

A CÉLULA INVULNERÁVEL

VÍRUS NÃO CONSEGUIRÃO ENTRAR
NOVA LINHAGEM DE CÉLULAS SIN...



Setembro 2019 | www.sciam.com.br

SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL


NASTARI
EDITORES

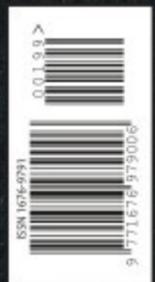
ANO 18 | nº 199
R\$19,90 | 4,90 €



O PRIMEIRO MAPA 3D DA VIA LÁCTEA



O satélite Gaia, que já fez observações de mais de 1,3 bilhão de estrelas, revela a movimentada história de nossa casa no Cosmos



MAIS

COMO SURGE A MENTE

Interações em rede no cérebro permitem
o aparecimento dos pensamentos

QUANDO O BICHO PEGA

Para competir por fêmeas e território, animais usam
estratégias para avaliar se é melhor brigar ou fugir



Receba todos os meses o melhor conteúdo sobre negócios.



DISPONÍVEL NAS PLATAFORMAS





ASTRONOMIA

26 O primeiro mapa 3D da Via Láctea

O telescópio espacial Gaia mapeou, com precisão inédita, 1,3 bilhão de estrelas da galáxia. Os resultados estão mudando a forma como vemos e compreendemos nossa vizinhança cósmica. *Carme Jordà e Eduard Masana*

NEUROCIÊNCIA

36 Como a matéria produz a mente

Uma nova disciplina, a neurociência de sistemas, está mostrando como a mente pode emergir a partir de uma interação refinada entre diferentes áreas do cérebro. *Max Bertolero e Danielle S. Bassett*

BIOLOGIA

44 A célula invulnerável

Biólogos estão construindo um organismo capaz de repelir qualquer

vírus existente no planeta. O próximo passo pode ser a construção de células humanas impenetráveis. *Rowan Jacobsen*

CONSERVAÇÃO

52 Promessas quebradas

A gigante de mineração Rio Tinto quebrou uma alardeada promessa pública de melhorar a ecologia de seus campos de extração de ilmenita em Madagascar em cooperação com cientistas conservacionistas. Mas então seus negócios começaram a enfrentar dificuldades. *Rowan Moore e Gerety*

COMPORTAMENTO ANIMAL

60 Lutar ou fugir

Novas pesquisas questionam uma das mais arraigadas ideias sobre o comportamento animal: a de que todos têm a capacidade de avaliar o poder de luta de um adversário. *Gareth Arnott e Robert W. Elwood*



CAPA

No final de 2013, a Agência Espacial Europeia lançou o satélite Gaia, um telescópio espacial que estuda as estrelas da Via Láctea. Em 2018, a partir dos dados do Gaia, foi lançado o catálogo de estrelas mais completo e preciso da história.



08



10



22

5 Carta do editor

FÓRUM

7 Um plano climático que parece doido

É uma boa ideia converter o metano, um potente gás do efeito estufa, em CO₂. *Rob Jackson e Pep Canadell*

CIÊNCIA EM PAUTA

8 Pesquisas sobre armas precisam de mais apoio

Nova lei promete milhões para estudos, e verba deve ser usada com critério. *Pelos editores*

9 Memória

10 Avanços

• Tubarões assustadiços • Ventilação facilitada • Evidências restritivas • Riso amigável • O tempestuoso clima espacial • O ônus da denúncia • Luzes de alerta • O olho do papamoscas • Vibrações magnéticas

DESAFIOS DO COSMOS E CÉU DO MÊS

18 Os pequenos frascos do nosso futuro espacial

Nova geração de missões combina tamanho reduzido, custo menor e alta tecnologia. *Salvador Nogueira*

CIÊNCIA DA SAÚDE

22 Se o bebê comer amendoim...

Oferecer alimentos alergênicos a crianças pode ser a chave para evitar alergias. *Claudia Wallis*

A INTERSEÇÃO

23 Ensinar crianças a programar?

Essa não é necessariamente uma boa ideia. *Zeynep Tufekci*

VENTURE

24 A grande desaceleração

As grandes rupturas tecnológicas são mais raras e estão demorando mais. *Wade Roush*

OCEANOS

25 EIA e RIMA em prosa e verso

De meras siglas ao silogismo. *Alexander Turra*

CIÊNCIA EM GRÁFICO

66 A obesidade abrevia vidas?

Confusão na interpretação de dados pode reforçar percepções tendenciosas. *Alberto Cairo*



Pablo Nogueira é editor da *Scientific American Brasil*.

A longa estrada para a consciência

Ano passado, a revista *Nature* apresentou um relatório especial elencando algumas das principais questões em aberto na ciência, que os leitores de *Scientific American Brasil* puderam conferir em nossa edição de agosto. Entre os seis temas selecionados pelos editores estavam a explicação para a matéria escura, a origem da vida, a natureza do espaço-tempo e um que me fascina pessoalmente: a natureza da consciência — que, alias, é presença obrigatória em todas as listagens deste tipo.

Desde que vim trabalhar como editor em *Scientific American Brasil*, há pouco mais de três anos, já publicamos alguns artigos sobre a pesquisa neste campo. Por isso, é com alegria que posso dizer que este mês estamos trazendo um dos mais interessantes que vi passarem por aqui. O título é ambicioso: “Como a matéria produz a consciência”.

Nesse artigo, os autores Danielle Bassett e Max Bertolero apresentam as instigantes contribuições que têm sido feitas nos últimos anos para o estudo da consciência a partir da pesquisa com redes cerebrais.

Frequentemente ouvimos falar que o cérebro possui áreas ligadas à fala, ao processamento visual, às emoções, ao autocontrole etc. Na linguagem da neurociência de redes, se diz que o cérebro está organizado em módulos. Os módulos estão conectados fisicamente uns aos outros formando redes. É a interação entre módulos que nos permite executar inúmeras tarefas. No limite, todo o cérebro passa a ser compreendido como uma rede única e integrada, que abrange cerca de 100 bilhões de unidades individuais articuladas em pelo menos 100 trilhões de pontos de conexão.

Estudos com centenas de sujeitos mostram que as estruturas de conexões entre os módulos são individuais. Isto é, cada indivíduo tem uma espécie de impressão digital no modo como seu cérebro está conectado. Esta conexão, sugerem os pesquisadores, é a base física que fundamenta a atividade cerebral que resulta no funcionamento mental e que, em última instância, faz com que eu seja eu, e você, caro leitor (ou leitora), seja você.

Por outro lado, estudos mostram que problemas no funcio-

namento das redes afetariam vários processos mentais, ocasionando males psíquicos como depressão, demência e esquizofrenia.

Conhecendo melhor o funcionamento das redes, talvez possamos encontrar maneiras de estimulá-las nos pontos certos e assim tratar diversos desses males. Mas, para além das aplicações clínicas, tais estudos são um passo na direção de entendermos, efetivamente, como o cérebro produz a mente.

Para quem tem o coração nas estrelas, a capa deste mês traz as descobertas sobre a Via Láctea que estão sendo feitas a parties do telescópio especial Gaia. Esta ambiciosa missão espacial coleta dados de 70 milhões de estrelas por dia, que serviram de base para um novo catálogo estelar, divulgado ano passado, com informações sobre mais de 1,3 bilhão de objetos.

Entre as muitas novidades que o Gaia está revelando, destaca-se a constatação de que algumas estrelas da Via Láctea não surgiram aqui: foram capturadas por uma colisão com uma outra galáxia menor. Também vale apontar a descoberta de um tipo de estrela, as anãs-brancas com massa estimada em 0,8 da massa solar, cuja existência não pode ser explicada pelos nossos modelos atuais de formação e evolução estelar.

Por fim, gostaria de mencionar um e-mail que recebi de um atento e antigo leitor nosso, o geólogo Argemiro Garcia. Ele escreveu para apontar que, da forma como escrevi no editorial da edição de agosto, talvez não fique claro que a passagem entre o pré-cambriano e o cambriano é assinalada justamente pelo aparecimento dos fósseis que identificam a chamada explosão cambriana. Ou seja, eles são o elemento que marca o fim de um período e o começo do outro. Fica aqui o registro.

Também é uma boa oportunidade para ressaltar aos leitores que suas mensagens, sejam para elogiar, criticar ou simplesmente manifestar suas opiniões, são sempre bem-vindas.

Esta edição também apresenta artigos e textos abordando a busca da célula à prova de vírus, as dinâmicas ocultas nas lutas entre animais, os desafios da mineração sustentável nas selvas de Madagascar e muito mais. Divirta-se! ■

ALGUNS COLABORADORES

Carme Jordi é pesquisadora do Instituto de Ciências do Cosmos na Universidade de Barcelona e do Instituto de Estudos Espaciais da Cataluña. Ela participou da colaboração Hipparcos e atualmente trabalha no projeto Gaia. Ela é membro da Equipe Científica da missão Gaia, órgão assessor da ESA para a missão.

Eduard Masana é pesquisador do Instituto de Ciências do Cosmos da Cataluña e na missão Gaia é responsável pelo grupo de simulações.

Danielle S. Bassett é professora associada no departamento de bioengenharia da Universidade da Pensilvânia, onde estuda redes em sistemas físicos e biológicos. Em 2014, ela se tornou uma MacArthur Fellow.

Max Bertolero é bolsista de pós-doutorado no Grupo de Sistemas Complexos de Bassett. Ele recebeu um doutorado em sistemas de neurociência pela Universidade da Califórnia, Berkeley, e licenciaturas em filosofia e psicologia pela Universidade Columbia.

O jornalista **Rowan Jacobsen** escreveu a matéria “As flores-fantasma”, sobre trazer genes extintos de volta dos

mortos, publicada na edição nº 193, de março de 2019.

Rowan Moore Gerety é repórter e produtor de rádio na cidade de Nova York e autor de *Go Tell the Crocodiles: Chasing Prosperity in Mozambique* (The New Press, 2018). Sua viagem de reportagem para esta história foi paga com uma subvenção da plataforma de notícias de ciência conservacionista e ambiental Mongabay.

Gareth Arnott é palestrante sênior de comportamento e bem-estar animal na Queen's University de Belfast, na Irlanda do Norte. Ele foca sua pesquisa em comportamento animal em confrontos e bem-estar animal.

Robert W. Elwood é professor emérito de comportamento animal na Queen's University de Belfast e ex-presidente da Associação para o Estudo do Comportamento Animal.

DIRETOR Alfredo Nastari

ANO 18 - SETEMBRO DE 2019
ISSN 1676979-1

EDITOR Pablo Nogueira - pablo@nastarieditores.com.br

EDITOR DE ARTE Cleber Estevam

COLABORADORES Maria Stella Valli (revisão);

Aracy Mendes da Costa, Laura Knapp, Regina Cardeal, Suzana Schindler (tradução);

PROJETOS ESPECIAIS

DIRETOR Almir Lopes

almir@nastarieditores.com.br

SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL é uma publicação mensal de Nastari Editores sob licença de Scientific American, Inc.

SCIENTIFIC AMERICAN INTERNATIONAL

EDITOR IN CHIEF: Mariette DiChristina

CREATIVE DIRECTOR: Michael Mrak

MANAGING EDITOR: Curtis Brainard

COPY DIRECTOR: Maria Christina Keller

CHIEF EDITORS: Dean Visser, Michael D. Lemonick, Seth Fletcher,

SENIOR EDITORS: Mark Fischetti, Josh Fischman, Clara Moskowitz, Kate Wong,

Madhusree Mukerjee, Jen Schwartz, Kate Wong, Gary Stix

PRESIDENT: Dean Sanderson

EXECUTIVE VICE-PRESIDENT: Michael Florek

SCIENTIFIC AMERICAN ON-LINE

Visite nosso site e participe de nossas redes sociais digitais.

www.sciam.com.br

www.facebook.com/sciambrasil

www.twitter.com/sciambrasil

REDAÇÃO

Comentários sobre o conteúdo editorial, sugestões, críticas às matérias e releases.

pablo@nastarieditores.com.br

tel.: 11 997124566

NASTARI EDITORES

Rua Doná Maria Dúlce Nogueira Garcês, 59

CEP 05242-070, São Paulo - SP

(11) 99712-4566

Distribuição nacional: DINAP S.A.

Rua Kenkiti Shimomoto, 1678.

CENTRAL DE ATENDIMENTO AO LEITOR

Para informações sobre sua assinatura, mudança de endereço, renovação, reimpressão de boleto, solicitação de reenvio de exemplares e outros serviços São Paulo (11) 3039-5666

De segunda a sexta das 8h30 às 18h,

atendimento@editorasegmento.com.br

www.editorasegmento.com.br

Novas assinaturas podem ser solicitadas pelo site www.lojasegmento.com.br ou pela

CENTRAL DE ATENDIMENTO AO LEITOR

Números atrasados podem ser solicitados à **CENTRAL DE ATENDIMENTO AO LEITOR** pelo

e-mail atendimento@loja@editorasegmento.com.br ou pelo site www.lojasegmento.com.br

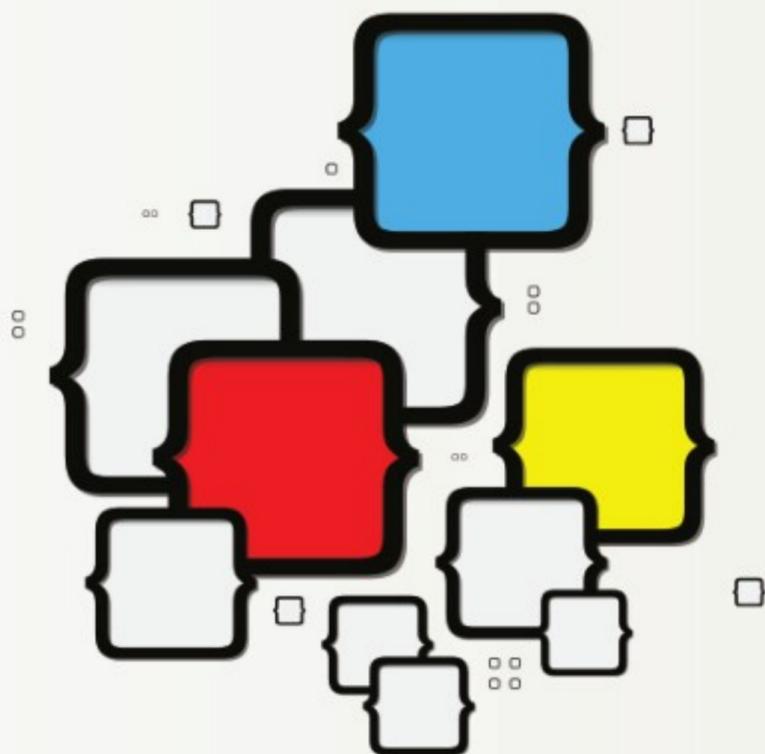


**Conteúdo
de qualidade
seja qual for
o assunto.**

Na **Loja Segmento** você encontra
informação sobre os mais variados
assuntos em revistas, livros, DVDs,
eventos e cursos.

Acesse e confira.

GRUPO BR



loja segmento

www.lojasegmento.com.br



Rob Jackson é chefe do departamento de ciência do sistema Terra da Universidade Stanford e do Projeto Carbono Global.



Pep Canadell é cientista da CSIRO na Austrália e diretor-executivo do Projeto Carbono Global.

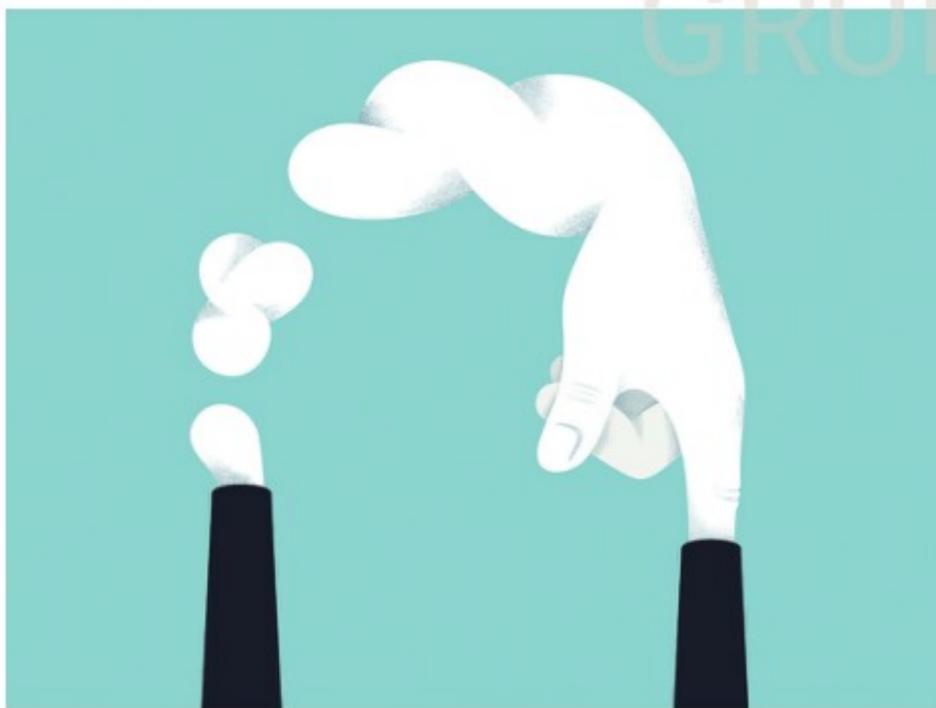
Um plano climático que parece doido

É uma boa ideia converter o metano, um potente gás do efeito estufa, em CO₂

Rob Jackson e Pep Canadell

A concentração de CO₂ na atmosfera superou 415 partes por milhão em maio. Na última vez que os níveis estiveram tão altos, dois ou três milhões de anos atrás, os oceanos subiram dezenas de metros, algo que provavelmente acontecerá de novo quando os gelos da Terra derreterem nos próximos mil anos.

Para trocar más notícias por iniciativa, precisamos de esperança: um plano para restaurar a atmosfera. Pense na Lei de Espécies Ameaçadas: ela não se limita em salvar plantas e animais da extinção, mas os ajuda a se recuperarem. Quando vemos baleias-cinzentas abrindo caminho para o Alasca todas as primaveras, ursos-pardos caminhando em Yellowstone, águias-de-cabeça-branca e falcões-peregrinos em voo ascendente esta-



mos celebrando um planeta restaurado. Nosso objetivo para a atmosfera deve ser o mesmo.

Como líderes do Projeto Carbono Global, passamos nossas carreiras trabalhando para reduzir a poluição dos gases do efeito estufa. Hoje apresentamos essa que, à primeira vista, pode parecer uma proposta incoerente: queremos aumentar as emissões de CO₂ temporariamente para limpar a atmosfera de um gás causador do efeito estufa muito mais poderoso. Acompanhe nosso raciocínio.

Não que aumentar o CO₂ seja em si algo bom. O gás que nos preocupa é o metano, que sai de poços e oleodutos, borbulha da matéria orgânica decomposta, emerge do sistema digestivo do gado e de seu estrume e de outras fontes. A boa notícia é que o metano fica na atmosfera bem menos tempo que o CO₂. A má notícia é que o metano é mais eficiente para aprisionar o calor — mais de 80 vezes mais, nos primeiros 20 anos após ser liberado, o que o torna um problema maior do que o carbono.

Queremos remover o metano do ar e depois usar um material poroso chamado zeólito para transformá-lo em CO₂. Zeólitos podem reter cobre, ferro e outros metais que podem atuar como catalisadores para substituir os quatro átomos de hidrogênio do metano por dois de oxigênio. Como a molécula de metano detém mais energia do que o CO₂, em geral uma vez iniciada a reação é concluída. Além disso, ao liberar o CO₂ de volta ao ar em vez de capturá-lo, o processo torna-se mais barato e prolonga a vida dos zeólitos.

Vários pesquisadores estão estudando os zeólitos e outros materiais para transformar metano em metanol, um insumo valioso para a indústria química. Produzir metanol está a meio caminho da reação que buscamos, atrelando um átomo de oxigênio a cada molécula de metano. Ninguém parece ter considerado terminar o processo fazendo CO₂ porque o CO₂ não é valioso como o metanol. Devemos considerar isso agora.

