

NOVA EDIÇÃO AMPLIADA

MIGUEL NICOLELIS

MUITO ALÉM DO NOSSO EU

A NOVA NEUROCIÊNCIA QUE UNE CÉREBRO E MÁQUINAS
E COMO ELA PODE MUDAR NOSSAS VIDAS

CRÍTICA

TRECHO ANTECIPADO PARA DIVULGAÇÃO. VENDA PROIBIDA.

MIGUEL NICOLELIS

MUITO ALÉM DO NOSSO EU

**A NOVA NEUROCIÊNCIA QUE UNE CÉREBRO E
MÁQUINAS E COMO ELA PODE MUDAR NOSSAS VIDAS**

Tradução do autor

CRÍTICA

TRECHO ANTECIPADO PARA DIVULGAÇÃO. VENDA PROIBIDA.

Copyright © Miguel Nicolelis, 2011, 2017

Copyright © Editora Planeta do Brasil, 2017, 2025

Todos os direitos reservados.

Título original: *Beyond boundaries: the new neuroscience of connecting brains with machines - and how it will change our lives*

Preparação: Carla Fortino

Revisão: Giselda Laporta Nicolelis, Isabel Cury e Maria Aiko Nishijima

Diagramação: 2 estúdio gráfico

Capa: Luciana Facchini

Imagens de miolo: arquivo pessoal do autor

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Nicolelis, Miguel

Muito além do nosso eu : a nova neurociência que une cérebro e máquinas e como ela pode mudar nossas vidas / Miguel Nicolelis. – 2. ed. - São Paulo : Planeta do Brasil, 2025.

496, [16] p.

ISBN 978-85-422-3327-8

1. Neurociência 2. Neurociência cognitiva I. Título

25-0691

CDD 612.82

Índices para catálogo sistemático:

1. Neurociência



Ao escolher este livro, você está apoiando o
manejo responsável das florestas do mundo

2025

Todos os direitos desta edição reservados à
Editora Planeta do Brasil Ltda.

Rua Bela Cintra, 986 – 4º andar

01415-002 – Consolação

São Paulo-SP

www.planetadelivros.com.br

faleconosco@editoraplaneta.com.br

SUMÁRIO

PREFÁCIO DA SEGUNDA EDIÇÃO	11
INTRODUÇÃO – BASTA SEGUIR A MÚSICA.....	15
1. PENSANDO COM POPULAÇÕES	29
2. PERSEGUINDO TEMPESTADES CEREBRAIS	57
3. SIMULANDO O CORPO	81
4. GRAVANDO UMA SINFONIA CEREBRAL	117
5. COMO OS RATOS ESCAPAM DOS GATOS.....	147
6. LIBERTANDO O CÉREBRO DE AURORA	189
7. AUTOCONTROLE	229
8. UMA VIAGEM MENTAL AO REDOR DO MUNDO	259
9. O HOMEM CUJO CORPO ERA UM AVIÃO	283
10. COMPARTILHANDO MENTES	319
11. O MONSTRO QUE VIVE ESCONDIDO NO CÉREBRO.....	355
12. COMPUTANDO COM UM CÉREBRO RELATIVÍSTICO	383

13. DE VOLTA PARA AS ESTRELAS	411
BIBLIOGRAFIA SELECIONADA	445
AGRADECIMENTOS	459
ÍNDICE REMISSIVO	465

CRÍTICA

PENSANDO COM POPULAÇÕES

Quando, no outono austral de 1984, as tradicionais águas de março começaram a cumprir o seu costumeiro ritual, cantado em verso e prosa, de escorrer torrencialmente, tal qual um pranto incontrolável, dos céus tropicais sempre manchados de azul-anil, a grande maioria dos brasileiros tinha chegado ao limite do suportável. Depois de viver por longos vinte anos sob a opressiva sombra de uma ditadura militar que, emblematicamente, tomara o poder nas primeiras horas da data mundialmente conhecida como o dia da mentira, 1º de abril, milhões de habitantes deste radiante país tropical decidiram tomar em suas próprias mãos a tarefa de resgatar o destino de sua querida nação. Por vinte anos, a ditadura dos generais brasileiros havia edificado um legado infame marcado única e exclusivamente pela sua incomparável e megalomaniaca incompetência, sua corrupção voraz e desenfreada e, acima de tudo, pela sua violência abominável e atroz contra seu próprio povo e sangue, particularmente contra aquele que jorrava nas veias dos mais humildes e daqueles que se opuseram frontalmente à ilegalidade de todos os seus atos.

No ano de 1979, graças a uma oposição popular crescente ao regime militar, o último general de quatro estrelas, em pleno gozo

do delito de apropriação indébita do Palácio do Planalto em Brasília, não teve como evitar a concessão da tão almejada anistia política a todos os líderes, intelectuais, cientistas e cidadãos que haviam sido banidos ou se exilado voluntariamente do país, devido à perseguição institucional imposta pela ditadura. Esse mesmo último general-déspota, cercado de seus (muitos) lacaios de plantão, havia também planejado, em algum esconderijo secreto, a sua peculiar estratégia paroquial para um retorno gradual e controlado do poder às mãos da sociedade civil. De acordo com esse plano, o primeiro passo seria dado com eleições para governadores dos estados em novembro de 1982.

Para o total dissabor daquele último general-ditador, em novembro os partidos da oposição venceram as eleições nos principais estados do país, derrotando o único partido político, se é que se pode assim denominar tal aglomerado de parasitas, a apoiar a ditadura dos generais. Apenas um ano após essa vitória retumbante, todavia, a pequena amostra de democracia oferecida pelo regime militar já fora totalmente esquecida. Naquele momento épico de ousadia e catarse nacional, que para todo o sempre ficará registrado na história popular deste país, brasileiros de todas as idades, cores, crenças e times de futebol repentinamente vislumbraram que lhes pertencia não só o direito, mas também os meios, de atropelar os planos para “uma abertura gradual e controlada”, que significava pouco mais do que algumas migalhas de liberdade, e exigir o fim, o término, em suma a completa aniquilação do aparato ditatorial em todas as suas formas, cores e sons.

Definido o objetivo, a estratégia seria bem diferente da escolhida pelos protagonistas da mentirosa quartelada de 1964; em vez de perpetrar-se outro triste e medíocre golpe de Estado latino-americano, o povo brasileiro optou por despejar o último general-trapalhão em sua anônima aposentadoria através de eleições diretas para presidente. E foi assim que, virtualmente quase de lugar nenhum, um movimento nacional por eleições diretas para presidente do Brasil, imortalizado pelo lema “Diretas Já!”, foi lançado. Apropriadamente, para um movimento popular espontâneo, o primeiro comício pelas Diretas Já

ocorreu na pequena, mas certamente arretada, cidade pernambucana de Abreu e Lima em 31 de março de 1983. Em novembro de 1983, uma multidão pouco mais que tímida de 10 mil paulistanos se reuniu, no primeiro comício das Diretas Já realizado na cidade de Adoniran Barbosa e Mário de Andrade, a São Paulo, ou Sampa para os mais íntimos, imortalizada nos versos de Caetano Veloso. A partir daí, sem nenhuma explicação, o país inteiro se incendiou, tomado pela febre de alta intensidade conhecida apenas pelo refrão pronunciado por aqueles contaminados pelo vírus da libertação iminente:

“Diretas Já!” era só o que se ouvia pelas ruas, pelos bares e pelas praças de todo o Brasil.

