporção de bolas pretas na urna. O teorema dá informações também a respeito da velocidade com que a proporção de bolas pretas sorteadas se aproxima da proporção de bolas pretas na urna fixada no início da experiência.

Em sua forma mais simples, esse resultado pode ser apresentado mesmo num curso introdutório de teoria das probabilidades. Mesmo em sua forma mais simples, esse teorema permite responder a perguntas do tipo: qual o número mínimo de sorteios necessários para garantir que, com grande probabilidade, a diferença entre a proporção obtida experimentalmente esteja a uma distância menor do que um valor qualquer fixado, por exemplo, podemos perguntar quantos sorteios são no mínimo necessários para que com probabilidade maior de 0,95 a diferença

RESULTADOS EXPERIMENTAIS em neurobiologia apresentam o mesmo fenômeno que aparece nos sorteios sucessivos de bolas numa urna: há uma variabilidade intrínseca nos resultados e a regularidade só aparece quando olhamos os dados com lentes matemáticas, usando a lei dos grandes números



entre a proporção de sorteios de bolas pretas esteja a uma distância menor do que 0,01 da proporção de bolas pretas na urna.

A lei dos grandes números ilustra perfeitamente de que forma a matemática nos ajuda a encontrar e modelar fenômenos e situações nos quais o “acaso” está intrinsecamente presente. Com efeito, cada vez que sorteamos às cegas e sucessivamente bolas de uma urna, obtemos resultados diferentes. Numa série de sorteios, podemos, por exemplo, obter preto na primeira e na segunda vez, branco na terceira etc. Numa outra série de sorteios, podemos obter branco na primeira vez, preto na segunda, de novo branco na terceira vez etc. À primeira vista, não há nada que se possa dizer sobre essa experiência, cujos resultados são intrinsecamente variáveis. No entanto, a lei dos grandes números nos diz que há uma regularidade oculta atrás dessa experiência. Essa regularidade está escondida atrás da desordem visível dos resultados obtidos em cada sorteio.

A regularidade aparece quando, em vez de olharmos para os resultados individuais dos sorteios sucessivos, nos detemos na proporção de bolas pretas obtidas no total de um grande número de sorteios. Quando o número de sorteios cresce, essa proporção converge para um número bem definido, quaisquer que sejam os detalhes dos resultados dos sorteios sucessivos. Isso acontecerá se a experiência for repetida sempre nas mesmas condições, sem que o resultado de um sorteio modifique a estrutura da experiência. Por isso a necessidade de recolocarmos a bola sorteada de volta na urna. Assim, cada novo sorteio acontece nas mesmas condições experimentais das anteriores. Dessa maneira, podemos encontrar a proporção de bolas pretas na urna sem examinar diretamente o conteúdo da urna. A porcentagem de sorteios nos quais saiu uma bola preta nos permite encontrar a proporção de bolas pretas presentes na urna, e isso com uma precisão cada vez maior, à medida que o número de sorteios aumenta.

Esse é o paradigma básico da pesquisa desenvolvida pelo Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão em Neuromatemática da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), o Cepid NeuroMat,

O Cepid NeuroMat usa um ramo da matemática chamado teoria das probabilidades para construir modelos para o funcionamento do cérebro e, a partir deles, encontrar as regularidades ocultas atrás da aparente variabilidade dos registros neurobiológicos

um centro de pesquisa que busca a regularidade oculta atrás do funcionamento intrinsecamente variável do cérebro. Para isso, o Cepid NeuroMat usa um ramo da matemática chamado teoria das probabilidades para construir modelos para o funcionamento do cérebro e, a partir deles, encontrar as regularidades ocultas atrás da aparente variabilidade dos registros neurobiológicos. O exemplo do observador seguindo o comportamento do público do Maracanã durante o Fla-Flu resume essa abordagem científica.

NO TEMPO CERTO

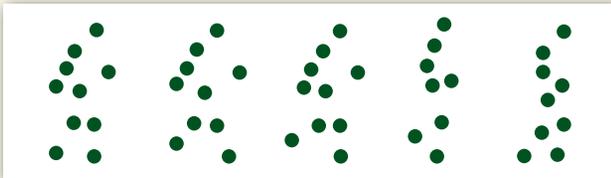
No caso dos neurônios, estamos supondo que haja conjuntos destes que reajam de forma parecida diante dos diversos tipos de estímulos, como acontece com torcedores de um mesmo time diante das diversas peripécias de um jogo de futebol. Para utilizarmos a lei dos grandes números, vamos pensar que cada sorteio corresponde à expressão simultânea de dois neurônios quaisquer fixados em certo intervalo de tempo. O resultado de cada “sorteio” será marcado como “sucesso” se os neurônios se comportarem da mesma maneira e como “fracasso” se a “atitude” for distinta.