Outra surpresa acerca de nossa proposta é que é possível restaurar a atmosfera ao remover “apenas” três bilhões de toneladas métricas de metano. Fazer isso geraria o equivalente a uns poucos meses das emissões industriais de CO₂, mas eliminaria até um sexto do aquecimento total. Esse é um bom resultado por qualquer medida.

O que propomos não é de fácil execução. O metano é raro: embora a atmosfera hoje detenha mais de 400 moléculas de CO₂ para cada milhão de moléculas de ar, o metano responde por apenas cerca de duas por milhão. Isso torna mais difícil retirá-lo do que impedi-lo de entrar na atmosfera. Também precisaremos que outras coisas funcionem. Para incentivar financeiramente a atuação de companhias, governos e pessoas, será preciso um preço sobre o carbono ou uma determinação política para pagar pela remoção do metano. Também precisamos de pesquisas sobre os grandes parques que serão necessários para capturar metano do ar. E, evidentemente, precisamos limitar inteiramente emissões por vazamentos, ou teremos de seguir indefinidamente removendo metano da atmosfera.

Conseguir restaurar todos os gases da atmosfera a níveis pré-industriais pode parecer improvável hoje, mas acreditamos que vai acontecer. Tal objetivo é uma referência positiva para mudanças, num momento em que iniciativas climáticas são extremamente necessárias. Estabilizar o aquecimento global em 1,5°C ou 2°C não basta. Precisamos que o planeta se recupere. ■

Pesquisas sobre armas precisam de mais apoio

Nova lei promete milhões para estudos, e verba deve ser usada com critério

Pelos editores

Quando balas cortaram a noite de St. Louis num domingo de junho, atingiram duas crianças. Mataram Kenndei Powell, de três anos, e feriram seriamente outra garotinha, de seis. A polícia não foi capaz de identificar imediatamente o atirador, e Powell somou-se ao saldo de 36 mil pessoas mortas por armas todos os anos nos EUA, em média. Outras 100 mil são feridas.

Pior, as fatalidades estão crescendo, uma tendência que começou em 2015 de acordo com os Centros para Controle e Prevenção de Doenças (CDC). Embora os massacres dominem as manchetes, pessoas como as crianças de St. Louis, abatidas individualmente, em duplas ou trios, são a maior parte das vítimas.

Armas são inquestionavelmente um perigo neste país, onde cerca de 393 milhões delas estão em posse de civis, de longe a maior taxa de posse privada de armas no mundo.

Esse tremendo impacto destrutivo faz da violência armada um enorme problema de saúde pública. Mas, ao contrário de outras ameaças à saúde, há poucas ideias sobre quais estratégias de prevenção podem ser mais eficazes porque quase não são feitas pesquisas em grande escala sobre o problema.

Isso pode mudar ainda este ano. Em um projeto de lei de alocação de recursos, a Câmara dos Deputados dos EUA incluiu US\$ 50 milhões para tais estudos pelo CDC e pelos Institutos Nacionais de Saúde — a primeira vez em décadas que tal apoio foi concedido. Se o Senado dos EUA concordar e a medida se tornar lei, os pesquisadores precisarão agarrar esta oportunidade.

O Congresso criou essa lacuna na pesquisa, então nada mais justo que a repare. Em 1996, depois que uma série de estudos ligou a posse de armas ao aumento de violência e crime e originou uma campanha antipesquisa por parte da Associação Nacional de Rifles da América, os legisladores inseriram um trecho no texto da dotação orçamentária operacional do CDC que dizia que nenhum dinheiro poderia ser usado para “promover o controle de armas”. O Congresso também zerou o orçamento da agência para pesquisas ligadas a armas de fogo. A mensagem foi clara, e a pesquisa com apoio federal nessa área estagnou.



Desde então, foram conduzidos dezenas de estudos em pequena escala — pesquisas comparando os efeitos das leis de licenciamento em um município ou estado com as leis vigentes em outro, por exemplo. Nenhum teve o alcance das grandes investigações que analisam os efeitos de vários tipos de intervenções, em todo o país, envolvendo dezenas de milhares de pessoas. Foi este tipo de ciência que nos mostrou as vantagens de usar cintos de segurança, parar de fumar e reduzir a poluição do ar.

Há muitas áreas em que a nossa ignorância sobre armas de fogo contribui para nos matar, lacunas que agora devemos buscar preencher. Para começar, faltam informações básicas sobre pessoas que cometem violência armada — por exemplo, a porcentagem que era dona legalmente da arma que usou, ou como as armas foram adquiridas. Estudos sobre padrões de posse e aquisição permitiriam avaliar se as atuais leis de licenciamento ou de verificação de antecedentes de fato ajudam a desarmar pessoas perigosas, incluindo quem pensa em suicídio.

Também precisamos saber a melhor forma de combater o comércio ilegal de armas, que é buscado por pessoas que não conseguem obtê-las em uma loja licenciada. O jeito de gerar uma resposta sólida é através de pesquisas que monitoram armas em diversas cidades com regulamentações de variado rigor. Também é necessário avaliar políticas e programas de prevenção de violência com base em dados de indivíduos que participem de grandes estudos randomicamente controlados — o padrão ouro científico para determinar causas e efeitos.

Nenhum aspecto nessas pesquisas infringe o direito à posse de armas de fogo garantido pela Segunda Emenda. Elas promovem, porém, outros direitos inalienáveis estabelecidos na Declaração de Independência — “vida, liberdade e a busca de felicidade” — e ajudam a impedir que eles nos sejam tomados à força sob a mira de uma arma. ■

SETEMBRO

1969 Lua inquieta
“O equipamento sismográfico deixado na Lua pelos astronautas começou a acusar tremores assim que foi instalado. Os primeiros sinais foram produzidos por Armstrong e Aldrin enquanto ambos perambulavam por ali finalizando suas tarefas. A decolagem do módulo lunar *Eagle* também foi registrada claramente. O primeiro conjunto de eventos de alta frequência pareceu misterioso, mas eles foram finalmente atribuídos a vários processos de descargas [do sistema de propulsão]. ‘Não tínhamos ideia de que o módulo seria tamanho monstro vivo e ofegante’, disse Gary Latham, do Observatório Lamont-Doherty, o projetista do sismógrafo. O segundo conjunto de eventos sísmicos evidentemente representa rochas deslizando pelas encostas íngremes das crateras. Acredita-se que a mais reveladora classe de tremores, mais de 20 ao todo, seja genuinamente tectônica, ou seja, fenômenos causados por atividades abaixo da superfície da Lua.”

1919 Mulas transportam os materiais

“O Canal de Irrigação Tieton, em Washington, foi construído em 1907–1909 pelo Serviço de Recuperação de Recursos Hídricos dos EUA, e vem conduzindo água de irrigação pelos últimos oito anos. Depois que quase 3.237,5 hectares foram acrescidos ao distrito de irrigação, foi necessário aumentar a capacidade volumétrica do canal. Para ampliar o duto, um novo segmento superior foi moldado de cada lado, depois da remoção das escoras. O problema pendente foi como levar o material de constru-

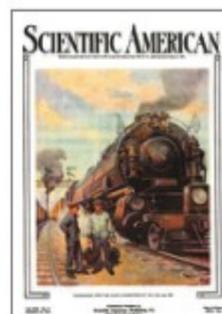
ção aos pontos locais de obras. Foi necessário empregar o próprio canal como uma rodovia para distribuição mais longínqua de material aos operários. Mulas transportaram as cargas de suprimentos numa cadência muito satisfatória.”

Aviação de alta tecnologia

“Durante a guerra, nogueiras-pretas e mognos foram praticamente as únicas espécies usadas para fabricar hélices. Como o suprimento disponível dessas espécies nos EUA não foi suficiente para acompanhar a produção, outras espécies tiveram de substituí-las. O Laboratório de Produtos Florestais dos EUA em Madison, Wisconsin, foi capaz de sugerir várias madeiras nativas que pareciam adequadas para hélices. Hélices de combate de madeira de carvalho-branco serrada em corte tangencial foram colo-



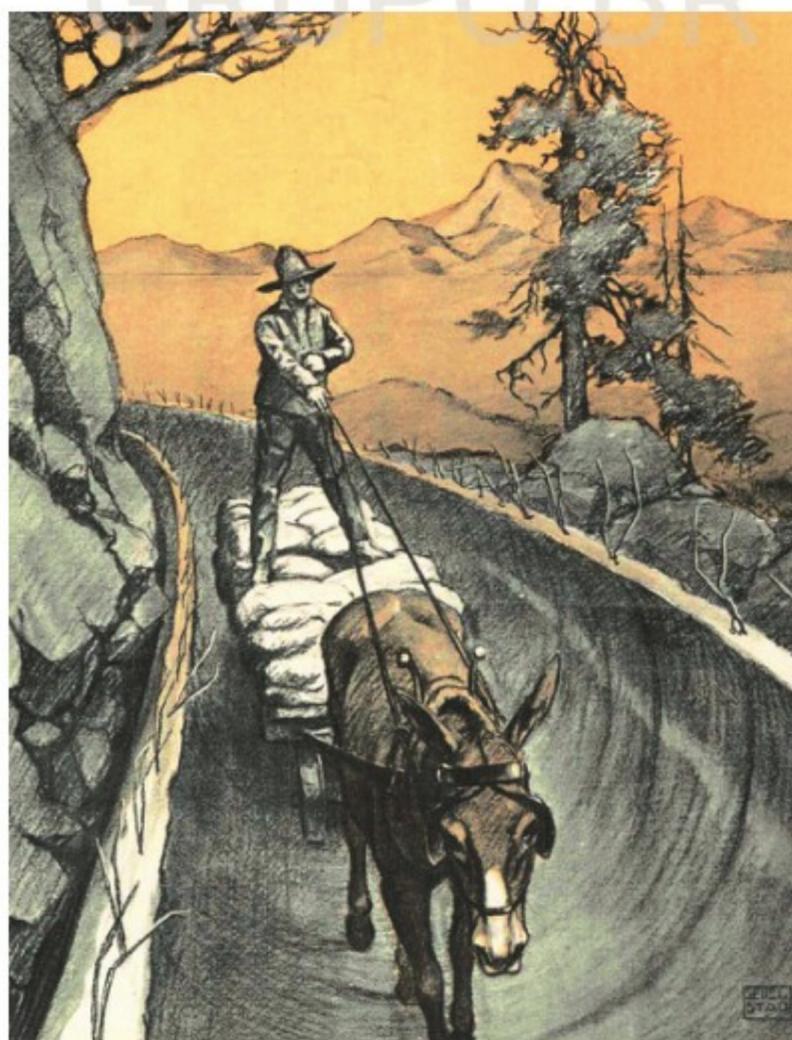
1969



1919



1869



1919: Uma mula transporta suprimentos pelo leito de um antigo canal de irrigação em processo de reforma.

çadas em produção e outras espécies nativas, tais como bétulas e bordos, foram usadas em aviões de treinamento, mas não para hélices de combate. Hoje, quase todas as hélices são montadas com cola animal. Ela não é à prova d’água e, em condições extremas de umidade, as juntas podem se abrir.”

1869 Uma tarifa justa

“Uma invenção foi produzida em Paris para resolver disputas entre usuários de táxis e taxistas, que parece merecer atenção. De acordo com o relato sobre o sistema, o ‘*compteur mécanique*’, ou máquina de calcular, não só calcula a distância percorrida, mas indica também a exata soma de dinheiro devida ao motorista. Dois mostradores são fixados ao encosto do banco do motorista; um contém um relógio, enquanto o outro mostra a distância percorrida.”

Céu encontrado

“Teólogos sempre se esquivaram de fixar, de forma definida, a localização geográfica, digamos assim, do céu. Mas finalmente temos um filósofo ousado o suficiente que promete remover a nossa perplexidade, o médico D. Mortimer. De acordo com sua teoria, ‘existe um vasto globo ou mundo dentro da fotosfera de fogo etéreo, o Sol’. O Dr. Mortimer afirma ter usado uma revelação divina para consubstanciar este vasto globo central, e está plenamente convencido de que ‘o globo (ou mundo) assim discernido é o Império Celestial no qual os justos desta Terra encontram sua futura morada’, e por essa informação tanto as almas céticas quanto as crentes agradecerão para sempre ao sábio médico.”

AVANÇOS



Mesmo os temíveis tubarões-brancos podem evitar uma área quando há orcas por perto.

- Rios interrompidos: como humanos restringem o fluxo da água
- Bebês sabem qual é o som de risadas amigáveis
- Luzes UV mantêm aves afastadas
- Um método mais rápido para imagear o cérebro

COMPORTAMENTO ANIMAL

Tubarões assustadiços

Mesmo grandes tubarões-brancos podem ter algo a temer

Salvador Jorgensen passou mais de 15 anos estudando grandes tubarões-brancos ao largo da costa da Califórnia. O cientista sênior do Aquário da Baía de Monterey e sua equipe afixaram dispositivos de rastreamento em 165 dos predadores que rotineiramente visitam ilhas a oeste de São Francisco e caçam elefantes-marinhos. Mas algo estranho aconteceu certo outono: “Em 2009, 17 tubarões identificados nadavam ao redor das ilhas Farallon, quando partiram abruptamente. Todos os 17, numa questão de horas”, relembra Jorgensen. “Normalmente, eles ficam numa área por semanas ou meses.” Então por que fugiram? Grandes tubarões-brancos são talvez os mais temidos predadores do mar, mas eles também podem ter algo a temer: orcas.

Jorgensen e seus colegas concluíram isso em um recente estudo que combinou os dados de seus dispositivos de rastreamento dos tubarões com um levantamento de quase três décadas da vida selvagem ao redor da ilha Farallon do Sudeste. Grandes tubarões-brancos têm sido vistos deixando essa área rica em alimentos quando as baleias assassinas se aproximam muito — mesmo se as orcas estiverem apenas atravessando aquelas águas por algumas horas. E os tubarões não desapa-

RODRIGO FRISCIONE/Getty Images

recem só um dia ou dois, mas por toda a temporada. Pesquisadores registraram uma queda de quatro a sete vezes no número de elefantes-marinhos mortos por grandes tubarões-brancos nos anos em que estes foram espantados para longe. Os resultados foram publicados em abril em *Scientific Reports*.

Tubarões existem há pelo menos 450 milhões de anos, ao passo que cetáceos (baleias e golfinhos) evoluíram há só 50 milhões de anos. “Tubarões sobrevivem há tanto tempo porque têm seus truques”, diz Jorgensen. “E um deles é saber quando desistir.” O que surpreende particularmente é que pode levar quase um ano antes que os tubarões se sintam à vontade para voltar. Algumas orcas se especializam em comer salmão e outros peixes; outras preferem pinípedes (um grupo que inclui focas e morsas), e um terceiro tipo come tubarões. Pelo menos uma orca foi observada matando e comendo um tubarão-branco adulto nas ilhas Farallon, em 1997. Não está claro se os lamnídeos evitam essas baleias com medo de serem devorados ou porque competem pelas mesmas presas. De qualquer maneira, essa cautela pode



Uma orca (baleia assassina) alimentando-se de arenques.

rem a próxima refeição de uma orca.

Os cientistas não sabem ao certo como os tubarões detectam as baleias. As águas ao redor das ilhas Farallon são turvas e grandes tubarões-brancos têm sido vistos deixando a área mesmo quando suas adversárias ainda estavam além de seu raio de visão ou audição. Jorgensen diz que a explicação mais provável é que os tubarões “farejaram alguma coisa na água que os alertou”. Eles poderiam farejar as próprias orcas ou captar algum sinal químico emitido por outro tubarão estressado após uma

Ecologistas muitas vezes usam a expressão “paisagem do medo” para descrever o modo como predadores influenciam os movimentos e comportamentos de suas presas, gerando uma cascata de impactos no ecossistema. Em um recente experimento em uma ilha, por exemplo, guaxinins que escutavam o ladrar de cães passavam menos tempo forrageando em praias e ao redor de poças de maré. Isso levou a aumentos nas comunidades de peixes, minhocas e caranguejos — o que, por sua vez, resultou numa redução no número de caramujos marinhos — presas fáceis para uma crescente população de caranguejos.

Ainda não se sabe como a aversão dos tubarões às orcas pode afetar ecossistemas marinhos. “Sabemos muito pouco sobre como esses predadores de topo de cadeia interagem uns com os outros no oceano”, diz Jorgensen. Isso se deve em parte ao fato de tubarões-brancos, orcas e elefantes-marinhos ainda estarem se recuperando de um século de abusos e maus-tratos causados por humanos. “Supomos que essas interações existiam no passado, só que basicamente todos esses animais haviam sido eliminados do ecossistema oceânico por mais de 100 anos”, diz Lowe. “Não há razão para crer que as orcas não caçassem focas ou tubarões há uns 300 ou 400 anos, antes que as pessoas realmente começassem a explorar esses animais.”

—Jason G. Goldman

“Tubarões têm seus truques. Um deles é saber quando desistir” —Salvador Jorgensen Cientista sênior do Aquário da Baía de Monterey

simplesmente ser uma prudente estratégia de sobrevivência para os tubarões.

Os “grandes brancos” do Pacífico oriental têm alternativas. “Existem muito mais habitats de alimentação para eles porque os viveiros de pinípedes estão se expandindo graças a esforços conservacionistas”, diz Chris Lowe, da Universidade Estadual da Califórnia, não envolvido no novo estudo. A atitude dos tubarões de desistir de se alimentar nas ilhas Farallon sugere que ir para outro lugar é preferível a ficar e correr o risco de se torna-

rusga com uma delas, diz ele. Tal ideia tem alguma sustentação: Jorgensen e seus colegas monitoraram os movimentos de um grupo de grandes tubarões-brancos que estavam a centenas de quilômetros das ilhas Farallon quando orcas lá chegaram. Em algum momento não especificado depois que elas vieram e se foram, os tubarões apareceram. “Mas eles deram uma leve investigada e foram embora quase imediatamente”, diz ele. Talvez, de alguma forma, tenham detectado que as orcas estavam — ou tinham recentemente estado — na área.

DO NOTICIÁRIO

Notas rápidas

Tanya Lewis

CANADA

Fósseis de fungos descobertos em rochas primitivas no Ártico canadense foram submetidos à datação radioativa e sua idade foi determinada entre 900 milhões e um bilhão de anos. Anteriormente, os mais antigos fósseis conhecidos de fungos remontavam a menos de 500 milhões de anos.

CHINA

Cientistas revelaram que um diminuto dinossauro, com asas coriáceas e membranosas como as de morcegos, originalmente achado em 2017 na província de Liaoning, no nordeste do país, viveu há 163 milhões de anos. Acredita-se que a criatura, batizada *Ambopteryx longibrachium*, se movia aos pulos por galhos, mas voava planando de árvore em árvore. O achado reformulou a maneira como cientistas entendiam a evolução do voo.

EUA

Washington tornou-se o primeiro estado dos EUA, e provavelmente do mundo, a permitir que corpos humanos sejam “compostados”. O processo, que transforma um organismo em solo ao longo de várias semanas, é visto por alguns como uma alternativa mais ecológica à cremação ou ao sepultamento.

BOTSUANA

O governo do país suspendeu uma proibição de cinco anos à caça esportiva de elefantes, depois que um comitê constatou “um impacto negativo da medida nos meios de subsistência de lavradores”. Botsuana abriga mais de 130 mil paquidermes, cerca de 30% dos elefantes-da-savana remanescentes na África. Conservacionistas reagiram com indignação e preocupação à decisão.

OCEANO ÍNDICO

Um mapeamento do leito marinho perto da ilha de Mayotte, no arquipélago das Comores, entre a África continental e Madagascar, revelou a maior erupção vulcânica subaquática jamais registrada. A atividade começou em novembro passado e criou uma enorme montanha em apenas seis meses, dizem os cientistas.

AUSTRÁLIA

Numa decisão que alguns especialistas veem como um revés para medidas contra a mudança climática, australianos votaram a favor de manter no poder o primeiro-ministro Scott Morrison e sua coalizão de direita entre o partido Liberal e o Nacional. O partido Trabalhista, de oposição, havia prometido que, se eleito, reduziria as emissões de gases de efeito estufa em 45% dos níveis de 2005 até 2030.



TECNOLOGIA DA SAÚDE

Ventilação facilitada

Dispositivo que automatiza balões respiratórios pode salvar vidas

Quando alguém enfrenta dificuldades sérias para respirar, os socorristas muitas vezes usam uma máscara munida de um balão, que deve ser comprimido manualmente para bombear ar para os pulmões até que o paciente seja colocado em um ventilador pulmonar mecânico.