Dois meses depois, em 25 de janeiro de 1984, no dia em que São Paulo celebrou o seu 430º aniversário de fundação, uma nova manifestação, dessa vez com mais de 200 mil pessoas, ocupou a famosa praça da Sé, bem em frente à catedral da cidade para, a 400 mil mãos, compor uma serenata de apenas duas palavras para comunicar, ao último general de plantão, a principal demanda da nação: “Diretas Já!”.

Numa questão de dias, sucessivos comícios formados por gigantescas e históricas multidões ocorreram nas principais praças do Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Brasília e outras cidades brasileiras. Com exceção do “general de aluguel”, todos os brasileiros passaram a exercer o lento e penoso processo de conquistar a própria cidadania e construir uma nova nação, com escritura lavrada e firma reconhecida em cartório, como manda a tradição nacional.

No anoitecer do dia 16 de abril de 1984, mais de 1 milhão de pessoas procuravam encontrar, da melhor maneira possível, uma forma de chegar à enorme praça que cobre o vale central da cidade de São Paulo para participar da maior manifestação popular de toda a história brasileira até então. Em poucas horas daquele entardecer inesquecível, verdadeiros rios de gente – usando verde e amarelo, o tradicional arco-íris brasileiro conhecido mundo afora – inundaram cada milímetro quadrado do tradicional vale do Anhangabaú, muito perto da então humilde colina onde essa megalópole fora um dia fundada. Cada novo grupo de pessoas, logo ao chegar ao centro do

comício, juntava-se ao já mais do que familiar coral, que continuava a repetir, incessantemente, o seu poema de duas palavras. A cada instante, aquele grito que vinha de dentro da alma de cada um de nós se transformava, de repente, numa verdadeira erupção vocal, espalhando-se pelos céus entrecortados pelos últimos raios do sol, que parecia querer ficar, só mais um pouquinho, entre nós, para também participar daquele momento. Ah, que inveja esse sol paulistano deve ter sentido da lua, que logo a seguir passou a ser nossa celestial companheira e testemunha daquele mar de vozes a repetir, sem perder a rima, o ritmo ou o foco.

“Diretas Já, Diretas Já, Diretas Já!”

Se você, caro leitor, nunca teve a oportunidade de participar de um coral formado por 1 milhão de vozes, eu certamente recomendo a experiência. Nada pode nos preparar para o som penetrante que nasce dessa sinfonia de anseios e desejos; e nada deste lado da Via Láctea fará você esquecer essa música, esse quase pranto, pois ela, como ele, carrega o tipo de som que entalha memórias para toda uma vida, para enquanto durar o sempre de uma vida mortal.

Pressionado pelo crescente fluxo de pessoas, eu não tive alternativa a não ser escalar uma banca de jornais e, do alto do seu teto de zinco, pela primeira vez naquela noite, deleitar-me com uma visão panorâmica de toda aquela multidão que decidira conquistar plenamente o gigantesco vale do Anhangabaú armada apenas com uma canção de dois verbetes. Para os praticamente dizimados índios tupis-guaranis, a tribo nativa que ocupava aquela terra antes da chegada dos portugueses em 1500, o riacho que cortava aquele vale era conhecido como “o rio dos maus espíritos”. Não mais. Naquela noite emocionante, o único rio visível naquele vale era um poderoso Amazonas feito de gente. Nenhum espírito do mal ousaria aparecer no meio daquele verdadeiro oceano humano.

– O que vocês querem? – parte da massa de gente provocava em gracejo espontâneo.

– Diretas! – o resto de nós respondia ao desafio.

– Quando? – outro amontoado dava continuidade à graça.

– Já, já, já! – toda a multidão respondia em uníssono.

No momento em que aquele coral de 1 milhão começou a cantar o Hino Nacional a plenos pulmões, nem mesmo os céus de São Paulo conseguiram segurar as lágrimas. Debaixo da tradicional garoa paulistana, comecei a compreender o que uma população de indivíduos pode realizar quando todos colaboram, em pura e sincronizada harmonia, na concretização de um objetivo coletivo. Apesar de a mensagem transmitida pela multidão daquele comício ter sido sempre a mesma simples entonação, “Diretas Já!”, a cada momento diferentes combinações de vozes foram responsáveis por representar o desejo de toda uma população. Esse fenômeno se deu simplesmente porque as mesmas pessoas não eram capazes de cantar o refrão, a todo instante, ou porque algumas delas simplesmente perderam a voz – ou porque estavam emocionadas demais, ou porque se distraíam agitando suas bandeiras ou conversando com seus vizinhos. Ainda assim, o cântico podia ser ouvido claramente até para quem estivesse assistindo ao comício a centenas de metros dali. Além disso, mesmo quando um pequeno número de pessoas começou a deixar a praça e retornar para casa, o som gerado pelo restante da multidão continuava a transmitir a sua clara e definitiva mensagem para quem tivesse ouvidos para escutar. Para qualquer observador externo, a perda de alguns manifestantes num universo formado por 1 milhão de pessoas não foi notada nem fez a menor diferença. Como o número inicial de participantes era tão grande, a perda de um pequeno contingente não influenciou no resultado obtido por aquele coral.

Finalmente, a voz de milhões de brasileiros foi ouvida, e o país recobrou a sua tão desejada liberdade política, transformando-se numa das mais vibrantes democracias do século XXI. De volta a 1984, alguns dias após o comício épico, encontrei-me de forma casual com aquele que se tornara “de fato” meu orientador de doutorado, o dr. César Timo-Iaria. Oficialmente, o nosso encontro seria para discutirmos um artigo clássico de autoria de dois neurocientistas, o canadense David Hubel (1926-2013) e o sueco Torsten Wiesel (1924-). Eles tinham compartilhado o Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina em 1981, por seu trabalho pioneiro sobre a organização funcional do córtex visual. Em suas brilhantes carreiras, ambos haviam registrado

a atividade elétrica de neurônios individuais do córtex visual, numa abordagem reducionista que se transformara na norma dos laboratórios de neurofisiologia de todo o mundo nos anos 1950-1970. Durante a apresentação do artigo em questão, perguntei inocentemente a meu mentor por que nosso laboratório não utilizava tal abordagem. A resposta veio imediata. Ajeitando-se em sua cadeira e levantando as bastas sobranceiras brancas, meu prezado dr. César fez com que eu sentisse em sua emergente indignação a mesma energia e a mesma paixão que eu experimentara no vale do Anhangabaú:

Meu filho, em nosso laboratório não registramos a atividade elétrica de neurônios individuais pela mesma razão que o comício de que você participou alguns dias atrás teria sido um desastre total se, em vez de 1 milhão, apenas uma pessoa tivesse aparecido para clamar por eleições diretas. Você realmente acredita que alguém prestaria atenção na súplica de um comício feito de uma só pessoa? A mesma norma se aplica ao cérebro: ele não presta atenção nas faíscas elétricas de um único neurônio ruidoso. Não, senhor, o cérebro precisa contar com milhares de suas células cantando conjuntamente a cada instante, para saber o que fazer no momento seguinte.