O ponto delicado nessa modelagem é saber se as hipóteses da lei dos grandes números estão satisfeitas quando definimos cada “sorteio” como sendo o comportamento de um conjunto de neurônios em determinado intervalo de tempo. A lei dos grandes números exige que a experiência seja repetida sempre da mesma maneira sem que o resultado de um “sorteio” afete o outro. Essa última condição pode não estar satisfeita. E é bem razoável supor que o comportamento dos neurônios em certo intervalo de tempo tenha consequência sobre seu comportamento se-

Zonas associadas

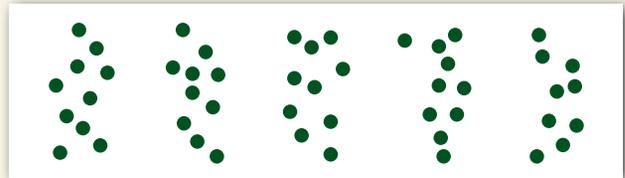


A neurocientista brasileira Cláudia Vargas (ao lado) mostrou a voluntários dois filmes. Um deles mostrava esquematicamente um ser humano se locomovendo; o outro apresentava a mesma imagem, porém totalmente embaralhada, de modo que se perdesse a percepção da forma do caminhante. Enquanto os filmes eram projetados, a atividade cerebral do voluntário era registrada através de eletroencefalogramas.



Movimento biológico

Os círculos formam a silhueta de uma pessoa caminhando. A imagem era imediatamente identificada pelos participantes do estudo. O exame de neuroimagem revela que o observador do movimento biológico tem maior atividade na região cerebral que realiza a integração entre visão e movimentos do corpo



Movimento embaralhado

Os círculos apresentados se mexiam na mesma velocidade que as do filme anterior e ocupavam posições parecidas, mas a figura que formavam não era claramente identificada. Nesse caso, o cérebro recorria a um padrão mais complexo para interpretar as imagens

guinte. Mas na verdade essa independência total não é realmente crucial para que a lei dos grandes números seja válida. Basta que o comportamento dos neurônios em certo intervalo afete pouco o comportamento dos mesmos neurônios alguns passos à frente, e cada vez menos à medida que consideramos intervalos de tempo cada vez mais afastados entre si. Num jogo de futebol, essa independência fraca é algo que todo jornalista esportivo conhece bem. Num jogo, explosões de alegria provocadas por um gol que daria o título de campeão a seu time frequentemente são seguidas quase que imediatamente por um sentimento de desespero diante de um gol do time adversário, empatando o jogo e dando o título de campeão a outro time.

Modelando assim o funcionamento do cérebro, a lei dos grandes números prevê que a porcentagem de concordâncias (“sucessos”) convirja para um número muito próximo de 1, caso os neurônios, de fato, se comportem da mesma maneira, como acontece com dois torcedores do mesmo time. E torcedores de times distintos, no caso um torcedor do Flamengo e outro do Fluminense, comportam-se de maneira oposta ao longo do jogo; o que é motivo de alegria para um é motivo de tristeza para o outro. Se o Flamengo estiver atacando permanentemente e com perigo o

Fluminense, os torcedores do Fla festejarão animadamente e em uníssono, enquanto possivelmente os torcedores do Fluminense ficarão calados e acompanharão o desenrolar do jogo com apreensão.

De maneira análoga, a equipe de neurocientistas liderada por Claudia Vargas, professora da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e pesquisadora do Cepid NeuroMat, identificou regiões associadas do cérebro, examinando conjuntos de eletroencefalogramas registrados simultaneamente em voluntários expostos a dois filmes. Os resultados do estudo foram apresentados num artigo publicado recentemente pelo periódico científico PlosOne.

E SE FOSSE RÚGBI?

Na experiência feita por Vargas e sua equipe, voluntários assistiam a dois filmes. Um deles mostrava esquematicamente um ser humano se locomovendo; o outro apresentava a mesma imagem, porém totalmente embaralhada, de modo que se perdesse a percepção da forma do caminhante. Enquanto os filmes eram projetados, a atividade cerebral do voluntário era registrada através de eletroencefalogramas.