Em países desenvolvidos, este ventilador manual, composto de um balão manual, válvula e máscara, geralmente é uma medida temporária. Mas, em lugares com pouco pessoal médico e poucos ventiladores, “cabe ao parente manter os membros de sua família vivos” apertando o balão por períodos longos, diz Rohith Malya, do Hospital Cristão do Rio Kwai, na Tailândia.



Dispositivo faz bombeamento automático

Ele diz que pessoas doentes morrem porque seus familiares estão exaustos demais para bombear. Agora, ele formou uma parceria com uma equipe de estudantes de design da Universidade de Rice para criar um dispositivo que comprime automaticamente o balão.

A equipe espera que a máquina de US\$ 117, chamada AutoBVM (abreviação, em inglês, para máscara automatizada de válvula-balão), possa ser usada em locais de desastres e transportes emergenciais até que um ventilador se torne disponível ou até como uma alternativa a esses aparelhos. A AutoB-

VM — que se conecta a uma simples tomada padrão de parede — consiste em dois “compressores” triangulares de plástico conectados a uma estrutura de engrenagens e acionados por um motor. Criar uma versão alimentada por bateria é uma prioridade para futuros trabalhos, diz Carolina De Santiago, bioengenheira na equipe da Rice.

Um protótipo da AutoBVM funcionou por 11 horas em testes laboratoriais antes de superaquecer, em configurações usadas para pacientes adultos, diz De Santiago. O equipamento ainda não foi testado em pessoas. Malya planeja criar outra versão com um motor diferente, para ampliar seu tempo de funcionamento. Ele também espera aprimorar os sistemas de vedação e filtragem para adequá-lo a situações de desastres e ambientes de campo. Malya planeja testá-lo em pacientes no Hospital Cristão do Rio Kwai em 2020. —Rachel Crowell

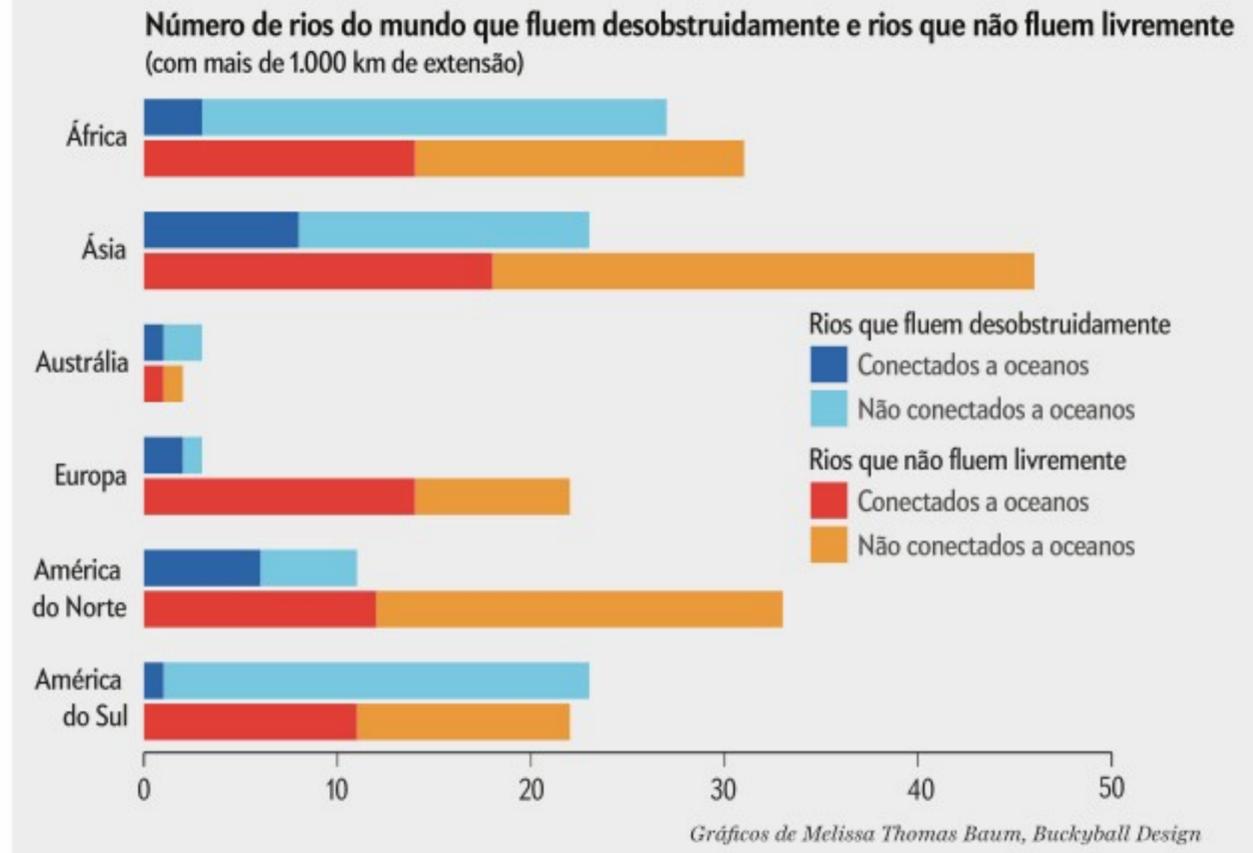
HIDROLOGIA

Evidências restritivas

Fluxo da maior parte dos rios mais longos enfrenta obstáculos

Rios servem de artérias terrestres para nutrientes, sedimentos e água doce que sustentam ecossistemas diversificados e saudáveis. Eles também oferecem serviços vitais às pessoas, fertilizando terras agrícolas, alimentando reservas pesqueiras e servindo como vias de transporte. Mas, ao buscar facilitar o tráfego de barcos, combater inundações, e extrair água para uso e irrigação, temos cada vez mais restringido e fraturado as vias aquáticas. “Tentamos domar os rios o máximo que podemos”, diz Günther Grill, hidrólogo na Universidade McGill.

Em uma pesquisa publicada em maio na *Nature*, Grill e seus colegas analisaram os obstáculos impostos a 12 milhões de quilômetros de rios no planeta. A equipe criou um índice que avalia seis aspectos da conectividade — de fragmentação física (por represamento, por exemplo) à regulação de fluxo (por barragens ou diques) ao consu-



mo de água, ao longo das várias dimensões do curso de um caudal. Rios cujos índices atendem a certo limiar foram considerados como de fluxo livre.

A pesquisa descobriu que entre os fluxos com mais de mil quilômetros de comprimento, que tendem a ser alguns dos mais importantes para atividades humanas, só 37% estão desimpedidos ao longo de toda a extensão (gráfico). A maioria está em regiões onde a presença humana é mínima, incluindo as bacias

do Amazonas e do Congo, e o Ártico. Já a maioria dos rios com menos de 100 km pareciam fluir livremente, mas há menos dados sobre eles, e algumas barreiras podem ter passado despercebidas. Só 23% dos rios mais longos que se conectam a oceanos são de fato ininterruptos. No caso dos demais 67%, seus estuários e deltas estão sendo privados de nutrientes essenciais, e o principal vilão são os 2,8 milhões de barragens do mundo.

A nova pesquisa poderia ajudar a

FONTE: "MAPPING THE WORLD'S FREE-FLOWING RIVERS," G. GRILL ET AL., EM NATURE, VOL. 569, 9 DE MAIO DE 2019

PSICOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO

Riso amigável

Aos cinco meses já distinguimos risadas entre amigos ou estranhos

A maioria das pessoas é capaz de compartilhar uma risada com um total estranho. Mas há diferenças sutis em nossas gargalhadas com amigos.

Greg Bryant, da Universidade da Califórnia, e seus colegas haviam descoberto antes que adultos de 24 sociedades ao redor do mundo são capazes de distinguir as risadas entre amigos das que ocorrem entre estranhos. Os resultados sugeriram que essa capacidade pode ser universalmente usada para interpretar

interações sociais. Isso levou os pesquisadores a ponderar se bebês conseguem distinguir tais risadas, também.

Bryant e sua colega Athena Vouloumanos, da Universidade de Nova York, tocaram gravações de risadas conjuntas entre pares de amigos ou desconhecidos para 24 bebês de cinco meses. Os pequenos escutaram mais longamente as risadas entre amigos, sugerindo que sabiam distinguir entre os dois tipos de risos, diz o estudo publicado em março em *Scientific Reports*.

Os pesquisadores então mostraram



aos nenês vídeos curtos de duas pessoas agindo como amigos ou como desconhecidos, e combinaram estes randomicamente com as gravações de áudio. Os bebês olharam por mais tempo fixamente para cli-

pes com uma gravação incongruente — por exemplo, viam amigos interagindo, mas escutavam estranhos rindo.

“Algo na risada compartilhada fornece informações até para bebês sobre a relação social entre os indivíduos”, diz Bryant. Ainda não se sabe exatamente quais componentes do riso os bebês

AARTI KALYANI/Getty Images

Causas de conectividade fluvial perdida

Retenção sedimentar Uso de água Urbanização



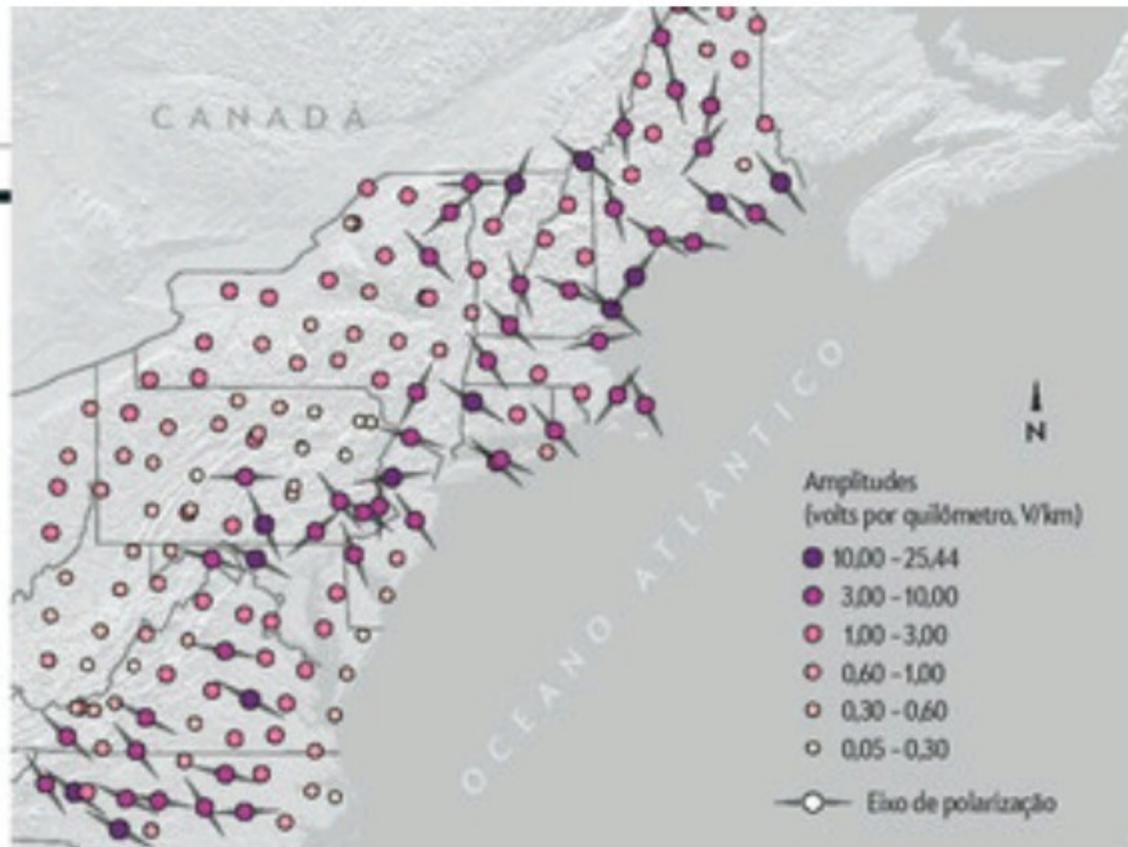
As principais causas de interrupções fluviais (conectividade perdida) são fragmentações por obstáculos, tais como represas; mudanças aplicadas ao vigor e ao timing do fluxo da água, por exemplo, barragens ou diques; e retenção sedimentar atrás de estruturas como barragens.

entender como propostas de barragens, diques e outros projetos do gênero impactam a conectividade de um rio. Ela também pode contribuir para nossa abordagem dos rios à medida que o clima muda, diz Anne Jefferson, da Universidade Estadual de Kent, não envolvida no estudo. Ela diz que a infraestrutura atual "foi construída para um clima em que já não vivemos e do qual nos afastamos cada vez mais". —Andrea Thompson

detectam, mas trabalhos prévios da equipe de Bryant fornecem algumas dicas. Risadas entre amigos tendem a incluir maiores oscilações em tom e intensidade, por exemplo.

Tais características também distinguem risadas espontâneas de outras fingidas. Muitos cientistas acham que o riso espontâneo provavelmente evoluiu de vocalizações de brincadeiras, que também são produzidas por primatas não humanos, roedores e outros mamíferos. O riso fingido possivelmente surgiu mais tarde em humanos, junto com a capacidade de produzir uma ampla gama de sons da fala. Os pesquisadores sugerem que podemos ser sensíveis ao riso espontâneo durante a fase de desenvolvimento devido à sua longa história evolutiva.

—Diana Kwon



Tempestades magnéticas induzem fortes e poderosos campos geoeletricos nas rochas subjacentes. A amplitude e direção dos campos (eixo de polarização) podem ajudar a informar companhias de energia elétrica sobre onde uma interferência e danos na rede podem ocorrer.

GEOFÍSICA

O tempestuoso clima espacial

Mapa revela o risco de apagão por tempestade geomagnética

Uma tempestade geomagnética abalou o Quebec em 1989, provocando apagões por toda a província. O fenômeno, uma perturbação no campo magnético da Terra causada pela descarga de partículas carregadas do Sol, criou correntes elétricas que chisparam nas linhas de energia subterrâneas e sobrecarregaram a rede. Agora, uma nova pesquisa sugere que a composição de rochas em regiões específicas poderia influenciar os riscos decorrentes de tais "super-tempestades".

Tempestades geomagnéticas induzem um campo elétrico local no solo, produzindo corrente. O geofísico Jeffrey Love, do Serviço Geológico dos EUA, e seus colegas usaram sensores localizados no nordeste dos EUA para determinar o campo elétrico máximo que tal tempestade poderia criar. Ao combinarem essas medições com dados de tempestades, eles produziram um mapa identificando áreas com uma chance maior de sofrer apagões (gráfico). Os resultados foram publicados em março no site Space Weather.

Eles descobriram que o tipo de

rocha em uma dada área influencia a força e a direção do campo elétrico que uma tempestade geomagnética pode criar. Se a rocha for boa condutora, a corrente resultante flui facilmente através do solo. Mas se for resistiva, a corrente pode viajar através de linhas de alta tensão, possivelmente ameaçando a rede.

Campos maiores que um volt por quilômetro (V/km) podem interferir no funcionamento de uma grade e campos muito mais fortes são capazes de causar blecautes. A equipe descobriu que a área mais perigosa está na Virgínia, onde os campos podem chegar a 25,45 V/km durante intensas tempestades magnéticas. Cidades importantes, incluindo Nova York, Boston e Washington, também podem experimentar campos relativamente fortes. Essas áreas têm rochas metamórficas e rochas ígneas; ambas são eletricamente resistivas. Outras regiões, tais como a dos montes Apalaches do noroeste, têm muitas rochas sedimentares condutivas, que deveriam apresentar riscos ou perigos geoeletricos menores.

—Jonathan O'Callaghan

IGUALDADE DE GÊNEROS

O ônus da denúncia

Mulher ainda sofre retaliação ao denunciar assédio no trabalho

Apesar das conquistas do movimento #MeToo, mulheres ainda hesitam em registrar queixas de assédio sexual associado no trabalho por medo de repercussões. Agora, um estudo sugere que as pessoas podem, de fato, penalizar funcionários do sexo feminino que relataram tais experiências.

Chloe Grace Hart, doutoranda na Universidade Stanford, conduziu um experimento cinco vezes entre o final de 2017 e o início de 2018, envolvendo em cada um deles cerca de 200 pessoas. Hart pediu aos participantes que imaginassem ser o gerente de uma empresa que considerava promover uma assistente de vendas fictícia, chamada Sarah. Cada participante foi designado para um dos cinco grupos. Quatro destes recebeu



ram uma ficha da funcionária que continha informações sobre assédio — sexual ou não sexual — que Sarah havia

experienciado de um colega de trabalho. Cada incidente havia sido autorrelatado ou relatado por um colega. Um quinto grupo recebeu a mesma ficha sem nenhum registro de assédio.

Hart então pediu aos participantes que avaliassem quão inclinados estavam a recomendar Sarah para promoção em uma escala de 1 (“extremamente improvável”) a 7 (“extremamente provável”). Ela descobriu que, em média, os participantes eram 0,37 ponto menos propensos a recomendar Sarah para promoção se ela havia autorrelatado seu assédio sexual, do que se seu/sua colega havia feito a denúncia. Eles também foram 0,16 ponto menos inclinados a recomendá-la quando ela mesma havia autorrelatado um assédio não sexual. Finalmente, os participantes se mostraram 0,11 ponto menos dispostos a indicá-la quando sua ficha de

emprego não fazia menção a qualquer tipo de assédio. O estudo foi publicado on-line em maio em *Gender & Society*.

As conclusões são reforçadas por um relatório de 2018 que analisou 46.210 queixas de discriminação por assédio sexual registradas junto à Comissão de Oportunidades Iguais de Emprego dos EUA e Agências de Práticas de Emprego Justas estaduais. O relatório constatou que 65% das mulheres que registraram tais acusações entre 2012 e 2016 disseram que perderam seus empregos depois de fazerem suas queixas.

Mas a pesquisa achou um aspecto positivo. Os participantes do grupo mais recente foram mais propensos a promover Sarah quando ela autorrelatava um assédio sexual, em comparação com os de seu grupo inicial, o que pode estar ligado à força do movimento #MeToo, diz Hart. “Não creio que o estudo indique que o problema está solucionado”, diz ela. “Mas ele indica que somos capazes de mudar nossas percepções sociais de pessoas em posição de viverem assédio sexual.”

—Agata Boxe

TECNOLOGIA ECOLÓGICA

Luzes de alerta

Iluminação ultravioleta ajuda aves a evitar redes de alta tensão

As atividades humanas estão matando a vida selvagem a taxas sem precedentes. Entre algumas espécies de aves, colisões noturnas com redes de alta tensão estão causando declínios populacionais importantes. Agora surgiu um jeito engenhoso para tornar os cabos mais visíveis aos pássaros, sem que fiquem feios aos olhos humanos.

As diretrizes do setor e do Serviço de Pesca e Vida Selvagem dos EUA recomendam que companhias de energia elétrica marquem suas redes de alta tensão com afixos de plástico para aumentar a visibilidade, mas as aves continuam morrendo. Biólogos relataram que

300 grouse-canadenses pereceram em um único mês em 2009, devido a colisões com linhas devidamente marcadas no Santuário Rowe, em Nebraska, onde os grouse fazem uma escala em sua migração anual na primavera. “Precisamos de novos métodos para proteger não só grandes aves, que correm maior risco de se chocar com redes elétricas, mas também milhões de aves menores”, diz Anne Lacy, da Fundação Internacional de Grouse.