Tivesse eu sido mais atento e perspicaz naquele anoitecer paulistano em 1984, poderia ter percebido que a dinâmica do comportamento social daquela multidão cantante havia ilustrado, de maneira explícita, a maioria dos princípios neurofisiológicos que eu passaria a perseguir obsessivamente nos 25 anos seguintes de minha carreira. Todavia, nessa busca, em vez de participar de comícios políticos, dediquei-me a ouvir sinfonias até então praticamente desconhecidas, produzidas pelas descargas elétricas de grandes populações de neurônios trabalhando em conjunto.

Muitos anos depois, um cérebro de primata seria enfim libertado de seu corpo biológico por meio da mesma tecnologia desenvolvida para registrar essas obscuras sinfonias neurais. Mas, na metade da década de 1980, poucos neurocientistas tinham motivação ou razão

para abandonar o paradigma experimental reducionista da neurociência do século XX, bem como seu foco em registrar a atividade elétrica de apenas um neurônio individual de cada vez. Essa relutância era, provavelmente, consequência do grande sucesso obtido pelo uso de abordagens reducionistas em outras áreas de investigação científica, como a física de partículas e a biologia molecular. Na física de partículas, por exemplo, a predição teórica seguida da descoberta experimental de uma série de partículas elementares, como os *quarks*, provaram ser o grande impulso necessário para a proposição do Modelo Padrão (*Standard Model*), que continua a servir de base para nosso entendimento do universo físico que nos circunda.

Em termos gerais, a corrente dominante da neurociência do século XX aplicou a abordagem reducionista para dividir o cérebro em regiões individuais que continham uma alta densidade de neurônios. Essas regiões foram então batizadas de áreas ou núcleos neurais. De acordo com essa estratégia, a missão do neurocientista seria estudar individualmente os diferentes tipos de neurônios presentes em cada uma dessas estruturas, bem como suas conexões locais e com outras estruturas, de maneira minuciosa. A esperança era que, uma vez que um grande número de neurônios e suas conexões, áreas e núcleos neurais tivessem sido estudados exaustivamente, a informação acumulada permitiria explicar de que maneira o cérebro funciona como um todo. Tal lealdade ao reducionismo levou a grande maioria dos neurocientistas do século passado a dedicar sua carreira à descrição pormenorizada das propriedades anatômicas, fisiológicas, bioquímicas, farmacológicas e moleculares de neurônios individuais e seus principais componentes estruturais. Valendo-se do injusto benefício de analisar retrospectivamente o produto do que foi feito no passado, pode-se dizer que, apesar de todos os enormes avanços observados no estudo do cérebro, a grande maioria dos neurocientistas optou por tentar decifrar os mistérios da mente como um ecólogo que tentasse entender o ecossistema da Floresta Amazônica observando o funcionamento de uma única árvore de cada vez, ou um economista que tentasse entender a tendência da bolsa de valores seguindo uma única ação, ou um general autocrático que tentasse reduzir a efetividade de

um protesto de 1 milhão de pessoas prendendo um manifestante de cada vez. Triste esperança!

Em sua defesa, qualquer neurocientista poderia honestamente argumentar que, na realidade, o que a neurociência do século XX não teve foi um paradigma claro para lidar com a complexidade que emerge dos circuitos neurais formados por milhões de neurônios. Hoje em dia, sistemas formados por grandes números de elementos que interagem entre si – coisas como um movimento popular, o mercado financeiro mundial, a internet, o sistema imune, o clima do planeta ou mesmo uma colônia de formigas – são classificados como sistemas complexos, entidades cujas propriedades mais fundamentais tendem a “emergir” por meio da interação coletiva de seus múltiplos elementos individuais. Tipicamente, esses sistemas complexos não revelam seus segredos mais íntimos quando abordados pelo clássico método reducionista. Com seus 100 bilhões de neurônios e respectivas conexões, que conjuntamente proporcionam mudanças fisiológicas de milissegundo a milissegundo, o cérebro humano representa um modelo arquetípico de um sistema complexo.

Parte da quase negligência em explorar a complexidade do cérebro pode ser justificada também pelas tremendas dificuldades experimentais envolvidas em registrar simultaneamente os sinais elétricos produzidos por grandes grupos de neurônios individuais, distribuídos por múltiplas regiões cerebrais. Por exemplo, no exato momento em que multidões de brasileiros estavam lutando por eleições presidenciais, ninguém na comunidade neurocientífica tinha a menor noção de qual sensor poderia ser implantado no cérebro de pequenos mamíferos, de maneira que as diminutas tempestades elétricas produzidas por grupos de neurônios pudessem ser registradas ao mesmo tempo, por muitos dias ou semanas, enquanto esses animais realizavam uma série de tarefas comportamentais. Além disso, não havia nenhum equipamento eletrônico disponível nem computadores poderosos o suficiente que pudessem ser empregados no processo de amplificação, filtragem, apresentação, estocagem e análise da atividade elétrica gerada simultaneamente por dezenas de neurônios únicos. Quase em desespero, neurofisiologistas questionavam a si mesmos e

a seus colegas, durante congressos e simpósios, sobre quais populações de neurônios deveriam ser escolhidas como alvo a ser registrado em cada estrutura do cérebro. Pior de tudo, ninguém parecia ter a menor ideia de como analisar a verdadeira montanha de dados neurofisiológicos obtidos nesses experimentos, considerados por muitos como tecnicamente impossíveis.

Paradoxalmente, poucos neurofisiologistas duvidavam de que as espantosas façanhas realizadas pela mente humana – da produção de poesias e sinfonias, passando pela confecção de ferramentas, à geração da noção do eu e da consciência – surgiam como resultado da interação da enorme massa de neurônios e conexões paralelas no cérebro. Ainda assim, por muitas décadas, qualquer tentativa de quebrar as barreiras técnicas que impediam o registro da atividade elétrica de mais de um neurônio foi recebida com um alto grau de ceticismo, como se essa fosse uma quimera, uma utopia digna de livros de ficção científica que poderia se tornar realidade somente por meio de um esforço comparável ao Projeto Manhattan.

Todas as expressões passadas da natureza humana, das pinturas rupestres de nossos antepassados pré-históricos às sinfonias de Mozart e à visão relativista do universo de Einstein, bem como todas as manifestações culturais, científicas e artísticas produzidas por nós no presente e por nossos futuros descendentes, emergiram, emergem e emergirão do mesmo substrato orgânico: a implacável e incansável confabulação dinâmica de populações de neurônios. Nenhum dos inúmeros comportamentos vitais para a sobrevivência e a prosperidade de nossa espécie – ou, a propósito, de nossos primos próximos e distantes, primatas e mamíferos – pode ser promulgado pela ação de um neurônio único, não importa quão especializada essa célula venha a ser. Assim, a despeito do grande conhecimento acumulado sobre a diversa morfologia e funcionamento de neurônios individuais, e a despeito dos enormes avanços científicos e clínicos obtidos durante o século passado, a simples aplicação da visão reducionista provou ser uma estratégia insuficiente e imprópria para atingir o mais cobiçado de todos os objetivos da neurociência: uma abrangente teoria do pensar.