Na analogia com o campo de futebol, zonas do estádio correspondiam a regiões espe-

cíficas do cérebro, e suas manifestações eram registradas através de eletroencefalogramas que mediam a atividade elétrica global de cada área. É como se tivéssemos microfones espalhados pelas arquibancadas do estádio e o observador tentasse entender o que estava acontecendo no jogo e o comportamento correspondente do público, só ouvindo o som, os gritos de alegria, os “huhhhs” e os “ohhhhs” gritados pelos torcedores durante a competição.

Prosseguindo na comparação, os dois estímulos corresponderiam a dois jogos diferentes. Um seria um jogo de futebol. O outro, apesar de ter o mesmo número de jogadores de cada lado, teria regras desconhecidas do público. É como se um torcedor de futebol assistisse pela primeira vez na vida a uma partida de rúgbi. Como saber o que é uma falta ou como entender a marcação de pontos numa partida do rúgbi, quando só conhecemos as regras do futebol?

Foi essa a situação experimental que Claudia Vargas e seus colaboradores propuseram. Para entenderem as relações entre os resultados registrados em pares de zonas distintas do cérebro, eles formularam a hipótese de que zonas associadas teriam comportamentos semelhantes ou opostos ao longo dos “jogos”. E zonas ocupadas por “turistas” teriam comportamentos dissociados das outras áreas, como se esses espectadores estrangeiros não torcessem nem pelo Fla nem pelo Flu.

Vargas descobriu que um setor da torcida se comportava de maneira totalmente distinta, quando assistia à partida de futebol ou quando assistia à partida de rúgbi. No caso do rúgbi, esse setor específico da torcida conversava muito mais com outros grupos de torcedores situados em outras zonas do estádio. Era como se o setor específico identificado por Vargas e colaboradores estabelecesse conversa com os outros setores, como se os estivesse convidando para um esforço coletivo a fim de decifram juntos as regras desconhecidas daquele jogo estranho.

LEMBRANÇAS E APRENDIZADO

A analogia entre as reações simultâneas de duas zonas do cérebro e os resultados de sucessivos sorteios às cegas, com reposição de

uma bola na urna, é justificada pela variabilidade visível entre registros eletrofisiológicos de experiências em neurobiologia. Apesar de a experiência ser repetida exatamente da mesma maneira, com as mesmas condições experimentais, mediante a repetição de estímulos idênticos, os resultados obtidos não são idênticos. Acontece que com os resultados experimentais em neurobiologia ocorre exatamente a mesma coisa que com os sorteios sucessivos de uma bola numa urna. Há uma variabilidade intrínseca nos resultados. A regularidade só aparece quando olhamos os dados com lentes matemáticas, usando a lei dos grandes números.

A idealização da urna com bolas tem de ser completada. Da mesma forma que os torcedores rubro-negros e tricolores guardam lembrança dos Fla-Flus ocorridos no passado e essa lembrança influencia e pode alterar seu comportamento em cada novo jogo, o cérebro também guarda lembranças e, possivelmente, “aprende” com as experiências passadas. Esse “aprendizado” costuma alterar as relações entre zonas do cérebro, ao mesmo tempo que muda a maneira como o conjunto de regiões reage ao que acontece “dentro do campo”.

Para modelar isso, precisaríamos considerar a cada novo jogo uma urna com uma proporção diferente de bolas brancas e pretas. Essa nova composição refletiria os resultados dos jogos anteriores. Quantas partidas anteriores é preciso – e possível – considerar para definir a composição adequada da urna a cada novo jogo?

No caso do futebol, o número de jogos anteriores a considerar depende da própria sucessão de resultados. Assim é que nós todos, torcedores do Brasil, de todas as idades, guardamos na memória uma funesta tarde de 1950. E infelizmente essa tarde de 1950 foi substituída em 2014 por outra ainda mais triste – menos pelos sete gols tomados do que pela constatação de que o futebol alegre, moleque e inspirado que o mundo sempre associou ao Brasil, naquela ocasião foi apresentado não pelos jogadores que vestiam a camisa amarela pentacampeã, mas por outra seleção que usava, com orgulho, uma camisa idêntica à do Flamengo.

PARA SABER MAIS

www.neuromat.numec.prp.usp.br