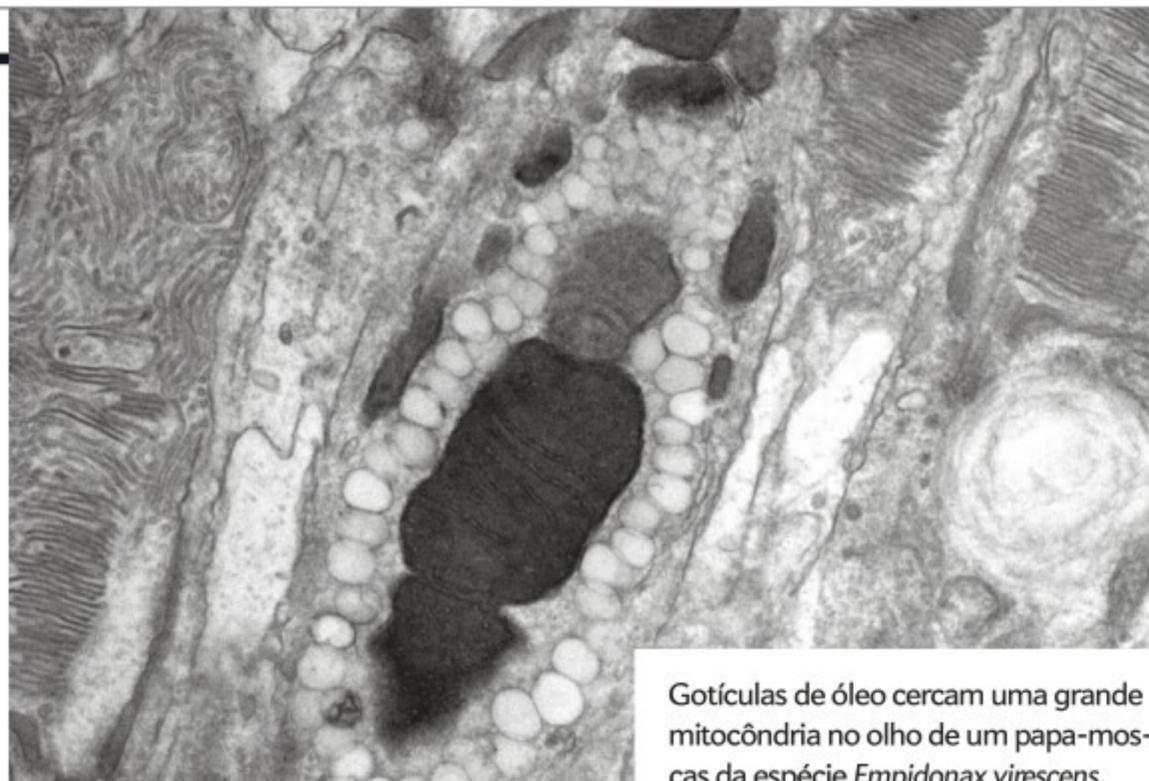
Metade das espécies de aves consegue enxergar luz ultravioleta (UV). James Dwyer, biólogo na empresa de consultoria de energia elétrica EDM International, teve a ideia de usar luz do chamado ultravioleta próximo para iluminar redes elétricas. A equipe de engenheiros da EDM e o Distrito Dawson de Energia Elétrica Pública criaram esses sistemas de luz e os instalaram em uma tor-



re que sustenta uma linha de alta tensão no Santuário Rowe. Ao longo de 38 noites, as colisões de grouse diminuíram em 98% quando as luzes estavam acesas, relataram os pesquisadores em um estudo publicado em maio em *Ornithological Applications*.

Os pesquisadores não observaram impactos negativos em outras espécies. E Dwyer diz ser improvável que aves confundam tal iluminação UV perto do solo com sinais de orientação naturais, como as luzes de estrelas.

—Rachel Berkowitz



Gotículas de óleo cercam uma grande mitocôndria no olho de um papa-moscas da espécie *Empidonax virescens*.

EVOLUÇÃO

O olho do papa-moscas

Estrutura na retina de aves pode ser decisiva para capacidade de rastrear movimento

Em vez de perseguirem as presas em pleno voo, como muitas outras aves, os pequenos papa-moscas de Acádia preferem caçar insetos de emboscada do alto de um poleiro. Pesquisadores descobriram uma estranha estrutura nos olhos dessas aves passeriformes que pode ajudá-las a monitorar o inseto em movimento enquanto elas ficam imóveis.

Luke P. Tyrrell, da Universidade Estadual de Nova York, e seus colegas descobriram que as células sensíveis à luz, ou fotorreceptoras, no centro da retina dos papa-moscas, contêm mitocôndrias extragrandes. Esses componentes (que produzem energia para células) são, cada um, cercados por centenas de gotículas de óleo, formando uma bolha alongada. Cientistas já observaram grandes mitocôndrias nos olhos de peixes-zebra e de tupaia, e os fotorreceptores de muitas aves contêm gotículas de óleo para modificar a luz. Mas biólogos nunca antes haviam observado um aparato óptico como o dos papa-moscas.

A estrutura “é um pouco cho-

cante”, diz Joseph Corbo, da Universidade Washington, não envolvido no estudo. “Não há nada parecido em qualquer espécie que tenha esse formato singular de foguete.”

Os fotorreceptores de algumas outras aves contêm gotículas de óleo, mas normalmente só uma grande, diz Tyrrell. No caso do papa-moscas, “existem centenas ou milhares delas, e elas são ultradiminutas e dispostas concentradamente ao redor dessas mitocôndrias, o que também é muito anormal”, diz ele. Tyrrell postou o estudo no servidor pré-impressão bioRxiv em fevereiro e, desde então, o submeteu a periódicos científicos revisados por pares.

As gotículas de óleo filtram comprimentos de onda mais curtos de luz, e só permitem a passagem dos mais longos (tons de laranja e vermelhos). Os pesquisadores creem que esses comprimentos de onda podem fazer com que certas enzimas nas mitocôndrias produzam mais energia para a célula retinal, algo já visto em camundongos, diz Tyrrell. “Essa energia poderia ser usada para a célula disparar mais vezes por segundo”, explica ele. “É como uma taxa mais alta de quadros numa câmera.” Ele diz que isso pode permitir que o papa-moscas siga de maneira mais eficaz uma presa que se move rápido. Tyrrell agora investiga se aves estreitamente aparentadas com papa-moscas de Acádia têm estruturas similares. —*Jim Daley*

NEUROTECNOLOGIA

Vibrações magnéticas

Novo método de imageamento melhora qualidade de exames de varredura cerebral

A invenção do imageamento por ressonância magnética funcional (fMRI, em inglês), há quase 30 anos, revolucionou a neurociência. A tecnologia é especialmente precisa, mas sua principal limitação é a velocidade; a fMRI mede mudanças no nível de oxigênio do sangue, que levam cerca de seis segundos, muito devagar em comparação com os próprios sinais cerebrais.

Agora, Samuel Patz, da Escola de Medicina de Harvard, e Ralph Sinkus, do King's College de Londres, e seus colegas adaptaram uma tecnologia existente de imageamento de tecidos para superar a limitação de velocidade da fMRI e a testaram em cérebros de camundongos. Conhecido como elastografia funcional por ressonância magnética (fMRE, em inglês), o método envolve enviar vibrações através de um tecido e usar a ressonância magnética para medir suas velocidades. Elas se movem mais rápido através de material mais rígido, produzindo “elastogramas”, ou mapas da rigidez de tecidos, que podem corresponder a uma atividade cerebral. Esta é a primeira vez que a fMRE foi usada para medir tal atividade, dizem os pesquisadores. Os resultados foram publicados em abril em *Science Advances*.

A equipe está atualmente testando o método em humanos. “Já obtivemos dados muito interessantes até agora mostrando que funciona”, diz Patz. “A técnica poderia, basicamente, ajudar pesquisadores a entender e diagnosticar distúrbios cerebrais envolvendo disfunções nos circuitos, tal como a esquizofrenia. “Ela poderia revelar muitas informações que podem ser valiosas para o diagnóstico e a progressão de doenças”, diz Patz. —*Simon Makin*



Salvador Nogueira é jornalista de ciência especializado em astronomia e astronáutica. É autor de oito livros, dentre eles *Rumo ao infinito: Passado e futuro da aventura humana na conquista do espaço* e *Extraterrestres: Onde eles estão e como a ciência tenta encontrá-los*.

Os pequenos frascos do nosso futuro espacial

Nova geração de missões combina tamanho reduzido, custo menor e alta tecnologia

Salvador Nogueira

Um dos aspectos mais interessantes desta nova era do voo espacial é a capacidade de fazer missões incríveis a custo baixo, em espaçonaves do tamanho de uma caixa de sapato, envolvendo testes tecnológicos sofisticados e trajetos interplanetários.

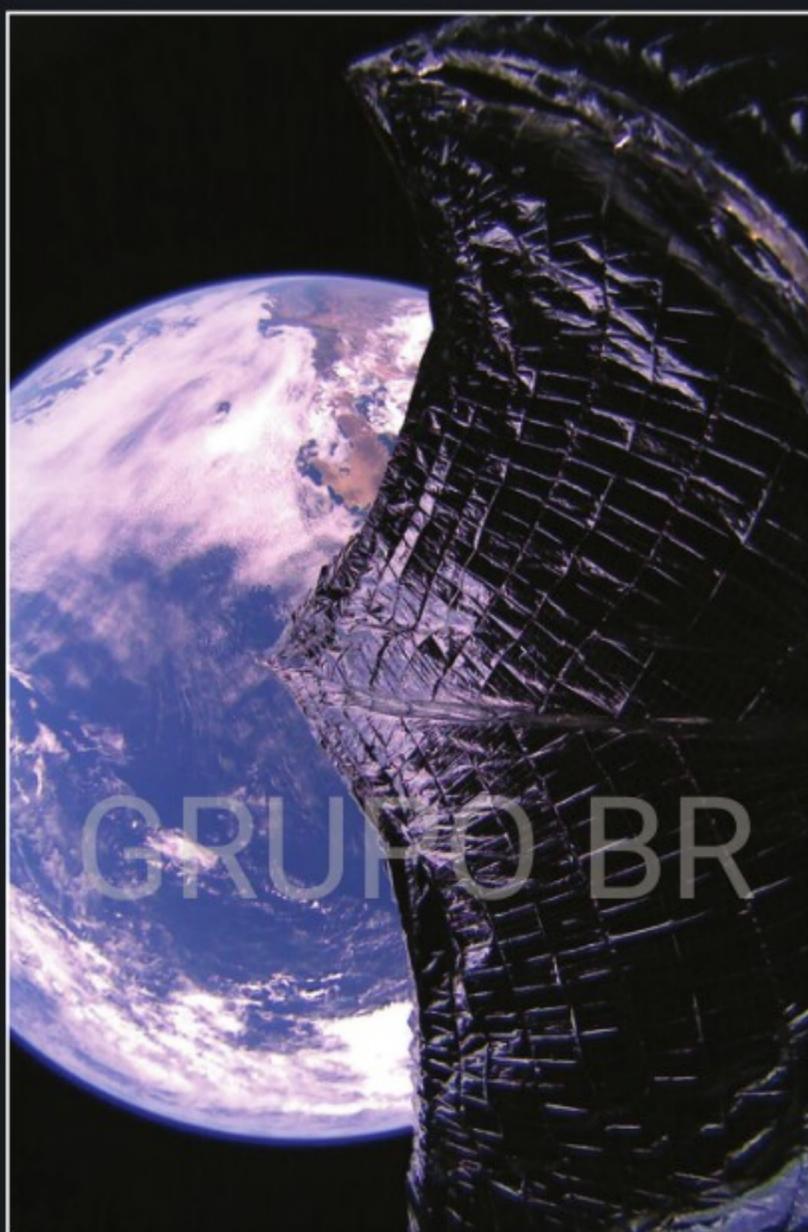
Em 25 de junho, o cubesat LightSail 2 foi uma das muitas cargas úteis que o foguete Falcon Heavy levou ao espaço, partindo do Kennedy Space Center, na Flórida. O interior do pequeno satélite abrigava quatro velas ultrafinas, que foram estendidas uma vez que o veículo foi colocado em órbita e passou pelas checagens iniciais de sistemas.

O LightSail 2 é um veleiro solar. Desenvolvido pela ONG Planetary Society a um custo de US\$ 7 milhões, ele é apenas o segundo veículo do tipo e o primeiro a fazer testes de navegação pelo vento solar em órbita terrestre. A ideia é simples e elegante: a radiação solar bate numa superfície brilhante e leve, e a pequena transferência de energia é suficiente para oferecer uma pequena dose de propulsão.

Então, quando a nave quer ser empurrada pelo vento solar, ela abre as velas na direção do Sol; quando deseja simplesmente voar através da torrente de partículas solares sem ser afetada, assume uma posição perpendicular, reduzindo a um mínimo o impulso fornecido pelo astro-rei.

As velas se abriram um mês depois do lançamento e, ao longo de duas semanas, o LightSail 2 elevou o apogeu de sua órbita em 3,2 km. Pode parecer pouco, mas se trata de uma importante demonstração: estamos falando de propulsão sem uso de combustível. Acredita-se que, num futuro distante, enormes veleiros (talvez impulsionados por lasers de alta potência) possam realizar até mesmo voos interestelares.

Antes da LightSail 2, apenas um veleiro teve chance de fazer



O veleiro solar LightSail 2 navega em órbita da Terra

demonstrações extensas desse tipo: foi o Ikaros, lançado pela agência espacial japonesa, em 2010, na direção de Vênus. Mas era uma nave maior.

Indo além da órbita terrestre, onde a LightSail 2 passará mais um ano antes de reentrar na atmosfera, vimos o fim de julho trazer também o encerramento da missão dos microsatélites chineses Longjiang. Eram dois, lançados em 20 de maio do ano passado, na direção da Lua. Um perdeu contato com a Terra antes mesmo do início da jornada, mas o outro, Longjiang-2, conseguiu entrar em órbita lunar e passou mais de um ano (432 dias) tirando fotos e conduzindo testes por lá, até se espatifar em nosso satélite natural, no dia 31 de julho.

Com modestos 50 cm de comprimento e apenas 47 kg, o microsatélite produziu fotos incríveis da Terra vista da Lua, inclusive durante o eclipse solar de 2 de julho. A espaçonave era chinesa, mas a câmera foi desen-

volvida na Arábia Saudita.

E em tempos recentes a Nasa demonstrou que cubesats também podem se prestar a missões interplanetárias de longa duração. Os pequenos MarCO-1 e 2 acompanharam a sonda InSight desde sua partida da Terra até seu pouso, em 26 de novembro do ano passado. Servindo como satélites de comunicação, facilitaram o acompanhamento de todas as etapas da tensa descida à superfície e enviaram também bonitas fotos de Marte, antes de seguirem adiante e entrarem em uma órbita ao redor do Sol.

São pequenos exemplos de uma grande transformação que está acontecendo hoje na ocupação e na exploração do espaço. Os próximos capítulos prometem ser ainda mais interessantes **SA**

Entre o zênite e o horizonte

Netuno oferece a melhor chance de observação ao entrar em oposição, e o cometa P/2008 Y12 SOHO talvez seja visível até mesmo a olho nu após o poente.

Confira esta impressionante imagem da Nebulosa da Pata do Gato feita por Fernando Oliveira de Menezes. O que mais impressiona é o fato de ela ter sido obtida no céu de São Paulo (SP), através de um refrator TS-Optics 80mm e uma câmera ASI 1600MM, com frames colhidos em H-alpha e em OIII entre abril, maio e junho de 2019.

Neste mês de setembro, as atenções dos amantes da observação celeste estarão divididas entre o horizonte e o zênite.

A principal atração do “topo do céu” é o planeta Netuno, que atinge sua oposição ao Sol no dia 10. Isso significa, na prática, que a Terra se interpõe entre os dois astros, de forma que ficam, do nosso ponto de vista, em lados diametralmente opostos.

É nessa época do ano também que o planeta guarda a máxima proximidade de nós. No caso de Netuno, o oitavo mundo a contar do Sol, a distância é tão grande que faz pouca diferença: são apenas 300 milhões de km a menos num percurso em que ainda restam 4,3 bilhões de km.

A principal vantagem na oposição, contudo, é que o planeta permanece no céu durante toda a noite. Ele nasce quando o Sol se põe e só se põe ao amanhecer. Naturalmente, a melhor hora para observar é quando ele está mais próximo ao zênite, por volta de meia-noite.

Mesmo em sua máxima aproximação, Netuno é distante demais para que possa ser observado a olho nu. Contudo, até lunetas modestas podem observá-lo, a exemplo do que fez Galileu Galilei no século 17. O astrônomo italiano chegou a registrar a presença de Netuno numa carta estelar, mas pensou se tratar de uma estrela. Com isso, Netuno teve de esperar mais de um século até ser de fato descoberto pela humanidade, em 1846.

Caso queira vê-lo durante a oposição, procure-o na constelação de Aquário.

Quanto ao horizonte, no dia 13, Mercúrio e Vênus ficam a

apenas 0,3 grau um do outro, num encontro que acontece na direção do poente. Entretanto, não será fácil de ver, pela proximidade com o Sol. Os dois planetas passam a jogar mais fácil com os observadores na segunda metade do mês – o que nos leva à segunda boa oportunidade na direção do poente: a passagem do cometa P/2008 Y12 SOHO.

Trata-se de um astro de curto período que completa uma volta no carrossel solar a cada 5,4 anos e fará sua máxima aproximação do Sol durante o mês de outubro. Em 30 de setembro, contudo, ele oferece aquela que potencialmente será a melhor chance de vê-lo, ao se colocar com a maior distância aparente do Sol às vésperas do periélio. Os astrônomos esperam que ele atinja magnitude 4,8 – em princípio, ao alcance da vista desarmada, em céus de baixa poluição luminosa.

A proximidade com o poente não facilita, claro, mas deve ser relativamente fácil encontrá-lo com um binóculo, procurando-o no horizonte oeste, logo após o pôr do Sol. (Atenção: não tente usar um binóculo antes que o astro-rei se ponha completamente, para não correr o risco de ferir os olhos.)

Nos dias seguintes, adentrando outubro, o cometa vai ficando ainda mais brilhante, mas também vai se aproximando mais e mais do Sol, o que pode tornar sua observação menos viável.

Duas chuvas de meteoros fracas atingem seu auge durante o mês, os Alfa Aurigíades, no dia 1º, e os Epsilon Perseidas, no dia 10. Não espere grandes espetáculos.

Bons céus a todos! (S.N.) ■

VISIBILIDADE DOS PLANETAS

MERCÚRIO

Visível na segunda metade do mês, ao anoitecer, na direção do pôr do Sol, em Virgem. Em conjunção superior com o Sol em 3. Próximo de Vênus em 13. Em conjunção com a Lua em 29. Próximo do cometa P/2008 Y12 SOHO em 30.

VÊNUS

Visível ao anoitecer em Leão e depois Virgem. Próximo de Mercúrio em 13 e da Lua em 29.

MARTE

Em Leão e depois em Virgem. Muito próximo ao Sol para ser observado. Em conjunção com o Sol em 3. Começa a ser visível ao final do mês, ao nascer do Sol.

JÚPITER

Em Ofiúco, visível na primeira metade da noite a oeste do meridiano. Próximo da Lua em 6.

SATURNO

Em Sagitário, visível durante a primeira metade da noite e começo da madrugada. Próximo da Lua em 8, estacionário em 18.

URANO

Visível em Áries. Começa a ser visto a leste do meridiano partir das 21-22h. Próximo da Lua em 17.

NETUNO

Em Aquário, visível durante toda a noite. Em oposição ao Sol em 10, próximo da Lua em 13.

DESTAQUES DO MÊS

- Máximo da chuva de meteoros Alfa Aurigades
- Marte em conjunção com o Sol
- Mercúrio em Conjunção Superior com o Sol
- Máximo da chuva de meteoros Epsilon Perseidas
- Oposição de Netuno com o Sol
- Início da Primavera no Hemisfério Sul
- Cometa P/2008 Y12 SOHO começa a ser visível na direção do pôr do Sol

2019						
SETEMBRO						
Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

GRUPO BR



CARTA CELESTE PARA O MÊS

Mapa mostra céu visível às 22h00 de 1º de setembro, às 21h00 de 15 de setembro e às 20h00 de 30 de setembro a partir da latitude de 23°27' Sul (Trópico de Capricórnio).



PASSAGEM DO SOL PELAS CONSTELAÇÕES *

- Leão de 11/08/2019 à 17/09/2019

- Virgem de 17/09/2019 à 31/10/2019

(*) O limite das constelações foi estabelecido pela União Astronômica Internacional em 1930, o que permite estabelecer, com grande precisão, o instante de entrada e saída do Sol por cada uma das 13 constelações que são atravessadas pela trajetória anual aparente do Sol, a eclíptica.