Por mais surpreendente que possa soar, isso significa dizer que a tradicional e muito disseminada visão dominante sobre o funcionamento do cérebro, exposta, na grande maioria dos livros-texto de neurobiologia, em prosa artística e belíssimas ilustrações coloridas, não resiste mais à evidência dos dados experimentais que claramente desafiam o dogma central da ciência do cérebro. Assim, da mesma forma que a teoria da relatividade revolucionou a clássica visão do universo, a tradicional doutrina funcional do sistema nervoso, baseada no neurônio isolado, precisa ser definitivamente substituída por uma verdadeira teoria relativística da mente.

O primeiro passo na proposição de uma nova teoria científica é a definição do nível de análise apropriado para investigar as previsões geradas pela nova forma de síntese. Tal procedimento permite a validação ou a refutação da teoria proposta – a essência do método científico. Neste livro, proponho que a abordagem mais apropriada para compreender o pensar é aquela que investiga os princípios fisiológicos subjacentes às interações dinâmicas de grandes populações distribuídas de neurônios que definem um circuito neural (figura 1.1). Os neurônios transmitem informação uns para os outros através de compridos prolongamentos – seus axônios – que fazem contato não contíguo com os corpos celulares nervosos e suas estruturas protoplasmáticas em formato de árvore chamadas dendritos. Na minha opinião, enquanto o neurônio individual constitui tanto a unidade anatômica como o elemento básico de processamento de sinais do sistema nervoso, ele não é capaz, por si só, de gerar nenhum comportamento e, em última análise, nem sequer um pensamento. Dessa forma, a verdadeira unidade funcional do sistema nervoso é formada por uma população de neurônios, também conhecida como grupo ou rede neuronal. O arranjo funcional no qual populações de neurônios, em vez de células únicas, são responsáveis pela informação necessária para a geração de comportamentos também é denominado, na literatura especializada, código neuronal distribuído.

Pensando com populações de neurônios! Essa é a mensagem que eu gostaria de deixar gravada na mente do leitor deste livro. Talvez

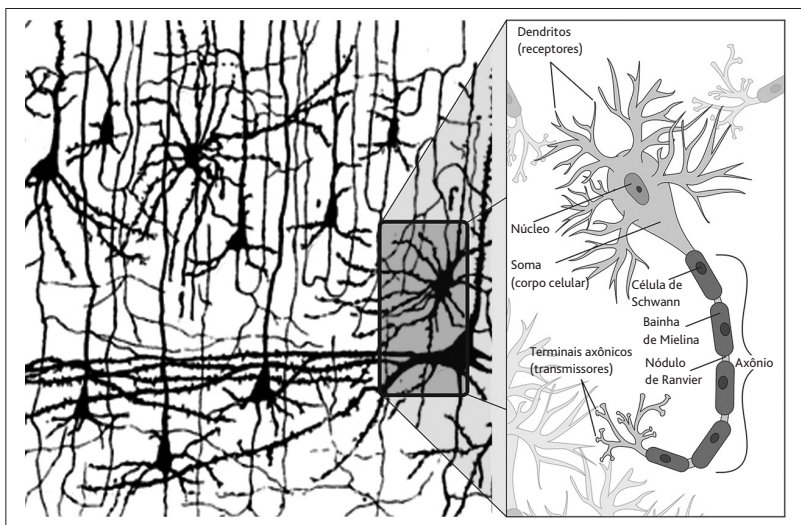


Figura 1.1 – A arquitetura de um circuito neural. Reprodução de um desenho original de Santiago Ramón y Cajal ilustrando um circuito neural formado por muitos neurônios. Um neurônio e suas especializações celulares são mostrados em destaque. Em geral, os dendritos servem como a principal especialização neuronal para receber sinapses de outros neurônios. Terminais axônicos, por sua vez, estabelecem as sinapses de um neurônio com outras células. (Desenho reproduzido de “Histology of the Nervous System”, com permissão do Instituto Cajal [CSIC], Madrid, Espanha.)

essa missão fique mais fácil quando revisarmos as evidências experimentais que demonstram, categoricamente, que mesmo duas das mais preciosas possessões do ser humano – seu senso de eu e sua imagem corporal – não passam de criações fluidas e altamente plásticas, edificadas e mantidas pela mobilização de microeletricidade e um punhado de moléculas, pelo bendito cérebro de cada um de nós. Esses dois atributos podem mudar, ou ser modificados, em poucos segundos. E, como veremos nos próximos capítulos, tais mudanças ocorrem da forma mais inusitada possível.

Durante a primeira metade do século XX, os pioneiros da técnica de registro de neurônios individuais argumentaram, com evidências que na época pareciam definitivas, que toda informação sensorial amostrada do mundo exterior, por meio de sensores corpóreos especializados – como pele, retina, ouvido interno, epitélio nasal e língua –, ascendia por vias neuronais independentes para terminar em áreas corticais específicas. Essas áreas foram identificadas como os sítios primários para o processamento de informação sensorial no córtex.

Elas passaram a ser conhecidas como córtex primário somestésico (processamento tátil), visual e auditivo, e ganharam grande proeminência entre os primeiros neurofisiologistas corticais. Tais descobertas reforçaram de maneira fundamental a visão localizacionista do córtex. Curiosamente, durante o mesmo período, um psicólogo norte-americano, Karl Lashley (1890-1958), despontou como o principal representante da visão oposta, o distribucionismo. A maior obsessão de Lashley, desde o início de sua carreira, foi identificar o local onde o cérebro estoca suas memórias, que ele chamava de “engrama”. Em seus experimentos, Lashley removia cirurgicamente tecido cortical de várias áreas do cérebro de ratos, macacos e símios antes e depois de esses animais terem aprendido um novo comportamento. Esses comportamentos podiam envolver apenas a realização de uma tarefa muito simples (aprender a identificar um objeto visualmente e então tentar agarrá-lo) ou a solução de um problema mais complexo (como aprender a se mover em um labirinto). Depois que um animal completava a fase de treinamento, Lashley media o impacto que lesões corticais de diferentes dimensões causavam na capacidade do indivíduo de adquirir ou reter o comportamento ou o hábito que ele aprendera anteriormente. Utilizando essa abordagem experimental, o pesquisador tentou entender como associações sensório-motoras são estabelecidas no córtex.

De acordo com Lashley, depois que os animais eram treinados numa tarefa simples, boa parte do córtex podia ser removida sem que a performance comportamental deles fosse alterada – desde que algum volume do córtex sensorial primário utilizado para aprender e executar a tarefa permanecesse intacto. Na realidade, Lashley calculou que, se apenas 1/60 do córtex visual primário fosse poupado, os animais conseguiriam reter um hábito visomotor aprendido antes da lesão cortical. Assim, quando confrontado com tarefas comportamentais simples, o cérebro dos animais do experimento demonstrou ser extremamente resistente e resiliente, capaz de continuar processando informações a despeito de extensas lesões. Em seu artigo mais famoso, intitulado “Em busca do engrama”, Lashley resumiu esses achados na formulação de seu “princípio de equipotencialidade”.

De acordo com esse princípio, os traços de memória são estocados de maneira distribuída por toda a extensão das áreas corticais primárias, e não em algum neurônio específico ou em grupos de neurônios especializados em registrar lembranças.

Mas Lashley também verificou que o cérebro exibia uma capacidade menor de recuperação de possíveis traumas quando os animais eram treinados em tarefas mais complexas. Na realidade, eles começavam a exibir erros na execução dessas tarefas com pequenas lesões corticais, e o número de erros aumentava proporcionalmente à quantidade de massa cortical removida cirurgicamente. Uma vez que 50% ou mais do córtex tivesse sido removido, os animais iniciavam o processo de perda do hábito, requerendo um retreinamento extensivo para recuperá-lo. Após certo limite de dano cortical, porém, eles não eram mais capazes de reaprender a tarefa. Baseado nessas observações, Lashley propôs um segundo princípio, que passou a ser conhecido como “efeito de massa neuronal”. Esse princípio postula que as memórias resultam de “algum mecanismo fisiológico de organização ou atividade integradora [neural], em vez de ligações associativas específicas”.

Nos últimos cinquenta anos, inúmeros neurocientistas criticaram as conclusões que Lashley tirou de seus estudos. Mesmo hoje, a simples menção de seu nome durante uma palestra científica invariavelmente leva a comentários jocosos e sorrisos irônicos da plateia. A grande razão dessa retribuição cáustica deve-se ao fato de Lashley ter baseado todas as suas conclusões num método que se valia exclusivamente da correlação entre o efeito de lesões cerebrais e a performance de animais em tarefas comportamentais. Na opinião de alguns, as tarefas escolhidas eram simples demais, e, na opinião de outros, tão complexas que nenhum controle experimental fino era possível. Além disso, o estabelecimento de uma relação causal entre lesões cerebrais e performance comportamental sempre foi visto com desconfiança pela maioria dos neurofisiologistas, por razões que ficarão mais claras no decorrer desta narração.

Apesar das limitações claras do método, e a despeito de todas as críticas, algumas válidas, outras nem tanto, Lashley certamente mostrou

a possibilidade de o córtex funcionar de maneira bem diferente, e muito mais complexa, daquela proposta pela visão localizacionista, que predominava na época em que ele realizou seus experimentos.

Nessa encruzilhada histórica, vale a pena lembrar o dito costumeiro segundo o qual as batalhas acadêmicas são tão sangrentas porque os interesses em jogo são, invariavelmente, tão insignificantes. Acreditem-me, esse não é o caso da disputa que serve de pano de fundo para todo este livro. Definir a verdadeira unidade funcional do cérebro é um empenho solene. Afinal, essa busca visa a identificar exatamente que tipo de matéria orgânica decide, em nosso nome, onde o corpo de cada um de nós começa e termina, o que realmente significa sentir-se um ser humano, quais são as origens de nossas crenças arraigadas e como os nossos filhos, e os filhos de nossos filhos, um dia lembrarão qual foi o nosso legado de vida. Vistas por esse ângulo, poucas aventuras humanas chegam perto do grau de relevância e drama da busca pelas verdadeiras razões que levam cada um de nós a se sentir tão irrevogavelmente diferente e único, e, ainda assim, tão espantosamente semelhante aos demais seres humanos.

Uma analogia muito simples talvez ajude a esclarecer a principal distinção entre as duas visões que disputam a primazia de compreender como o cérebro humano funciona. Imagine, por exemplo, o papel desempenhado pelos músicos de uma orquestra. Se você tivesse comprado ingresso para assistir a uma apresentação dessa orquestra e, na noite do evento, chegasse ao teatro e descobrisse que apenas uma violinista apareceu para tocar, certamente se sentiria desapontado no final da noite. Afinal de contas, mesmo que essa violinista fosse uma virtuose de renome mundial, como Anne-Sophie Mutter, você não conseguiria de forma alguma absorver a mensagem contida em toda a partitura da sinfonia. Para realmente poder transmitir toda a riqueza sonora da peça musical em questão, essa orquestra precisaria contar com um número muito maior de músicos tocando em conjunto. Na visão dos distribucionistas, quando o cérebro cria uma mensagem complexa, destinada a se transformar num comportamento específico, ele está compondo uma espécie de sinfonia. Uma verdadeira sinfonia neuronal.

Codificar uma mensagem neuronal e transformá-la em comportamentos e ações, por meio do trabalho coletivo de um grande número de elementos individuais, é uma tarefa semelhante ao penoso ofício de uma orquestra sinfônica, em que cada músico contribui para a elaboração de uma melodia mais complexa, porém não mais poderosa que aquela entoada por 1 milhão de vozes para destronar um ditador fardado e clamar por eleições presidenciais diretas.

Esse tipo de estratégia distribuída é encontrado com frequência na natureza e em muitos aspectos de nossa vida diária. É o caso da produção de fenótipos complexos, como nossa aparência física, geralmente definida pela expressão simultânea de muitos genes espalhados por nossos cromossomos. Outro grande exemplo de estratégia distribuída envolve os complexos proteicos que operam em conjunto dentro das células, realizando uma enorme variedade de funções, como a tradução e o reparo do DNA ou a secreção de substâncias químicas, conhecidas como neurotransmissores, nas sinapses neuronais. Cada proteína individual é responsável por uma subtarefa específica, e muitas dessas proteínas precisam interagir para que uma função complexa seja concretizada. Por exemplo, vários complexos proteicos, inseridos na espessura da membrana lipídica de cada neurônio, funcionam como verdadeiros túneis, os canais iônicos, que atravessam essa camada gordurosa protetora da célula. Quando um desses túneis proteicos abre suas comportas, um íon específico (sódio, potássio, cloreto ou cálcio) pode entrar ou sair do neurônio. Múltiplos canais iônicos colaboram para manter ou alterar o potencial elétrico que existe entre o interior e o exterior da membrana de um neurônio. Da mesma forma que um neurônio isolado não pode produzir um comportamento, um único canal iônico não tem como regular o potencial da membrana celular. Para funcionar de forma adequada, essa e todas as outras membranas excitáveis de células de nosso corpo dependem da colaboração precisa de uma população de canais iônicos.

Abordagens distribuídas para solucionar problemas cruciais também funcionam bem no âmbito macroscópico na natureza. Por exemplo, leões africanos em geral caçam em grupos, sobretudo quando

tentam capturar uma presa grande, como um elefante aparentemente vulnerável que esteja matando a sede num raso poço d'água. Isso permite que, caso um dos leões seja morto ou ferido pelo elefante, o restante do grupo de caçadores possa ainda ter uma grande chance de se deliciar com um “filé-mignon” de elefante no final da noite. Por outro lado, algumas das espécies mais perseguidas por predadores igualmente se valem de uma estratégia distribuída para sobreviver a ataques. Ela se manifesta numa variante defensiva que consiste na formação de grupos, constituídos por um grande número de indivíduos, que se deslocam conjuntamente em busca de alimento e refúgio. Dessa forma, passaredos migratórios cruzando o ar rarefeito da cordilheira do Himalaia, cardumes navegando pelas águas verde-esmeralda do Caribe e grupos de capivaras passeando pelo planalto central brasileiro compartilham a mesma estratégia para se proteger de seus maiores predadores. Quando aumentam o número de seus integrantes, esses grupos de animais não só dividem a atenção dos inimigos como também reduzem, significativamente, a probabilidade de que cada membro individual se transforme na refeição do dia. A longo prazo, essa estratégia distribuída de administração de riscos aumenta a chance de perpetuação de espécies que vivem a rotina de ser sempre a caça, todos os dias de sua existência.