DIA	HORA	EVENTO
1	—	Máximo da chuva de meteoros Alfa Aurigíades.
2	04h57	Lua passa a 8,3°N de Spica (Alfa de Virgem).
3	16h07	Marte em conjunção com o Sol (Sol entre a Terra e o planeta).
3	22h27	Mercúrio em conjunção superior com o Sol (Sol entre a Terra e o planeta).
5	14h17	Lua passa a 8,1°N de Antares (alfa de Escorpião).
6	00h11	Lua quarto crescente.
6	04h29	Lua a 2,9°N de Júpiter.
8	09h54	Lua passa a 0,6°N de Saturno. (Ocultação visível na Indonésia e Austrália).
9	08h09	Netuno mais próximo da Terra, 4,33 bilhões de quilômetros.
9	09h15	Máximo brilho de Netuno, 7,8 magnitudes.
10	—	Máximo da chuva de meteoros Epsilon Perseidas.
10	12h55	Netuno em oposição ao Sol.
13	09h40	Lua no apogeu, maior distância com a Terra, 406.331 km. Diâmetro aparente = 29'.
13	13h58	Lua passa a 3,3°S de Netuno.
13	17h56	Melhor ocasião para visualizar o brilho da Terra refletido na face escura da Lua crescente falcada (luz cinérea). O horário refere-se ao ocaso do Sol em São Paulo.
13	18h26	Mercúrio passa a 0,3°S de Vênus.
14	01h34	Lua cheia.
17	15h59	Lua passa a 4,3°S de Urano.
18	01h33	Saturno estacionário.
19	14h54	Lua passa pelo aglomerado de Plêiades (M 45).
20	14h15	Lua passa a 2,9°N de Aldebaran (alfa de Touro).
21	23h42	Lua quarto minguante.
23	04h51	Equinócio de Setembro. Início da Primavera no hemisfério sul.
24	18h50	Lua a 0,7°S do aglomerado estelar de Praesepe (M 44).
25	03h30	Melhor ocasião para visualizar o brilho da Terra refletido na face escura da Lua minguante falcada (luz cinérea). O horário refere-se ao nascer da Lua em São Paulo.
27	23h16	Lua no perigeu, menor distância com a Terra, 357.944 km. Diâmetro aparente = 32,8'.
28	15h58	Mercúrio passa a 1,4°N de Spica (alfa de Virgem).
28	15h27	Lua nova.
29	09h44	Lua passa por Vênus.
29	20h43	Lua passa a 6,3°N de Mercúrio.
30	—	Cometa P/2008 Y12 SOHO atinge a magnitude estimada de 4,8 e passa a 4°NE de Mercúrio. Elongação de 24° do Sol.



Claudia Wallis é uma premiada escritora de ciência e ex-editora-chefe de *Scientific American Mind*.



Se o bebê comer amendoim...

Oferecer alimentos alergênicos a crianças pode ser a chave para evitar alergias

Claudia Wallis

Na área das dicas de dietas, até as autoridades de saúde mudam seus conselhos. Há uma década, a recomendação padrão para pais preocupados que seus filhos desenvolvessem alergia a amendoim, ovos e outros alimentos alergênicos comuns era evitá-los até que a criança tivesse dois a três anos. Mas, em 2008, a Academia Americana de Pediatras (AAP) abandonou essa orientação, depois que estudos mostraram que isso não ajudava. E, num relatório de abril, a AAP concluiu a reversão de conduta, pelo menos para o amendoim. Ela recomendou que crianças de alto risco (aquelas com eczema grave ou alergia a ovos) sejam alimentadas com produtos de amendoim “seguros para crianças” a partir de quatro meses para evitar essa alergia comum.

As mudanças coincidem com as recomendações de uma comissão federal de especialistas e refletem os resultados de grandes estudos randomizados. Um deles, Leap (Learning Early About Peanut Allergy), publicado em 2015, descobriu que alimentar crianças de alto risco com idades entre quatro e onze meses com produtos de amendoim levou a uma taxa 81% mais baixa de alergia a amendoim aos cinco anos, na comparação com bebês não expostos ao alimento. Outra pesquisa, conheci-

da como EAT (Enquiring About Tolerance), publicada em 2016, constatou que, depois que os pais seguiram um protocolo para começar a oferecer proteína de amendoim, ovos e outros alimentos alergênicos a crianças entre três a seis meses amamentadas por leite materno, esse grupo aos três anos tinha prevalência 67% menor de alergias alimentares do que o grupo controle. O resultado mais expressivo foi para o amendoim: a taxa de alergia caiu a zero, ante 2,5% no grupo de controle. As alergias ao ovo também caíram, mas a AAP aguarda mais dados. “Não queremos recomendar algo enquanto não houver realmente boas evidências”, diz Scott Sicherer, um dos autores do relatório de abril.

Como as alergias aos alimentos se desenvolvem e por que elas se tornaram tão comuns continuam sendo áreas dinâmicas de pesquisa. Tanto alergias quanto eczemas (um grande fator de risco) estão em alta. Em um estudo de 2010, Sicherer e seus colegas descobriram que a prevalência de alergias infantis mais do que triplicou entre 1997 e 2008, saltando de 0,6% para 2,1%.

Uma das principais teorias sobre o desenvolvimento dessas alergias e o papel do eczema é de Gideon Lack, autor sênior do Leap e do EAT. A “hipótese da exposição ao alérgeno duplo” diz que que nos tornamos tolerantes a alimentos introduzidos oralmente ao sistema imunológico digestivo. Se a primeira exposição da criança for a moléculas alimentares que entram pela pele danificada pelo eczema, as moléculas podem instigar uma resposta alérgica. Pesquisa com ratos dão forte sustentação à ideia. Em humanos, a evidência é menos clara. Lack diz que a alergia a amendoins é mais comum em países onde o amendoim ou a manteiga de amendoim são populares; a alergia a semente de mostarda é comum na França apreciadora de mostarda etc. “Pais ingerem esses alimentos e então tocam ou beijam seus bebês e as moléculas penetram pela pele”, sugere Lack.

A ênfase na higiene também pode contribuir, diz Lack. “Banhamos bebês e crianças o tempo todo, com frequência uma ou mais vezes por dia, o que se pode alegar que destrói a barreira da pele.” Estudos avaliam se aplicar cremes para restaurar a barreira protetora da pele ajudaria a evitar as alergias.

Oito alimentos respondem por 90% das alergias alimentares: leite de vaca, ovos, peixe, mariscos, nozes, amendoins, trigo e soja. Alguns cientistas acreditam que isso ocorre porque esses alimentos contêm proteínas que são muito estáveis para a digestão, aquecimento e mudança em pH e têm, portanto, maior probabilidade de causar uma resposta imunológica.

A exposição precoce é agora a estratégia preventiva confirmada para amendoins, e talvez venha a ser para outros alimentos. Mas é mais fácil falar do que fazer. Na EAT, os bebês tinham de engolir pelo menos 4 g por semana de cada um dos alergênicos comestíveis, e muitos pais descobriram como isso era desafiador. “Não é parte de nossa cultura dar alimentos sólidos aos bebês muito pequenos”, diz Lack. ■



Zeynep Tufekci é professora associada da Escola de Informação e Biblioteca de Ciência da Universidade da Carolina do Norte e contribui regularmente com artigos para *The New York Times*. Seu livro, *Twitter and Tear Gas: The Power and Fragility of Networked Protest*, foi publicado pela Yale University Press em 2017.

Ensinar crianças a programar?

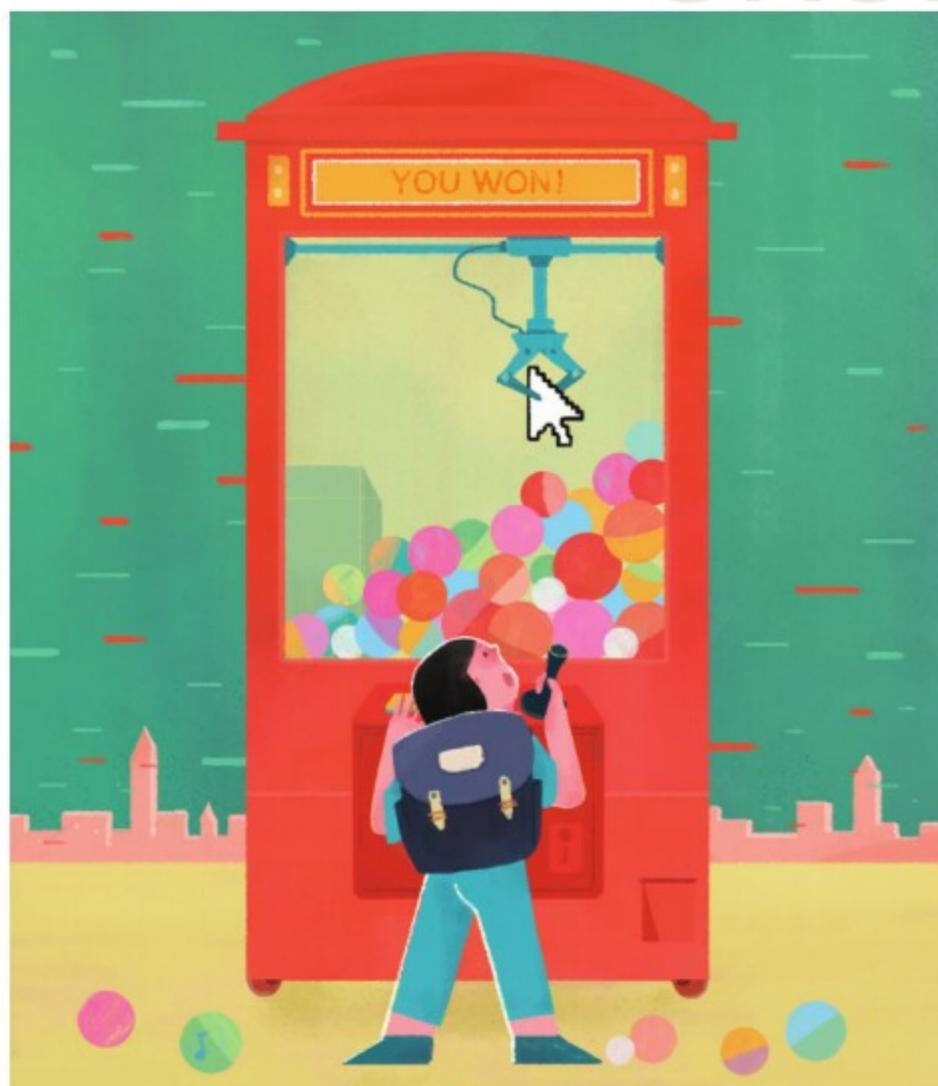
Essa não é necessariamente uma boa ideia

Zeynep Tufekci

No discurso do Estado da União de 2006, o presidente Barack Obama disse que os EUA deveriam oferecer a “todos os estudantes desde o primeiro dia aulas práticas de informática e matemática que os preparem para o trabalho”. Logo depois, ele lançou a Iniciativa Ciência da Computação para Todos, de US\$ 4 bilhões.

A Amazon quer ensinar programação para dez milhões de crianças por meio do programa Futuro Engenheiro Amazon. Facebook, Microsoft, Google e outros têm projetos semelhantes. Muitos pais estão interessados. Segundo a Code.org, organização sem fins lucrativos que busca expandir o estudo de ciência da computação, 90% dos pais querem que seus filhos estudem informática na escola.

Será que você deve matricular seu filho num cursinho de programação? Talvez sim, talvez não. Eu aprendi a programar em



criança, e foi bom. Comprei um computador com dinheiro que ganhei embalando doces e aprendi a linguagem Basic, e alguma linguagem de máquina. Foi divertido, como resolver um quebra-cabeça, e consegui meu primeiro emprego como desenvolvedora de software no primeiro ano de faculdade. O mundo não mudou muito: desenvolvimento de software ainda dá um bom dinheiro e sua demanda segue alta. Então, por que o “talvez não”?

Programação foi divertido para mim. Mas, e as crianças que não se animam tanto com a ideia? Deveriam ser obrigadas a aprender porque isso um dia poderia levar a um emprego? Calma: é improvável que, daqui a décadas, computadores sejam programados da mesma forma que hoje. O aprendizado de máquina, por exemplo, que é sobretudo o que queremos dizer ao falar de IA, é diferente de dar instruções passo a passo ao computador. Nele, alimentamos os algoritmos de aprendizado de máquina com enormes quantidades de dados, e os próprios programas constroem os modelos que executam as tarefas.

Para dar um exemplo, o Google Translate envolvia 500 mil linhas de códigos. Hoje, são só 500 linhas em uma linguagem de aprendizado de máquina. O principal desafio não é saber uma linguagem de programação: é ter dados suficientes e entender como os modelos construídos por computador funcionam matematicamente para que se possa ajustá-los e testá-los.

O que é essencial para o futuro deste trabalho de computação? O lado técnico é sobretudo matemática: estatística, álgebra linear, probabilidades, cálculo. A matemática continua importante e é útil para muitas profissões além da programação. É essencial para o dia a dia, também. E o pensamento algorítmico não precisa vir da programação. Alguma matemática e uma experiência de aprendizado adequada via culinária, costura, tricô – todos envolvem um tipo de algoritmo – podem ser valiosas.

Mas, mais importante para o futuro é o fato de que a programação estimula a construção de um mundo fechado. Em parte foi isso achei tão divertido: é mágico juntar algo passo a passo e depois brincar em um mundo que você construiu. Mas isso é muito diferente do que a indústria de tecnologia faz agora. Os programadores estão criando ferramentas que interagem com a realidade confusa e desafiadora da vida. Precisamos de pessoas que saibam história, sociologia, psicologia, matemática e informática e que se sintam confortáveis para analisar sistemas complexos, abertos e caóticos.

Então, você deve deixar uma criança curiosa se inscrever em um cursinho de programação? É claro. Mas não se preocupe se ela quiser aprender a cozinhar, costurar pijamas, ou subir em árvores. Precisamos garantir que os jovens não pensem que devem escolher entre matemática e ciência, de um lado, e humanidades, de outro. As questões mais interessantes, e talvez as mais desafiadoras, estão exatamente nessa interseção. Não nos pequenos mundos fechados que gostamos de construir por diversão. ■

A grande desaceleração

As grandes rupturas tecnológicas são mais raras e estão demorando mais

Wade Roush

Em 22 de junho de 1927, Charles Lindbergh voou para Ohio, para jantar na casa de Orville Wright. Um mês após cruzar o Atlântico no primeiro voo solo sem escala, o jovem aviador prestava sua homenagem ao pioneiro do voo. Quarenta e dois anos depois, em 16 de julho de 1969, o astronauta Neil Armstrong, da *Apollo 11*, pôde levar um convidado pessoal ao Centro Espacial Kennedy para presenciar o lançamento do foguete Saturno V, da Nasa. Armstrong convidou seu herói, Charles Lindbergh.

Foi nesse passo que a tecnologia avançou no século 20. Um homem, Lindbergh, foi o elo vivo entre o piloto do primeiro voo a motor e o comandante da primeira missão para outro mundo.

Em nosso século, para o bem ou para o mal, o progresso não é mais assim. O economista Robert Gordon argumenta que, até 1970, as principais tecnologias da vida moderna já existiam: saneamento, eletricidade, agricultura mecanizada, rodovias, viagens



Wade Roush é apresentador de *Soonish*, um podcast que explora como a tecnologia vai moldar o futuro

aéreas, telecomunicações e outras. Depois disso, a inovação e o crescimento econômico não mantiveram o ritmo vertiginoso dos cem anos anteriores, que Gordon chama de “o século especial”.

Desde 1970, o único evento atípico foi o crescimento exponencial da capacidade da informática, que se generalizou junto aos consumidores na forma da internet e de nossos aparelhos móveis. Mas, de muitas formas, diz Gordon, a vida nos países desenvolvidos em 2019 lembra o que era em 1979 ou 1989.

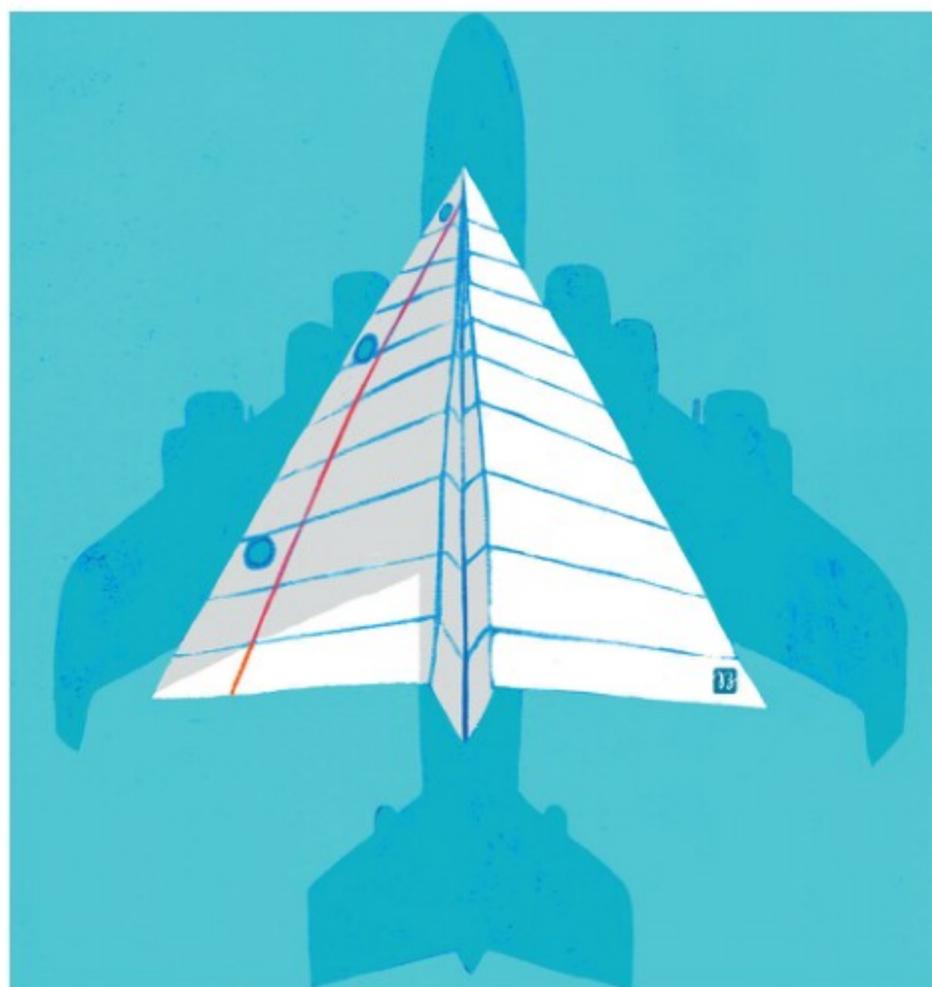
Isso é bom em uma pequena medida, mas ruim na maior parte. A mudança rápida e incessante pode ser desorientadora. Mas, falando como alguém da geração X, não fui ensinado a esperar a desaceleração. E, em muitas áreas de tecnologia, o movimento adiante parece tragicamente lento, até inexistente.

Veja a robótica para o consumidor. Há grande potencial para áreas como trabalho doméstico, educação, entretenimento e cuidados com a saúde. Mas empresas do setor de robótica doméstica continuam quebrando: a companhia de robôs sociais Jibo fechou em março após captar quase US\$ 73 milhões em capital de risco e, em abril, a fabricante de robôs de brinquedo Anki fechou após levantar pelo menos US\$ 182 milhões. O único robô doméstico comercialmente bem sucedido, o aspirador de pó Roomba, da iRobot, chegou ao mercado em 2002.

Ou o acesso ao espaço. Em 2007, a Fundação XPRIZE ofereceu US\$ 30 milhões em prêmios para equipes comerciais que competissem para pousar um jipe-robô na Lua. Quando ficou claro que ninguém cumpriria o prazo, a fundação o estendeu por quatro vezes até desistir em 2018. Embora os cinco times tenham construído o aparelho, todos tiveram problemas para captar o dinheiro para o lançamento. Companhias como a Spaceflight Industries estão tentando uma pioneira corrida para o espaço compartilhada de baixo custo com satélites muito pequenos, mas o custo por quilo para colocar sondas e satélites grandes em órbita ainda é, desculpem o trocadilho, astronômico.