No nosso dia a dia, são comuns as aplicações desse tipo de abordagem. Quando um conselheiro financeiro nos orienta a distribuir nossas economias entre diferentes investimentos (caderneta de poupança, imóveis, certificados bancários, ações, ouro etc.), ele está se valendo da mesma estratégia de redução de riscos utilizada por um bando de capivaras; a distribuição do montante total por múltiplos investimentos evita que a queda brusca do valor de um deles (digamos, o do mercado de ações) arruíne seu cliente. Algo a ser evitado a todo custo, pois cliente falido não paga comissões a conselheiros!

Toda vez que cada um de nós utiliza a mais revolucionária tecnologia moderna de comunicação de massa, a internet, a garantia para que nossa incessante busca por informação seja saciada é mantida pela existência de gigantescas redes distribuídas de computadores. Nenhum computador isolado controla o fluxo de bits e bytes através de toda

essa teia virtual; nenhum cabo isolado conecta seu computador à sede do Google em Mountain View, na Califórnia. Quando você realiza uma busca no site do Google, um enorme número de computadores interconectados garante que ela será recebida rapidamente por alguns dos milhares de servidores da empresa e que a lista de sites da web que você procura apareça no seu monitor, como num passe de mágica de algum deus digital. Mesmo que um ou vários desses computadores parem de funcionar, o caráter distribuído da internet permite que você continue surfando sem que nada de anormal transpareça. Como nos experimentos de Lashley, um usuário somente notará algo de errado quando uma fração muito grande da rede de computadores que fazem parte da internet estiver fora de ação.

Mas por que estratégias distribuídas funcionam tão bem em diferentes níveis de organização e em diferentes sistemas? Por que, de proteínas a grupos de capivaras e ao mercado de ações, faz sentido confiar na interação de grandes números de indivíduos para se concretizar uma tarefa essencial ou atingir um objetivo complexo? Para responder a essa questão fundamental, vamos voltar à neurociência e examinar as vantagens que um código populacional confere à nossa habilidade de pensar.

Primeiro, ao distribuir o ato de pensar por uma vasta população de neurônios, o processo evolutivo estabeleceu uma eficiente apólice de seguro para o cérebro. Na maioria dos casos, as pessoas não perdem funções cerebrais importantes quando apenas um neurônio ou pequenos grupos dessas células são destruídos por um trauma localizado ou um acidente vascular cerebral (derrame) de pequenas proporções. Em geral, graças à utilização de uma estratégia distribuída de administração de riscos, sintomas ou sinais de alguma síndrome neurológica tendem a aparecer somente depois do estabelecimento de grandes lesões no tecido cerebral. Por um momento, imagine os riscos que correríamos se isso não fosse verdade. Quão cheia de momentos trágicos seria nossa vida se apenas um neurônio, em todo o cérebro, tivesse o controle absoluto sobre qualquer um de seus aspectos fundamentais. O que você faria, por exemplo, se o neurônio que dita a escolha do seu time favorito de futebol de repente sofresse

um colapso e morresse? Com a perda dessa única célula, a fidelidade futebolística de uma vida inteira seria perdida para sempre! Embora um número razoável de nossos neurônios morra a cada dia durante toda a nossa existência, felizmente essas microscópicas tragédias neurobiológicas permanecem abafadas dentro de nossa mente, uma vez que delas não resulta nenhuma alteração fisiológica ou comportamental. Tal bênção se deve, em grande parte, à adoção de um modo distribuído de operação no cérebro.

Além dessa propriedade, os neurônios que formam circuitos neurais são altamente adaptáveis, ou plásticos. Quando neurônios são lesionados ou morrem, aqueles que permanecem ativos num circuito são capazes de autorreorganizar suas propriedades fisiológicas, sua morfologia e a conectividade quando expostos ao ambiente ou a novas tarefas; assim, por meio desse processo de reorganização funcional, o circuito remanescente consegue, em muitas ocasiões, suplantar a perda de alguns de seus elementos celulares. Como meu grande amigo Rodney Douglas, da Universidade de Zurique, recentemente sugeriu, o cérebro funciona de fato como uma orquestra muito peculiar, na qual a música produzida pode, quase que instantaneamente, modificar a configuração dos instrumentos musicais e dos músicos e, nesse processo, compor uma melodia completamente inédita. Tudo isso sem a presença de nenhum maestro de batuta na mão!

O processo da evolução natural pode também ter favorecido uma codificação populacional porque ela é muito mais eficiente em processar múltiplas mensagens do que a alternativa baseada em um único neurônio. A verificação de tal assertiva é muito simples. Suponha que um neurônio só pudesse representar duas mensagens distintas, por meio da alternância de seu padrão de disparo elétrico. Nesse caso puramente hipotético, mas útil para ilustrar o ponto em questão, esse neurônio, devido a limitações biofísicas, só seria capaz de expressar duas frequências bem distintas de disparos elétricos: uma de alta frequência, contendo muitos disparos, e outra de baixa frequência, contendo poucos disparos. Se um animal tivesse de reconhecer imagens do mundo que o cerca através de um sistema visual formado somente por esse neurônio, apenas duas imagens distintas poderiam ser

identificadas: uma associada aos disparos de alta frequência e outra reconhecida quando o neurônio disparasse a baixa frequência. Com tal limitação na capacidade de codificação neural, esse animal não teria como representar outras mensagens visuais. Agora, suponha que cem neurônios, atuando da mesma forma que a célula do exemplo anterior (usando apenas dois níveis de frequência para codificar estímulos visuais), formassem o sistema visual desse mesmo animal. Imediatamente, o número de imagens que poderia ser representado por esse sistema visual, baseado numa população de neurônios, aumentaria para 2^{100} !

Além desse aumento dramático na capacidade computacional e de armazenamento de informação, um código distribuído apoia-se invariavelmente num modo paralelo de processamento. Como os neurônios são capazes de estabelecer um grande número de conexões com outros neurônios, tanto localmente como a distância, os circuitos neurais lembram verdadeiras redes de transmissão entrelaçadas, que transmitem informações em todas as direções. Durante meu trabalho de pós-graduação, deparei com essa capacidade quase sobrenatural de processamento paralelo de um desses circuitos. Como parte de minha tese, criei um pequeno programa computacional baseado na chamada teoria dos grafos, que conseguia armazenar, numa matriz quadrada (figura 1.2), as conexões diretas entre pares de áreas e núcleos neurais que compõem o circuito responsável pelo controle das funções cardiovasculares. Para criar essa matriz, primeiro selecionei as quarenta áreas ou núcleos mais importantes desse circuito e, por meio de uma busca exaustiva da literatura que descreve as conexões estabelecidas por essas estruturas, identifiquei todos os pares dessas regiões conectados diretamente por um feixe de axônios ou nervos que utiliza apenas uma sinapse para essa comunicação. Tal conexão neural é comumente denominada via monossináptica. Dessa forma, em meu programa, cada linha da matriz identificava uma das quarenta estruturas que emitia uma via monossináptica em direção a outra área neural, enquanto cada uma das quarenta colunas designava a estrutura que recebia uma projeção monossináptica. Nesse arranjo matricial, a existência de uma via

monossináptica que se originava, por exemplo, nos neurônios presentes na estrutura 4 e terminava na área 38 era representada pela presença do número 1 na intersecção da linha 4 com a coluna 38. Se os neurônios presentes na área 38 tinham uma conexão monossináptica recíproca com a área 4, outro 1 era adicionado na intersecção da linha 38 com a coluna 4. No caso de não existir uma conexão monossináptica direta entre duas estruturas (digamos, os núcleos 5 e 24), um 0 era adicionado na intersecção da linha e coluna do par que representava essas áreas cerebrais.

Tendo levado meses preenchendo a matriz quadrada formada por quarenta linhas (origens de uma conexão) e quarenta colunas (alvos de uma conexão) com dados neuroanatômicos, decidi usar meu programa para responder a uma pergunta muito simples: dado todo o universo conhecido de conexões monossinápticas entre pares de estruturas do circuito responsável pelo controle da função cardiovascular, quantas vias polissinápticas – isto é, contendo mais de uma sinapse – poderiam conectar um par de estruturas neurais não conectadas diretamente? A pergunta pode parecer muito simplista, mas até então ninguém havia levantado essa questão ou tentado obter uma resposta quantitativa para ela. Em outras palavras, o que eu estava tentando investigar era a dimensão de possíveis “caminhos neurais” disponíveis para que a informação circulasse entre pares de estruturas de um circuito complexo que não compartilhassem conexões diretas. Tendo identificado a questão central, o passo seguinte foi tentar respondê-la de forma satisfatória. Para tanto, recorri a uma série de vinte microcomputadores IBM-PC XT, então disponíveis no recém-inaugurado laboratório de informática médica da FMUSP, disciplina que ajudei a criar, ainda como aluno de pós-graduação, com meu grande amigo e colega Koichi Sameshima, outra cria acadêmica do professor César Timo-Iaria. Numa tarde de sexta-feira, após a última aula de nossos alunos, rodei vinte versões idênticas de meu programa. Cada um desses computadores tinha como missão identificar, contar e representar, na forma de um histograma, o número total de vias polissinápticas que conectavam um par de estruturas neuronais sem uma conexão monossináptica entre si. Vinte computadores, vinte pares.

A ideia original era que, no final dessa busca computacional coletiva, eu obteria vinte belos histogramas representando o total de vias ligando cada par de estruturas neurais, em função do número de sinapses de cada uma dessas vias (figura 1.2). Com a estratégia definida, iniciei o programa de busca em cada um dos vinte microcomputadores e me despedi de todos no laboratório para celebrar, durante quatro dias e meio, o mais religioso de todos os feriados brasileiros: o Carnaval!

Qual não foi minha surpresa quando, ao retornar das festividades carnavalescas, encontrei pilhas e pilhas de papel impresso espalhadas

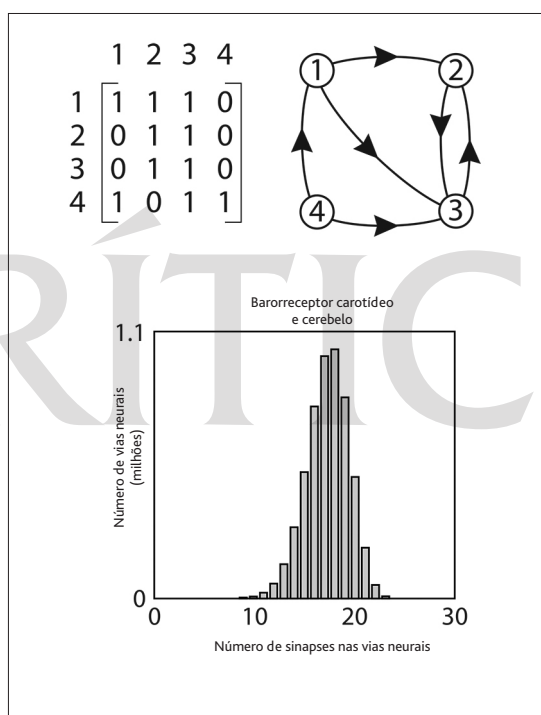


Figura 1.2 – Uso da teoria dos grafos para estudar a distribuição de vias ligando pares de neurônios. No topo, uma matriz quadrada é usada para representar a existência de conexões monossinápticas diretas entre pares de estruturas cerebrais. Nessa matriz, 1 representa a existência de uma conexão direta entre um par de estruturas, enquanto 0 ilustra a inexistência de tal conexão. Do lado da matriz, um grafo representa o mesmo circuito. Círculos com números representam as estruturas, e as flechas direcionais descrevem a conectividade descrita na matriz. O histograma abaixo ilustra o número total de vias polissinápticas conectando duas estruturas (barorreceptor carotídeo e cerebelo) que não estão conectadas diretamente por uma conexão monossináptica. O eixo x representa o número de sinapses das vias neurais, e o eixo y descreve o número de vias encontradas. Note que milhões de vias foram identificadas conectando as duas estruturas selecionadas para este exemplo. (Figura redesenhada pelo dr. Nathan Fitzsimmons, Universidade Duke.)

por todo o laboratório. Metade dos computadores havia terminado sua busca identificando milhares, ou, em alguns casos, milhões, de possíveis vias polissinápticas que conectavam um único par de estruturas neurais não conectadas diretamente. O mais surpreendente foi descobrir que alguns dos dez computadores restantes não tinham sequer terminado de encontrar todas as possíveis vias neurais conectando certos pares de estruturas, enquanto outros tinham simplesmente ficado sem papel para imprimir os milhões de trajetórias encontrados. A conclusão desse pequeno experimento computacional logo ficou evidente: a existência de um número limitado de conexões diretas ou monossinápticas entre pares de estruturas de um circuito neural era suficiente para possibilitar milhões de alternativas para a troca de informação entre regiões do cérebro que não tinham conexão direta. Usando vias indiretas, polissinápticas, todas as estruturas do circuito aparentemente podiam, de uma maneira ou de outra, compartilhar alguma informação inserida em determinado ponto da rede neural.