Uma conquista tecnológica do nosso século é o iPhone. E a esta altura, já temos smartphones há tempo suficiente para começar a apreciar seus riscos. Enquanto isso, a lista de tecnologia com potencial para mudar o mundo que recebe muita atenção, mas segue na fase de protótipo, é longa. Carros autônomos ou voadores, óculos de realidade aumentada, terapia genética, fusão nuclear. Preciso prosseguir?

Está certo que são todos problemas difíceis. Mas, historicamente, resolver os problemas realmente grandes — eletrificação rural, por exemplo — exigiu investimentos contínuos em grande escala, em geral com os custos repartidos entre o setor privado e os contribuintes. Neste século, precisamos com urgência desfazer algumas das consequências do último grande boom, criando tecnologias economicamente viáveis de emissões zero e negativas. Esse é outro problema difícil — e, para resolvê-lo, precisamos recuperar parte do que fez o “século especial” tão especial. ■





Alexander Turra é professor do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo e Titular da Cátedra Unesco para a Sustentabilidade dos Oceanos.

EIA e RIMA em prosa e verso

De meras siglas ao silogismo

Alexander Turra

Provavelmente você, leitor, não deve estar familiarizado com as siglas EIA e RIMA. Como a grande maioria da população, você também não deve ter clareza da importância delas no seu cotidiano. Elas, juntas, materializam uma sigla essencial para o desenvolvimento sustentável: a AIA, associada ao procedimento de Avaliação de Impacto Ambiental. Esse procedimento surgiu no final da década de 1970, em decorrência da utilização não racional e imediatista de recursos naturais, como carvão, petróleo e terras, e pela ausência de cautela em lidar com os resíduos gerados pelas atividades humanas. A não internalização dos cuidados e a externalização dos custos ambientais por empreendedores eram a garantia da viabilidade econômica nesse modelo de desenvolvimento. A AIA corresponde, portanto, a uma análise prévia e sistemática da viabilidade ambiental de empreendimentos, que permitiu que a responsabilidade por minimizar ou mesmo compensar os impactos identificados pudesse ser explicitamente atribuída ao empreendedor. Isso não parece sensato?

Esse procedimento lógico está amparado em dois princípios. O princípio da precaução prevê a não realização de atividades poluidoras sem que haja evidências inequívocas que resguardem a qualidade ambiental. Já o princípio do poluidor pagador atribui os custos que são derivados de um dado impacto ambiental ao empreendedor.

Mas por que tanta preocupação com o meio ambiente? Na verdade, a ciência revela que há uma inseparável relação entre meio ambiente e qualidade de vida humana. Assim, a AIA, ao avaliar a viabilidade ambiental de um dado empreendimento, protege a sociedade de interesses predatórios e imediatistas. A AIA promove a justiça social. A AIA salva vidas.

Portanto, a AIA está longe de ser um mero procedimento burocrático que visa deter o desenvolvimento econômico. Trata-se de um instrumento de ponderação para que decisões mais parcimoniosas possam ser tomadas, equilibrando os aspectos econômico, social e ambiental. De forma análoga, para o empreendedor, a AIA traz segurança jurídica e protege investimentos.

A AIA é importante! Entretanto, na prática, tem sido um procedimento truncado e traumático, motivo pelo qual vem recebendo críticas. Um diagnóstico para essa situação revela um pro-

blema de foco na forma como é operacionalizada, ou seja, no processo de licenciamento ambiental. E aqui emergem as duas outras siglas mencionadas linhas atrás.

A AIA é realizada por meio da elaboração de um EIA (Estudo de Impacto Ambiental) e um RIMA (Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente), documentos que dão a base para o processo técnico-político de tomada de decisão e concessão de licença ambiental. O EIA é muitas vezes longo, denso, enfadonho e complexo, necessitando tradução para o público em geral. Esse é o papel do RIMA que, em linguagem acessível, deveria apresentar uma síntese compreensiva do EIA. Assim, se o EIA não for compreensivo, tampouco o RIMA será.

Desde sua criação, a AIA vem sendo aprimorada. O Projeto de Lei 3.729/2004, batizado de marco legal do licenciamento ambiental, tem o potencial de equacionar problemas teórico-metodológicos e político-institucionais, que dificultam a AIA no Brasil. Dentre os desafios estão a simplificação de procedimentos, a redução do tempo e os custos de análises e de riscos de judicialização e uma melhor aferição das medidas mitigatórias e compensatórias.

Esse fortalecimento passa pelo entendimento do papel da ciência. É necessário compreender a complexidade, o funcionamento, as fragilidades e as importâncias do ambiente para reduzir incertezas que permeiam um dado empreendimento. Portanto, também é importante aprimorar a participação e controle social, que agregam relevantes contribuições para a análise e devem ser promovidos desde o início do processo.

Entretanto, grupos de interesse que desejam simplificar o licenciamento podem fragilizar esse instrumento, como a proposta de licença autodeclaratória. Além disso, a AIA não pode se resumir a um processo de adequação ambiental dos projetos, ou seja, às negociações e às concessões que não consideram a opção de não realização do empreendimento em função dos impactos diagnosticados.

Simplificar não significa banalizar. João Gilberto, com insuperável brilhantismo, simplificou, estilizou e ressignificou o samba e criou a Bossa Nova. Deve-se fazer o mesmo com o licenciamento. Abusando da licença poética com os conceitos acima trabalhados... Se EIA é prosa, RIMA é o verso. Se AIA é música, ciência é o pentagrama, o tecido que dá a base para o licenciamento. Que se faça a música! Que o marco legal da AIA seja afinado e cadenciado, mas não numa nota só!

O licenciamento ambiental no Brasil deve estar à altura dos princípios expressos na Constituição e da dignidade que se quer dar às futuras gerações. AIA é prosa que conta uma história, cuja essência é traduzida pelo verso. AIA não pode ser história sem fim e começo. Verso não pode prescindir de significado e adereço. EIA rima com ciência. Ciência, o RIMA semeia. Mais que siglas, silogismo a AIA permeia. ■

ASTRONOMIA

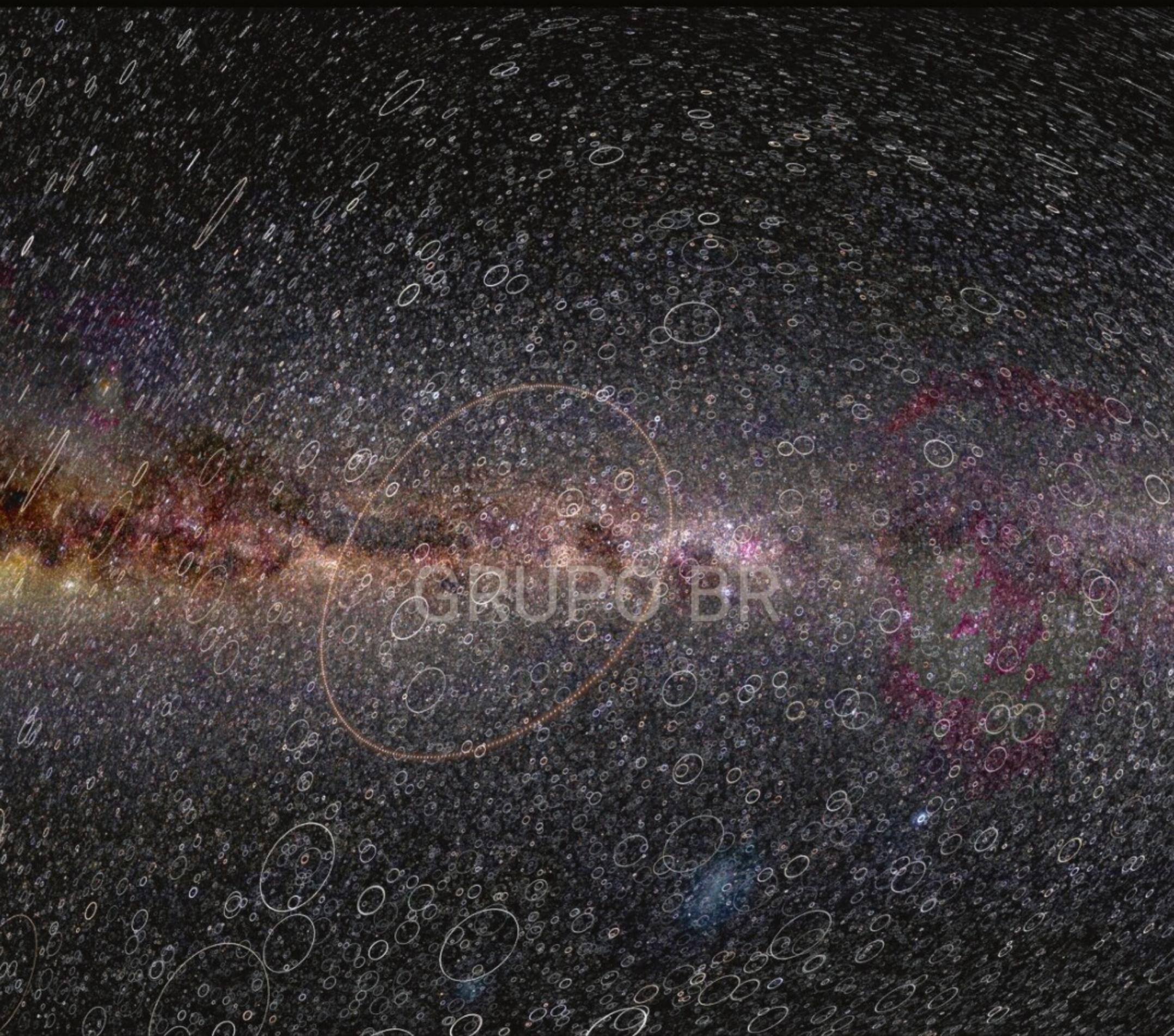
O PRIMEIRO MAPA



O telescópio espacial Gaia mapeou, com precisão inédita, 1,3 bilhão de estrelas da Galáxia. Os resultados estão mudando a forma como vemos e compreendemos nossa vizinhança cósmica

Carme Jordi e Eduard Masana

3D DA VIA LÁCTEA



UMA NOVA VIA LÁCTEA: o satélite Gaia mediu com precisão incrível paralaxes e movimentos de milhões de estrelas da Galáxia. A paralaxe de um astro resulta de seu movimento aparente no céu (elipses), produzido pela translação da Terra em torno do Sol. Como a paralaxe tem um valor muito pequeno, na imagem suas dimensões foram ampliadas 100 mil vezes.

Quais as propriedades da Via Láctea? Como ela se formou? Como surgiram suas estrelas?

Para responder a essas perguntas, no fim de 2013, a Agência Espacial Europeia (ESA) lançou o satélite Gaia, uma das missões astronômicas mais ambiciosas dos últimos tempos. Depois de quatro anos de observações e análises, em abril de 2018 o consórcio Gaia publicou seu catálogo completo de estrelas, incluindo a posição, paralaxe, movimento, cor e brilho de mais de 1,3 bilhão de estrelas. A enorme quantidade de objetos mapeados — sem precedentes na história da astronomia — e a excelente precisão dos dados começaram a transformar boa parte do que acreditávamos saber sobre nossa Galáxia e os processos de evolução estelar.

O cenário aceito atualmente para explicar a criação de galáxias é hierárquico: ao longo da história do Cosmos, as galáxias menores foram se juntando para formar outras cada vez maiores. Esses processos de agregação podem durar milhões de anos e, na verdade, podem ser reconstruídos a partir das órbitas e propriedades de estrelas individuais de uma galáxia. Isso porque as estrelas de uma galáxia que foi engolida apresentam as características e movimentos que permitem determinar sua origem. Por isso, a melhor forma de inferir o passado da Via Láctea consiste em mapear, com a maior precisão possível, o movimento, distância, idade e conteúdo químico do maior número de estrelas que conseguirmos. Esse é o objetivo da missão Gaia.

A análise de dados da missão já nos brindou com várias surpresas. Aprendemos que, há uns 10 bilhões de anos, a Via Láctea colidiu e se fundiu com outra galáxia quatro vezes menor. E que numa época bem mais recente a passagem de uma galáxia anã provocou uma perturbação nas órbitas de várias

Carme Jordi é pesquisadora do Instituto de Ciências do Cosmos na Universidade de Barcelona e do Instituto de Estudos Espaciais da Cataluña. Ela participou da colaboração Hipparcos e atualmente trabalha no projeto Gaia. Ela é membro da Equipe Científica da missão Gaia, órgão assessor da ESA para a missão.



Eduard Masana é pesquisador do Instituto de Ciências do Cosmos da Cataluña e na missão Gaia é responsável pelo grupo de simulações.



estrelas do disco que ainda podemos observar. Tanto a quantidade como a precisão dos novos dados permitem analisar os processos de evolução estelar como jamais foi possível, e já revelaram alguns tipos de estrelas não previstos pelos métodos teóricos. Para além de nossa vizinhança cósmica mais próxima, as medições de Gaia estão revelando a dinâmica de seu halo difuso de estrelas e a dinâmica das galáxias anãs que nos rodeiam. E as descobertas estão só começando.

RIQUEZA DE DADOS

O satélite Gaia foi lançado em dezembro de 2013. Viajou até o ponto de Lagrange L2 do sistema Sol-Terra (situado a 1,5 milhão de quilômetros de nosso planeta) e permanecerá lá até o final de seu funcionamento. Em julho de 2014 iniciaram-se as observações, que seguem até hoje. O satélite gira em torno de seu eixo a cada seis horas. Seu eixo, por sua vez, descreve um movimento de precessão em torno da direção Sol-Terra com um período de 63 dias. Essa rotação, combinada com o movimento do satélite em torno do Sol no mesmo período que a Terra (um ano), permite a observação completa do céu a aproximadamente cada seis meses.

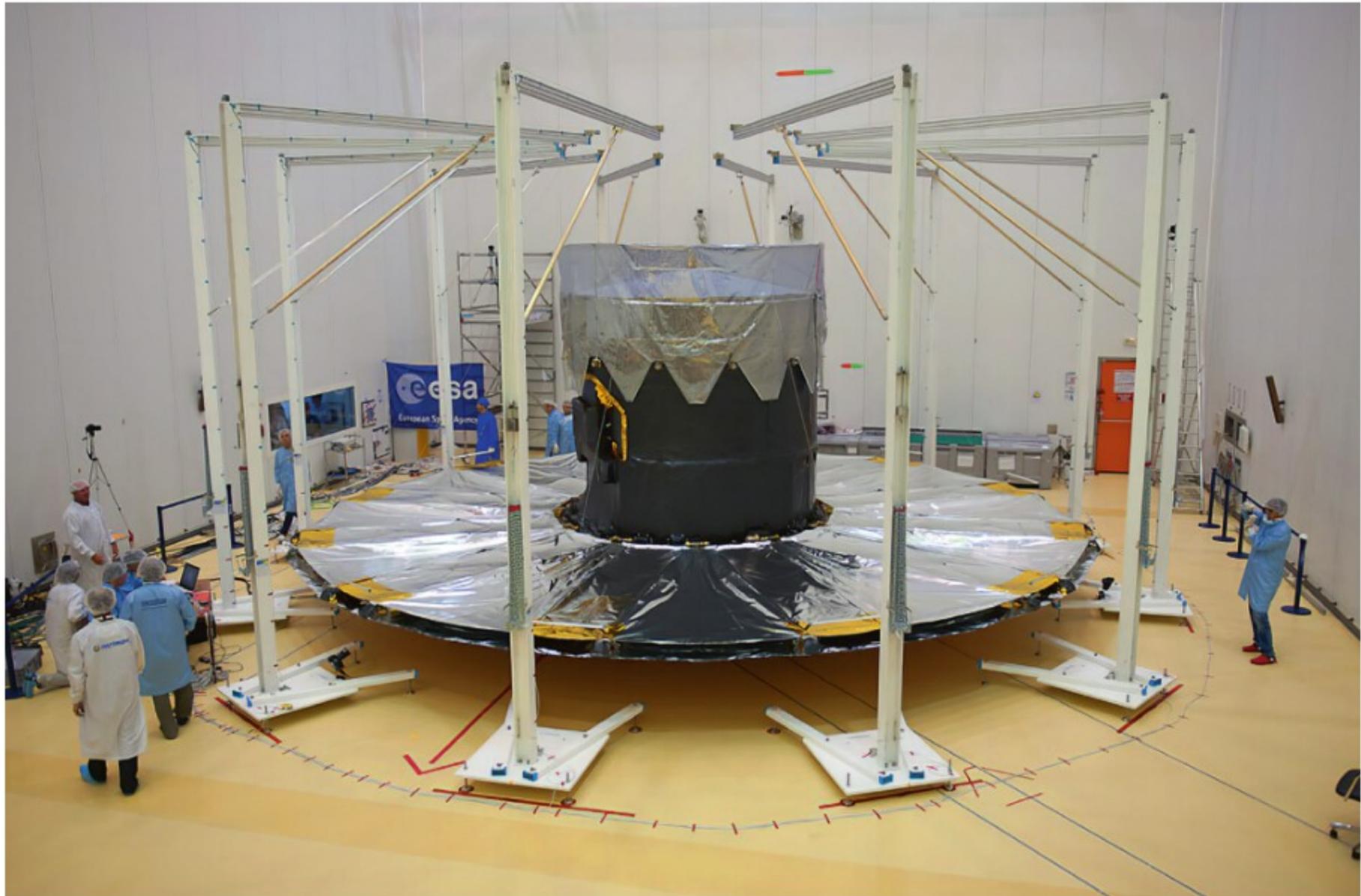
Graças a essa varredura contínua da abóbada celeste, Gaia analisa uma média de 70 milhões de estrelas por dia. Cada uma dessas observações é formada por nove medidas da posição e brilho, dois espectros de baixa resolução obtidos na parte azul e vermelha da região visível do espectro eletromagnético, além de outros três espectros de melhor resolução na região do infravermelho. Os primeiros permitem inferir o tipo de astro que estamos observando e suas propriedades físicas, como temperatura e gravidade da superfície. Os segundos permitem determinar a velocidade da estrela ao longo da linha de visada e seu conteúdo químico. O satélite está equipado com um conjunto de 106 dispositivos de carga acoplada (CCD, na sigla em inglês), equivalente a uma câ-

EM SÍNTESE

Ao longo da história cósmica, a Via Láctea foi crescendo por acreção de sucessivas galáxias menores. Essas interações deixaram sua marca nas propriedades, posições e velocidade das estrelas.

Com o objetivo de estudá-las, no final de 2013 a Agência Espacial Europeia lançou o satélite Gaia. No ano passado, a missão publicou o catálogo estelar mais completo e preciso da história da astronomia.

Os novos dados revelaram vários episódios significativos referentes ao passado da Via Láctea e da evolução de suas estrelas. Os resultados estão transformando diversas áreas da astrofísica e da cosmologia.



ANTES DO LANÇAMENTO: os engenheiros da Agência Espacial Europeia inspecionam o satélite Gaia na base de Kouru, na Guiana Francesa, em outubro de 2013. Com uma massa total de aproximadamente duas toneladas, o satélite foi enviado ao espaço em dezembro de 2013.

mera de um gigapixel (um bilhão de pixels), o que a converte na maior câmera jamais lançada ao espaço. Em 14 de abril de 2018, duas semanas antes da publicação do último catálogo, Gaia completou 100 bilhões de observações.

Essa fantástica quantidade de dados é enviada para a Terra e processada para se extrair a informação correspondente a cada estrela: sua posição e seu movimento em três dimensões (sobre a abóbada celeste e ao longo da linha de visada), e suas propriedades físicas e químicas. O consórcio para o processamento de dados (DPAC, na sigla em inglês) inclui seis centros de cálculo formados por cerca de 400 pessoas, em diversos países da Europa. A contribuição espanhola para o DPAC representa aproximadamente 10% do total, com equipes localizadas em Barcelona, Galícia, Santander e Madri. Em Barcelona está também um dos centros de cálculo, que abrange o Centro de Supercomputação de Barcelona e o Consórcio de Serviços Universitários da Cataluã.

Para ilustrar a relevância de Gaia, basta mencionar que, até hoje, todas as determinações de distâncias até as estrelas e galáxias, assim como as associadas ao tamanho do Universo visível, se baseavam direta ou indiretamente no catálogo de 120 mil estrelas mapeadas nos anos 1990 pelo satélite Hipparcos, também da ESA, e precursor de Gaia. Com a nova missão, esse número ultrapassou um bilhão e a precisão das medidas foi extraordinariamente aprimorada.

Até agora, o consórcio publicou dois catálogos estelares. O primeiro saiu em setembro de 2016 e incluía a posição, distância e o movimento sobre a abóbada celeste de dois milhões de estrelas. O segundo, publicado em 25 de abril de 2018, elevou esse número para 1,33 bilhão. Além disso, ele incluía o brilho de 1,6 bilhão, a cor de 1,4 bilhão, os parâmetros físicos de centenas de milhões e a velocidade radial de sete milhões. A esses dados devemos acrescentar meio milhão de curvas de luz (medidas do brilho em função do tempo) de estrelas variáveis, bem como a informação relativa às órbitas de 14 mil asteroides pré-selecionados. Essa imensa quantidade de dados supera em várias ordens de grandeza qualquer catálogo anterior de medidas astronômicas.

Um aspecto importante das medições da missão é a determinação das paralaxes estelares. A paralaxe de uma estrela corresponde à separação angular subentendida pelo Sol e a Terra como se fossem vistos da estrela. Pode ser obtida medindo-se a posição aparente do astro quando a Terra se encontra em pontos opostos de sua órbita em torno do Sol, e está diretamente relacionada à distância ao objeto (quanto mais distante estiver, menor será sua paralaxe). O êxito sem precedentes do catálogo de Gaia não só se deve ao grande número de estrelas estudadas, mas também à precisão de suas medidas. No caso da paralaxe, a precisão varia de 0,04 milissegundo de arco para as estrelas mais brilhantes (o ângulo

Um mapa estelar sem precedentes

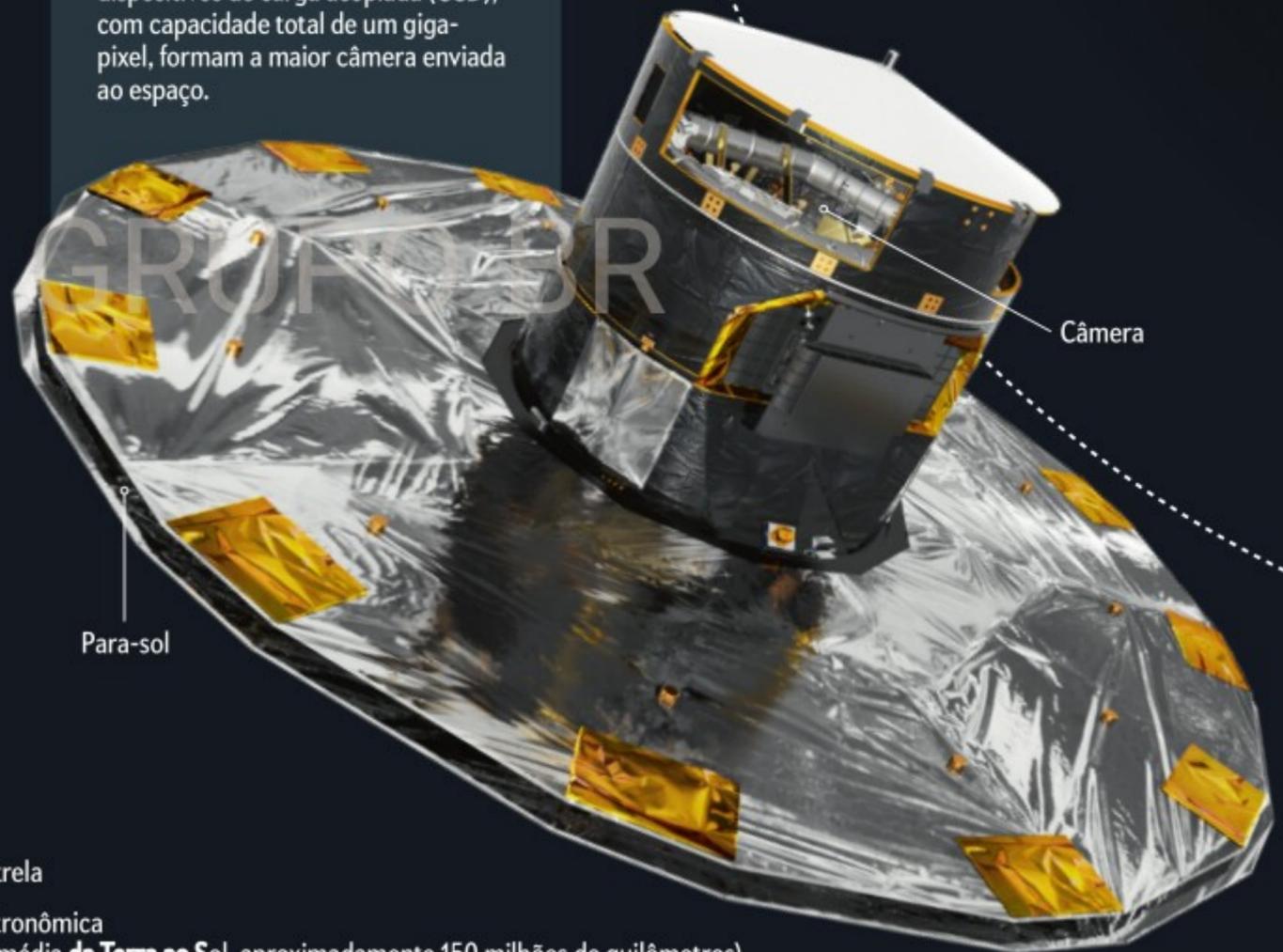
O satélite Gaia foi projetado pela ESA para medir a posição, movimento e propriedades físicas e químicas das estrelas da Via Láctea. A partir dos dados coletados, os pesquisadores começaram a reconstruir o passado da Galáxia e os processos de evolução estelar como jamais foi feito na história da astronomia. Em abril de 2018, o consórcio Gaia publicou um catálogo estelar com as características de mais de 1,3 bilhão de estrelas. A análise dos dados manterá os astrônomos ocupados durante décadas.

Estrelas muito distantes ("fixas")



O satélite

Com massa de aproximadamente duas toneladas, 11 metros de diâmetro e 2,3 metros de altura, o satélite Gaia (abaixo) encontra-se no ponto lagrangeano L2 do sistema Sol-Terra, situado a 1,5 milhão de quilômetros da Terra no sentido oposto ao Sol. Ele observa cerca de 70 milhões de estrelas por dia e varre completamente a abóbada celeste a cada seis meses. Seus 106 dispositivos de carga acoplada (CCD), com capacidade total de um gigapixel, formam a maior câmera enviada ao espaço.



Estrela

ρ Ângulo de paralaxe

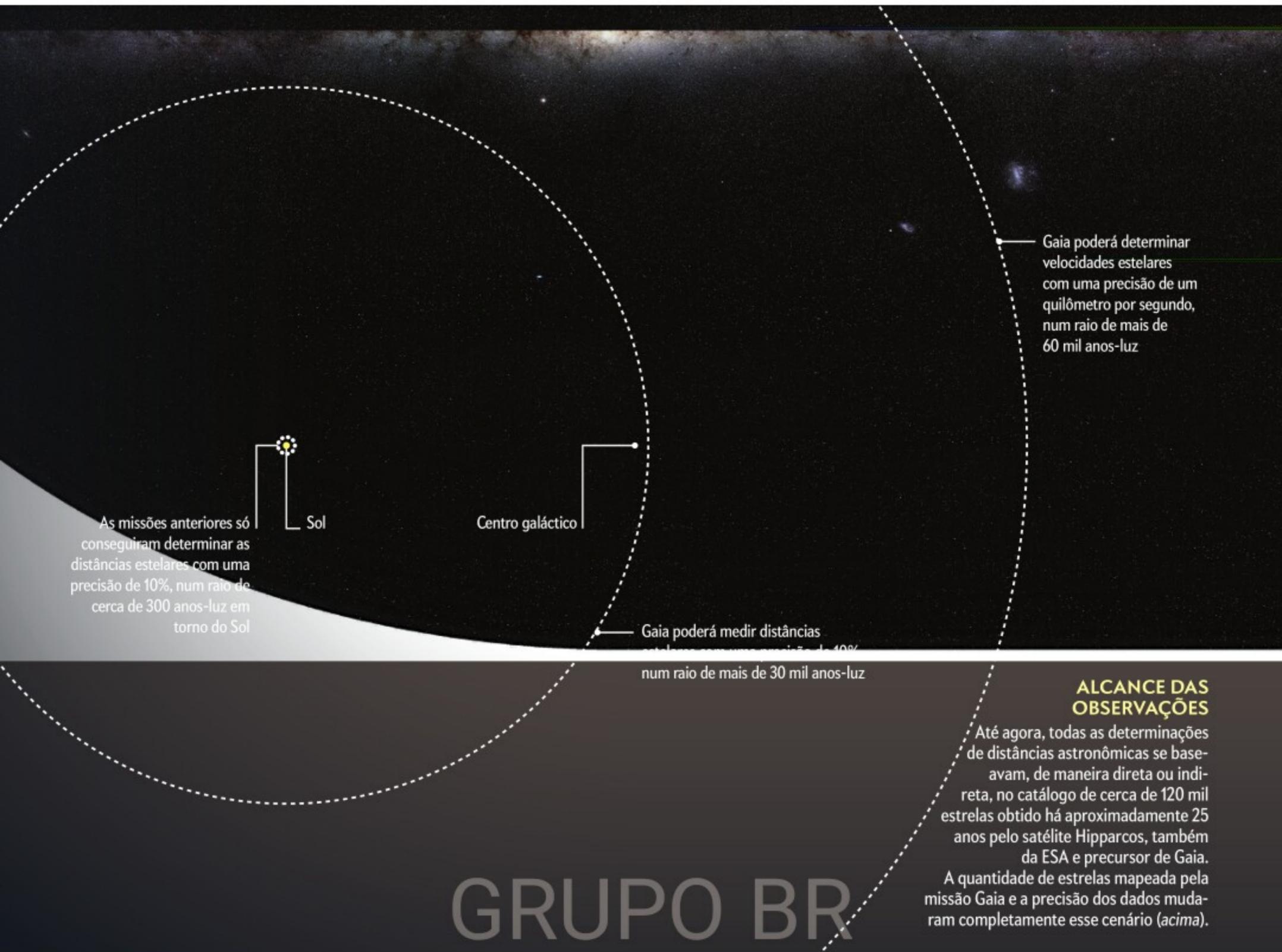
d = distância à estrela

1UA = unidade astronômica
(distância média da Terra ao Sol, aproximadamente 150 milhões de quilômetros)



PARALAXES, DISTÂNCIAS E VELOCIDADES

Gaia se destaca pela determinação das paralaxes estelares: o ângulo subtendido pelo Sol e da Terra como se fosse visto de uma dada estrela (à esq.). A partir da paralaxe, um cálculo elementar de trigonometria permite determinar a distância até a estrela. Em relação às missões anteriores, Gaia permitiu multiplicar várias dezenas de vezes a precisão na determinação da paralaxe. Ao mesmo tempo, a possibilidade de observar uma estrela durante longos períodos permite calcular seu movimento pela abóbada celeste. Sua velocidade ao longo da linha de visada pode ser obtida a partir da análise do espectro eletromagnético da estrela graças ao efeito Doppler.



As missões anteriores só conseguiram determinar as distâncias estelares com uma precisão de 10%, num raio de cerca de 300 anos-luz em torno do Sol

Sol

Centro galáctico

Gaia poderá medir distâncias estelares com uma precisão de 10% num raio de mais de 30 mil anos-luz

Gaia poderá determinar velocidades estelares com uma precisão de um quilômetro por segundo, num raio de mais de 60 mil anos-luz

ALCANCE DAS OBSERVAÇÕES

Até agora, todas as determinações de distâncias astronômicas se baseavam, de maneira direta ou indireta, no catálogo de cerca de 120 mil estrelas obtido há aproximadamente 25 anos pelo satélite Hipparcos, também da ESA e precursor de Gaia. A quantidade de estrelas mapeada pela missão Gaia e a precisão dos dados mudaram completamente esse cenário (acima).

GRUPO BR

equivalente ao subtendido por uma moeda de um euro situada na Lua, vista da Terra), até 0,67 milissegundo de arco para os astros mais fracos. Em comparação, as paralaxes do catálogo de Hipparcos atingiam uma precisão de 1 milissegundo de arco. Sem dúvida, a missão Gaia tornou-se um marco nas medidas astronômicas.

O PASSADO DE NOSSA GALÁXIA

A imagem que temos da Via Láctea é de uma galáxia espiral, com um grande disco de estrelas em rotação, circundado por um halo difuso de estrelas mais antigas. Esse halo se distribui de forma aproximadamente esférica em torno do bulbo, um aglomerado denso de estrelas que forma a parte central da Galáxia. Com relação à sua formação, nos últimos anos foram descobertos vários indícios de que, ao longo de sua história, a Via Láctea sofreu várias interações com galáxias menores que alteraram sua estrutura.

As interações entre galáxias deixam uma marca no movimento das estrelas. Por outro lado, podemos imaginar que se dois grupos de estrelas têm origens diferentes, elas também terão diferenças na composição química. Esse análise químico-dinâmica foi concluída no ano passado por uma equipe

liderada pela astrônoma Amina Helmi, da Universidade de Groningen. Mas, graças ao segundo catálogo de Gaia, os pesquisadores identificaram um grupo de estrelas próximas ao Sol que possuíam composição química diferente e girava em torno do centro da Galáxia, no sentido contrário ao do Sol.

Essas diferenças podem ser explicadas se supusermos que se trata de estrelas provenientes de outra galáxia que, no passado, se chocou com a Via Láctea. A partir dos dados do Gaia, os modelos teóricos de interações entre galáxias permitem reconstruir as características da galáxia que se chocou contra a nossa e quando essa colisão ocorreu. Em seu trabalho, Helmi e seus colaboradores concluíram que, há cerca de dez bilhões de anos, uma galáxia cerca de quatro vezes menos massiva que a Via Láctea se chocou contra ela. Essa galáxia foi denominada Gaia-Encélado.

A fusão da Via Láctea com a Gaia-Encélado parece ter sido um dos eventos mais importantes da história de nossa Galáxia, mas, evidentemente, não deve ter sido o único. Consideremos agora que, no passado, uma pequena galáxia possa ter, sim, cruzado o disco da Via Láctea. Um encontro como esse produziria um efeito local, arrancando estrelas do disco, mas sem expulsá-las totalmente, uma vez que teriam de vol-

Presente e passado da Via Láctea

No passado, a Via Láctea foi crescendo com a fusão sucessiva de galáxias menores. Essas interações podem ser reconhecidas atualmente a partir das propriedades das estrelas já que astros provenientes de uma galáxia de pequenas dimensões que foram, um dia, engolidos pela Via Láctea

apresentarão atualmente movimentos e características comuns. Graças aos mapas e posição e velocidade das estrelas, elaborados pela missão Gaia (*abaixo*), os astrônomos estão começando a reconstruir inúmeros detalhes da história de nossa Galáxia (*pág. oposta*).

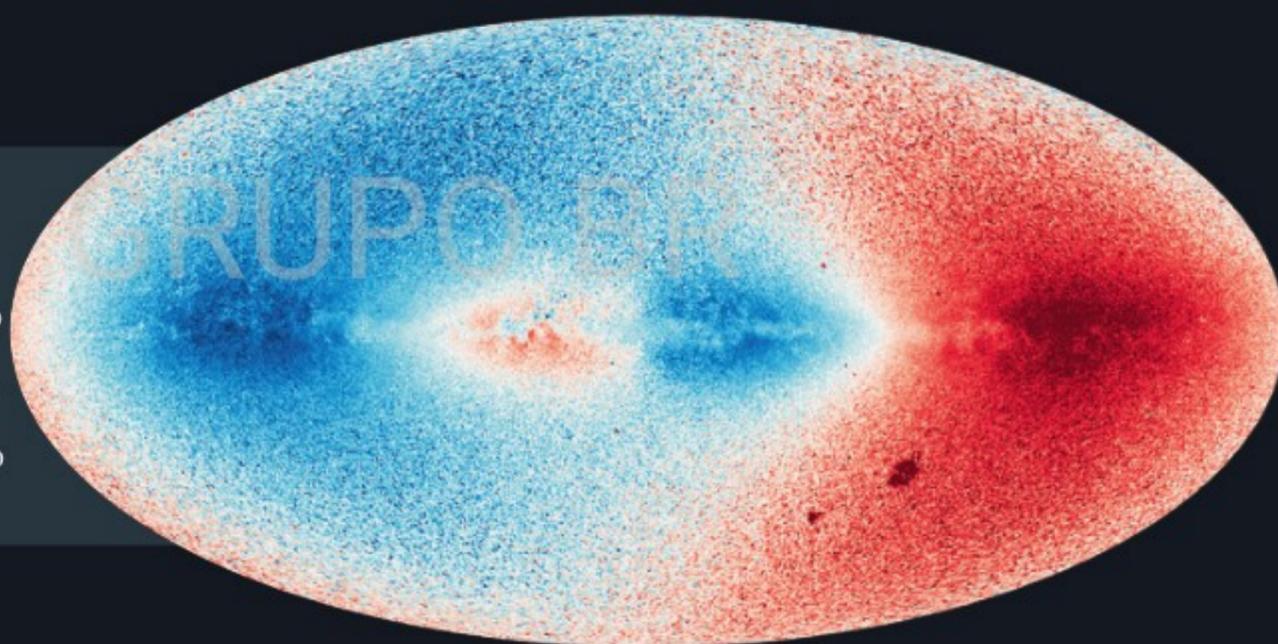


POSIÇÕES E BRILHOS ESTELARES

Mapa do céu obtido a partir dos dados do segundo catálogo de Gaia. Além das estrelas da Via Láctea, é possível distinguir as duas nuvens de Magalhães (*parte inferior direita*) — duas galáxias satélite da Via Láctea.

MAPA DE VELOCIDADES

Este mapa celeste mostra a velocidade de cada estrela ao longo da linha de visada: as estrelas em tons vermelhos estão se afastando do Sol enquanto que as em tons azuis estão se aproximando. Essa informação, juntamente com os movimentos próprios e as paralaxes, permite reconstruir os movimentos de rotação das estrelas em torno do centro da Galáxia.



ESA/GAIA/DPAC (imagens de posições e velocidades)

tar em direção ao disco, atraídas pela gravidade. As estrelas perturbadas adquiriam assim um movimento oscilatório, na direção perpendicular ao plano galáctico, ao mesmo tempo que continuaram orbitando ao redor do centro da Galáxia. Pode-se identificar hoje vestígios de um encontro como o que acabamos de descrever?

Com os dados de Gaia, a resposta é sim. Foi o que mostrou um estudo liderado por Teresa Antoja, do Instituto de Ciências Cóslicas da Universidade de Barcelona, publicado em 2018. Os pesquisadores analisaram as posições e as velocidades de quase um milhão de estrelas ao redor do Sol, em particular a dependência da velocidade perpendicular ao plano da Galáxia em relação à distância a esse plano. Ao comparar

com as simulações, os dados se mostraram compatíveis com uma interação galáctica como a que descrevemos que teria ocorrido há cerca de 500 milhões de anos. Essa datação coincide com a última passagem da galáxia de Sagitário (uma das galáxias anãs próxima da Via Láctea) pelo ponto de sua órbita mais próximo do centro da Via Láctea. Nesse contexto, os dados de Gaia revelam que a dinâmica do disco galáctico é muito mais complexa do que supúnhamos e que os modelos atuais precisam ser profundamente revistos.

Outro aspecto em que os dados de Gaia mostraram um grande potencial está relacionado ao estudo dos aglomerados estelares — grupos de estrelas que se formaram a partir de uma mesma nuvem de gás e poeira. Como resultado dessa

CANIBALISMO GALÁCTICO

As simulações por computador permitem inferir os movimentos que, com o passar do tempo (1-5), deveriam seguir as estrelas de duas galáxias que colidem (azul e vermelho). Combinado aos dados empíricos do Gaia, esse tipo de análise permite reconstruir o passado da Via Láctea. Um estudo recente mostrou, por exemplo, que há cerca de dez bilhões de anos a Via Láctea engoliu uma galáxia umas quatro vezes menos massiva, batizada pelos pesquisadores de Gaia-Encélado.