Esse experimento serviu também para comprovar a crença de que, ao confiar seu destino às ações paralelas de grandes populações de células conectadas, o sistema nervoso dos vertebrados adquire propriedades de um sistema dinâmico no qual o todo se torna maior do que a soma de seus componentes individuais. A partir de interações paralelas e dinâmicas, esses cérebros são capazes de gerar padrões complexos de atividade, conhecidos como propriedades emergentes, que deixam de ser previsíveis a partir do conhecimento dos atributos individuais de cada elemento celular da rede. Esse comportamento extremamente não linear amplia sobremaneira a capacidade desses sistemas nervosos de gerar produtos comportamentais que podem, simplesmente, emergir numa fagulha de tempo e eletricidade. Circuitos neurais formados por milhões ou mesmo bilhões de neurônios produzem continuamente propriedades emergentes, a exemplo de oscilações, padrões de disparo rítmicos que podem ser responsáveis por uma enorme variedade de funções cerebrais, como diferentes estados do ciclo vigília-sono, ou mediar estados patológicos, como crises epiléticas. Propriedades emergentes também são responsáveis por outras funções cerebrais rotineiras, mas altamente complexas,

como a percepção do mundo que nos cerca, a geração de expectativas sobre eventos futuros e nosso senso de existir como indivíduos únicos. No topo dessa lista, reside aquela que pode ser considerada a maior dádiva a nós concedida pelos ventres explosivos de supernovas esmaecidas – a consciência humana.

Apesar dessa extensa introdução ao conceito de código distribuído, vale ressaltar que a nova forma de olhar para o cérebro proposta neste livro não se restringe a uma simples transferência de ênfase do neurônio isolado para populações de neurônios. Na realidade, essa nova visão vai muito mais longe. Explico. Até pouco tempo atrás, a maioria das teorias neurofisiológicas ignorou consistentemente o fato de que cérebros complexos como o nosso não se acomodam e se resignam a ficar à deriva, esperando a ocorrência de novos eventos relevantes. Muito pelo contrário. O sistema nervoso está sempre tomando a iniciativa e buscando informações tanto sobre o corpo que habita como sobre o mundo que o circunda, compondo de maneira cuidadosa a máscara de realidade, opiniões, amores e, é preciso lembrar, preconceitos e injustiças, que nós, tão orgulhosa e por vezes cegamente, vestimos a cada milissegundo de nossa vida, jubilosamente ignorantes de como e de onde tudo isso vem. Essa procura incessante e quase obsessiva por informações e conhecimento mantém o que gosto de chamar de “ponto de vista próprio do cérebro”. De acordo com minha teoria, esse ponto de vista é formado pela combinação da história evolutiva e individual da vida do cérebro, seu estado dinâmico global a cada momento no tempo e as representações internas que ele mantém do corpo e do mundo. Todos esses componentes, que em conjunto esculpem nossa mais íntima existência mental, amalgamam-se numa interpretação detalhada e preciosa da realidade que conhecemos como a história única de vida de cada um de nós.

O ponto de vista próprio do cérebro influencia decisivamente a maneira como percebemos tanto o mundo exterior como a imagem de nosso corpo e nosso senso de existir. Dessa forma, a visão cartesiana de que o cérebro humano interpreta ou decodifica passivamente sinais gerados no mundo exterior, sem nenhuma opinião prévia, julgamento ou expectativa vinculada a esse processo, não pode

mais resistir à evidência experimental acumulada nas últimas duas décadas. De fato, para atingir seu enorme potencial científico e humanista – ao desvendar os mandamentos fisiológicos que governam a operação do cérebro humano e descobrir novos tratamentos, como as interfaces cérebro-máquina, capazes de reabilitar ou mesmo curar pacientes devastados por doenças neurológicas –, a neurociência do século XXI terá de se libertar de seus dogmas atuais e abraçar, sem hesitação, a noção de um cérebro ativo e participante.

Em sua obra-prima *The organization of behavior* [A organização do comportamento], publicada em 1949, o psicólogo canadense Donald O. Hebb foi um dos pioneiros a defender o conceito de que populações neuronais (*cell assemblies*) deveriam ser consideradas a verdadeira unidade funcional do sistema nervoso. Aluno de Lashley, Hebb também postulou que “nenhum neurônio isolado ou via neural [é] essencial para a geração de qualquer hábito ou percepção”. Apesar de não ser neurofisiologista, ele afirmou corretamente que “a eletrofisiologia do sistema nervoso central indica [...] que todas as partes do cérebro estão continuamente ativas”. Na sequência, escreveu que “um sinal que ascende [da periferia do corpo] é necessariamente sobreposto na excitação preexistente dentro do cérebro. Dessa forma, é impossível que a consequência de um evento sensorial deixe de ser influenciada pela atividade existente no cérebro naquele momento”.

Ao longo deste livro, defendo a tese de que todas as façanhas miraculosas do cérebro humano se devem à interação dinâmica de bilhões de neurônios individuais que, em conjunto, criam um *continuum* funcional, no qual espaço e tempo neuronais se fundem natural e suavemente, como na teia espaçotemporal que define o universo relativista que nos circunda. Num animal desperto e atuante, como Hebb propôs, nenhum estímulo sensorial é processado sem ser comparado com as predisposições e expectativas internas do cérebro, construídas arduamente ao longo de incontáveis encontros com outros eventos similares e não tão similares, estocados nas memórias que definem toda uma vida. Como veremos, isso explica por que a difusa resposta elétrica evocada no cérebro de um ser consciente que depara com uma nova mensagem, capturada do mundo exterior,

depende tão intimamente do estado interno do sistema nervoso no momento exato desse encontro de sinais do universo físico com o cosmos orgânico que constitui nossa mente. Nesse contexto, enquanto a constância da velocidade da luz no vácuo determina que espaço e tempo têm de ser relativizados no que diz respeito ao estado de movimento de um par de observadores no universo, proponho que a história evolutiva e individual de nossa espécie, a quantidade máxima fixa de energia que o cérebro humano pode consumir, e a velocidade máxima de disparo que neurônios individuais podem atingir determinam que uma equivalente relativização do espaço e do tempo ocorra dentro de nosso sistema nervoso.

A maior parte da informação sobre o ambiente onde vivemos e o corpo que habitamos chega ao cérebro como resultado de comportamentos exploratórios iniciados por ele mesmo. A percepção é um processo *ativo*, que começa dentro da mente, e não na periferia do corpo de carne e osso que constantemente entra em contato íntimo com o universo. Por meio de uma série de comportamentos exploratórios, o cérebro testa continuamente seu próprio ponto de vista diante do fluxo de novas informações que recebe. Mesmo que rotineiramente experimentemos na ponta dos dedos as sensações de textura, forma e temperatura, na realidade elas são cuidadosamente esculpidas pelo cérebro durante a fração de segundo na qual a pele entra em contato com um objeto para transmitir, através do emaranhado de terminações nervosas espalhadas pelo corpo, toda uma gama de dados sensoriais para o sistema nervoso. Se algumas dessas informações ascendentes não confirmam a expectativa criada pelo cérebro, ele reagirá criando um momento de surpresa e desconforto, como o que experimentamos quando abrimos a embalagem de pão em busca de uma fatia crocante e deparamos com uma massa amolecida que nos causa repulsa. O mesmo processo comparativo ocorre durante nossa refinada inspeção visual, auditiva, gustativa e olfativa do mundo que nos rodeia. Todos esses processos indubitavelmente humanos brotam da mesma nascente, vastas tempestades elétricas cerebrais a que costumamos nos referir, de maneira quase distraída e casual, como pensamentos.