DINÂMICA COMPLETA

A análise da distância ao plano galáctico (Z) versus a velocidade em relação a esse plano (V_z), para várias estrelas (cores) mostra uma clara estrutura espiralada. Esse padrão sugere que, há cerca de 500 milhões de anos, uma galáxia anã atravessou o disco da Via Láctea.

origem comum, as estrelas de um mesmo aglomerado compartilham a idade e a composição química inicial, bem como um movimento comum no espaço, que reflete o deslocamento da nuvem original. Porém, quando olhamos para o céu, as estrelas de um aglomerado parecem superpor-se a outras estrelas “do campo”, que se encontram na frente ou atrás do aglomerado. Apenas pela coincidência dos movimentos e das paralaxes é possível distinguir quais estrelas pertencem ou não a um aglomerado.

Várias equipes usaram essa ideia para procurar grupos de estrelas com um comportamento comum. A precisão dos dados de Gaia permitiu encontrar dezenas de aglomerados novos. Ao mesmo tempo, a análise de todos os aglomerados co-

nhecidos (cerca de três mil) revelou que muitos eram maiores que se imaginava, e que, por outro lado, alguns não eram verdadeiros aglomerados, mas simples asterismos (agrupamentos de estrelas sem um vínculo físico entre elas). Esse foi o caso dos “aglomerados” mais antigos localizados na parte interna do disco galáctico. De acordo com os modelos teóricos, esses aglomerados deveriam se desagregar rapidamente, e sua existência colocaria os modelos em xeque. Agora, Gaia desmentiu que fossem aglomerados reais.

FÍSICA ESTELAR

Embora o principal objetivo da missão Gaia fosse de desmembrar o passado da Galáxia, os resultados foram além.

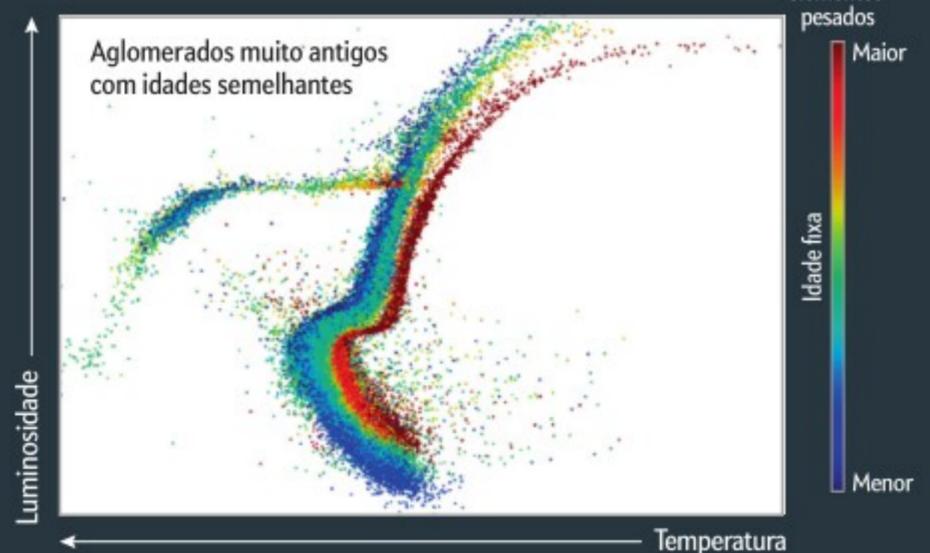
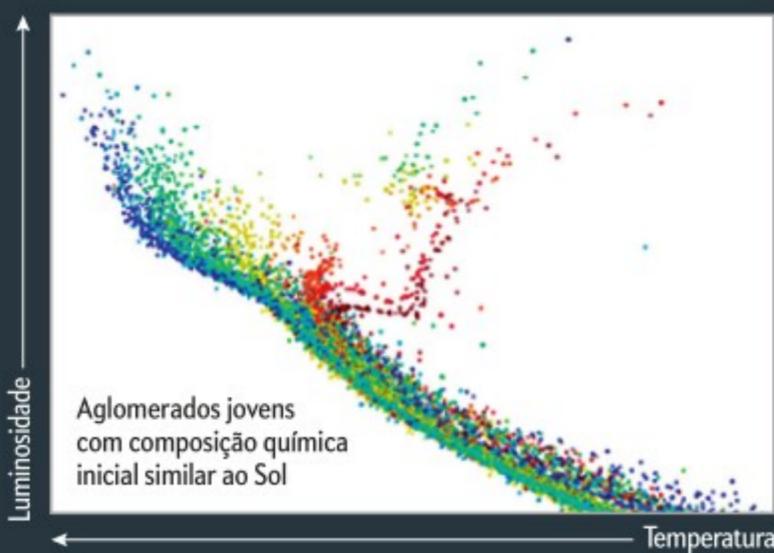
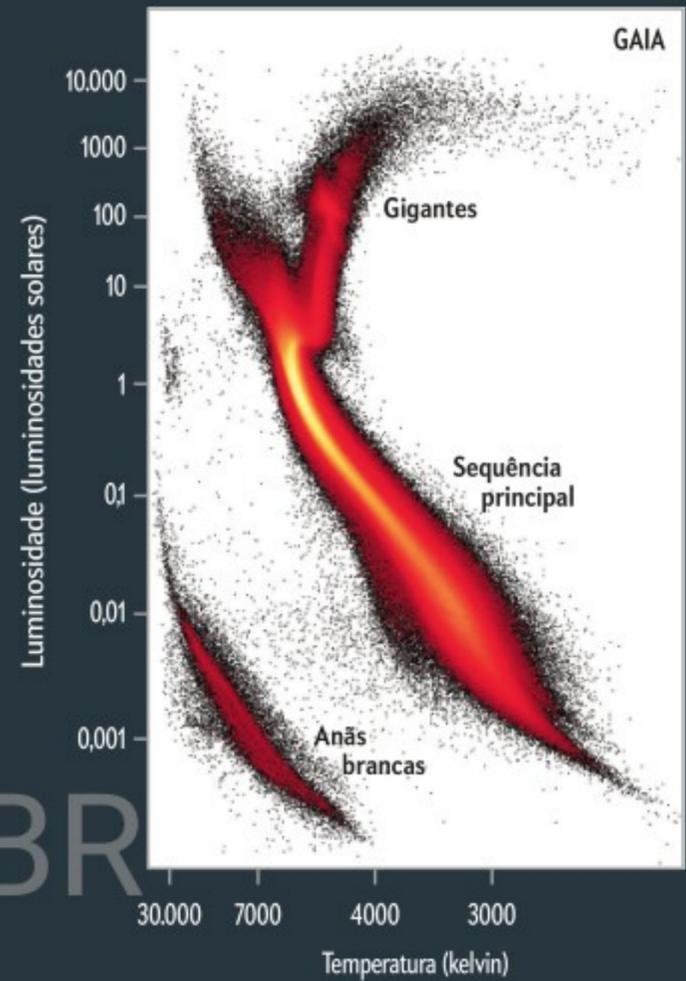
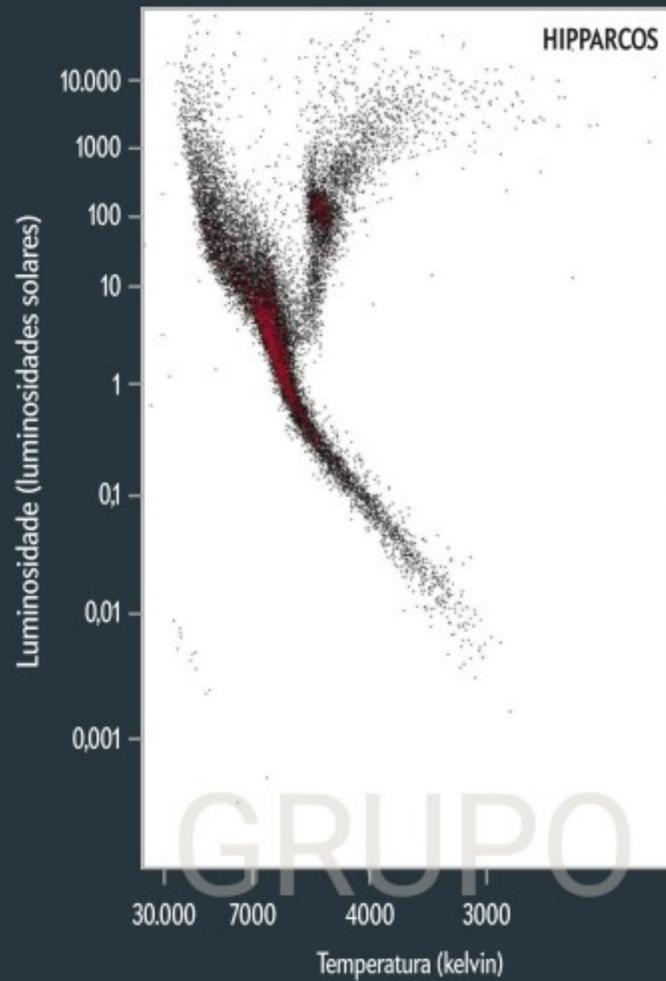
Um novo olhar sobre a vida das estrelas

Gaia também está transformando nosso conhecimento sobre a evolução das estrelas. Uma das ferramentas principais da física estelar é o diagrama de Hertzsprung-Russell: a relação empírica entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura. A partir do diagrama, os astrônomos podem testar os modelos de evolução estelar. A enorme quan-

tidade de estrelas estudadas pelo Gaia permitiu reconstruir o diagrama de Hertzsprung-Russell com detalhes inéditos (*gráficos superiores*). Ele já revelou a existência de algumas populações estelares não previstas até agora e permitiu analisar em separado um grande número de aglomerados estelares conhecidos (*gráficos embaixo*).

O MAIOR CENSO ESTELAR DA HISTÓRIA DA ASTRONOMIA

Gaia permitiu elaborar o diagrama de Hertzsprung-Russell com os dados empíricos de 4.276.690 estrelas (*direita*). A escala de cor representa a quantidade de estrelas identificadas em cada zona do diagrama (*da menor para a maior: preto, vermelho, laranja, amarelo*). No ramo das anãs brancas, a subestrutura do novo diagrama revelou a existência de uma população estelar até agora desconhecida, com uma massa igual a 0,8 da massa solar. Só para comparação, o diagrama de Hertzsprung-Russell obtido pela missão Hipparcos (*esquerda*) se baseou no censo de aproximadamente 20 mil estrelas.



CÚMULOS ESTELARES

Um aglomerado estelar é um agrupamento de estrelas formadas a partir de uma mesma nuvem de gás e poeira, por isso elas compartilham a mesma idade e composição química inicial. Pela primeira vez, Gaia permitiu obter diagramas empíricos e precisos para uma infinidade de aglomerados. Eles podem ser representados em função da idade (*esquerda*) ou em função de sua composição química inicial (*direita*). Esses dados inéditos oferecem uma possibilidade, até agora inexplorada, para melhorar os modelos de estrutura e evolução das estrelas.

Em particular, a exuberância de dados do último catálogo está preenchendo várias lacunas de nosso conhecimento sobre a estrutura e a evolução das estrelas.

Uma das ferramentas mais importantes no estudo da física estelar é o diagrama de Hertzsprung-Russell (HR). Criado há mais de um século de forma independente por Ejnar Hertzsprung e por Henry Norris Russell, o diagrama representa a relação empírica entre a temperatura e a luminosidade das estrelas, dois parâmetros que variam desde o nascimento até a morte de uma estrela. Quando observamos uma estrela e medimos suas propriedades, sua posição no diagrama HR é dada principalmente por sua idade, e por sua massa e composição química iniciais. Mas até o momento dispúnhamos só de dados parciais de algumas etapas da vida das estrelas, correspondentes a zonas concretas do diagrama HR. Gaia transformou esse cenário. As distâncias estelares medidas pelo satélite permitem transformar as magnitudes aparentes (o brilho que observamos da Terra) em absolutas (sua luminosidade intrínseca). Isso permite posicionar as estrelas no diagrama com tal precisão que começamos a ver detalhes nunca notados.

Foi possível compor um diagrama HR com mais de quatro milhões de estrelas, apenas usando aquelas cujos dados disponíveis são mais precisos. Só para comparar, o diagrama elaborado a partir dos dados de Hipparcos incluía as propriedades de cerca de 20 mil estrelas. Os novos dados revelam claramente diversas populações estelares, entre as quais se destacam as estrelas da sequência principal (aquelas que, como o Sol, ainda estão fundindo hidrogênio), as estrelas gigantes (que já atingiram a etapa de fusão de hélio) e as anãs brancas (resíduos estelares compactos que sobram quando uma estrela similar ao Sol esgotou seu combustível nuclear).

Anãs brancas são abundantes, mas difíceis de detectar, pois emitem pouca luz. Sua função de luminosidade (o número delas em relação à luminosidade) e sua função de massa (o número delas em relação à sua massa) fornecem informação sobre a história da formação estelar da galáxia. Até agora, os estudos mostravam uma clara concentração de anãs brancas com 0,6 massas solares, bem como um pico com 0,4 massa solar. Mas o diagrama HR obtido com os dados de Gaia revela a existência de uma população até agora não prevista pelos modelos, ao redor de 0,8 massa solar. Por enquanto, essa subpopulação de anãs brancas descoberta pela Gaia precisa de uma explicação satisfatória.

Por tratar-se de objetos com uma origem comum, as estrelas de um aglomerado, como já mencionamos, compartilham a idade e a composição química inicial. Ao mesmo tempo, cada uma delas evolui de acordo com o ritmo ditado por sua massa. Se representarmos a temperatura e a luminosidade de todas as estrelas pertencentes a um mesmo aglomerado num diagrama HR, obteremos uma “isócrona”: um instantâneo das propriedades de um conjunto de estrelas com a mesma idade. Portanto, comparando as isócronas de aglomerados com diferentes idades, podemos cotejar os dados com os modelos de evolução estelar. Essa é a primeira vez que dis-

posomos de isócronas empíricas e precisas para uma grande quantidade de aglomerados. Não há dúvida de que esse material valioso contribuirá para melhorar significativamente os modelos de estrutura e evolução das estrelas.

MAIS ALÉM DA VIA LÁCTEA

Os dados de Gaia são também preciosos para o estudo do halo externo e das vizinhanças da Galáxia. A análise de estrelas de cerca de metade dos aglomerados globulares (agrupamentos de estrelas que orbitam em torno do centro galáctico), em todas as galáxias esferoidais vizinhas conhecidas e nas nuvens de Magalhães (duas galáxias satélite da Via Láctea) permitiu calcular seus movimento com precisão inédita.

O estudo das superdensidades estelares no halo externo revela, pela primeira vez, um mapa cinemático e estrutural de filamentos estelares da Via Láctea em todo o céu. Existe uma rica rede de filamentos entrecruzados, muitas vezes, com uma coerência cinemática surpreendente. Várias dessas estruturas foram descobertas recentemente. O mapa reforça o cenário de que a Via Láctea passou por vários eventos de fusão e acreção de galáxias menores.

As órbitas das galáxias esferoidais anãs vizinhas não compartilham o mesmo plano orbital, embora todas mostrem uma grande inclinação em relação ao disco galáctico. Em algumas foram observadas assimetrias e, possivelmente, efeitos de maré. A análise do movimento dessas galáxias satélites também permite estimar a massa da Via Láctea. Se supusermos, por exemplo, que a galáxia anã Leo I está gravitacionalmente ligada à nossa, podemos calcular para a Via Láctea uma massa de aproximadamente $9,1 \times 10^{11}$ massas solares.

O que nos reserva o futuro? A duração prevista da missão era até julho de 2019, com possível prorrogação de um ano. Hoje, a ESA já aprovou a prorrogação da missão até o final de 2020 e considera estendê-la mais cinco anos. Observar uma estrela por um período maior permite determinar com mais precisão seu movimento. Além disso, permite detectar os desvios em relação a uma trajetória retilínea, o que, nesse caso, indicaria que a estrela não está só, mas acompanhada por outro objeto, que pode ser outra estrela ou um planeta.

A próxima liberação de dados está prevista para 2020. Esse catálogo deverá melhorar os dados do atual e incluir informação nova: a classificação de alguns dos objetos observados nas estrelas, galáxias e quasares, as temperaturas, forças gravitacionais, composição química e outras propriedades de uma grande variedade de estrelas, e as órbitas precisas de corpos do Sistema Solar. A comunidade astronômica pode regozijar-se: o conjunto de dados de Gaia deste, e dos próximos arquivos, deverá mantê-la ocupada por décadas. ■

PARA CONHECER MAIS

The merger that led to the formation of the Milky Way's inner stellar halo and thick disk. Amina Helmi et al. em *Nature*, vol 563, págs. 85-88, outubro de 2018.

A dynamically young and perturbed Milky Way disk. Teresa Antoja et al., em *Nature*, vol 561, págs. 360-363, setembro de 2018.

Informação sobre o segundo catálogo de Gaia: www.cosmos.esa.int/web/gaia/data-release-2
Arquivo da missão Gaia: gea.esac.esa.int/archive.

NEUROCIÊNCIA

Como a matéria produz a mente

Uma nova disciplina, a neurociência de redes, está mostrando como a mente pode emergir a partir de uma interação refinada entre diferentes áreas do cérebro

Max Bertolero e Danielle S. Bassett

Ilustrações de Mark Ross Studios

A

S REDES SÃO PARTE DA NOSSA VIDA. DIARIAMENTE, RECORREMOS A COMPLEXOS sistemas viários, ferroviários, rotas marítimas e aéreas. Há redes até fora da nossa experiência imediata. Pense na rede de abastecimento elétrico, na World Wide Web e no próprio Universo, onde a Via Láctea é um nó minúsculo de uma rede de galáxias aparentemente infinita. Mas, dentre estes sistemas de conexões e interações, poucos são os que podem se comparar ao que trazemos debaixo de nosso crânio.



A neurociência ganhou destaque nos últimos anos, com a popularização de imagens coloridas que retratam as áreas do cérebro “se acendendo” à medida que realizamos alguma atividade mental. Há, por exemplo, o lobo temporal, na região do ouvido, que é associado à memória, e o lobo occipital, na parte de trás da cabeça, que se dedica à visão.

Mas, nesta descrição do funcionamento do cérebro humano, faltava explicar como a interação entre as diferentes partes faz emergir aquilo que nós somos. O nosso laboratório, e outros, recorreu a uma linguagem de um ramo da matemática chamado teoria dos Grafos que permite analisar, investigar e prever interações cerebrais complexas que transpõem o abismo entre a atividade neuroelétrica intensa e um conjunto de habilidades cognitivas — percepção, memória, tomada de decisão, aprendizagem e iniciar movimentos. Este novo campo da neurociência de redes baseia-se e reforça a ideia de que certas regiões do cérebro exercem funções definidas. No seu aspecto mais fundamental, aquilo que o cérebro é — e o que somos nós, enquanto seres conscientes — define-se por uma vasta rede de 100 bilhões de neurônios com pelo menos 100 trilhões de pontos de conexão, ou sinapses.

Hoje podemos modelar os dados obtidos por imageamento na forma de um grafo composto de nós e arestas. Num grafo, os nós representam as unidades da rede, como os neurônios. Arestas representam as conexões entre eles — imagine um neurônio entrelaçado a outro. Em nosso trabalho, o cérebro humano é reduzido a um grafo com cerca de 300 nós.

Diversas áreas podem ser conectadas por arestas que representam conexões estruturais do cérebro: grossos pacotes de “cabos” chamados de tratos de substância branca que vinculam diferentes regiões. Esta descrição do cérebro como uma rede unificada já nos proporcionou uma descrição mais clara do funcionamento cognitivo, além de oferecer os benefícios práticos de melhores diagnósticos e tratamentos para doenças psiquiátricas. Uma maior compreensão das redes cerebrais pode gerar um modelo para uma inteligência artificial aperfeiçoada, novos medicamentos, tecnologia de eletro-estimulação para mudar o mau funcionamento da circuitaria cerebral durante a depressão e, talvez, levar ao desenvolvimento de novas terapias para doenças mentais.

A MÚSICA DA MENTE

Para entender como as redes fundamentam a nossa capacidade cognitiva, façamos uma analogia com uma orquestra executando uma sinfonia. Até recentemente, estudávamos a ação isolada de regiões cerebrais individuais, o que seria o equivalente a separar as seções de metais, madeiras, percus-

Danielle S. Bassett é professora associada no departamento de bioengenharia da Universidade da Pensilvânia, onde estuda redes em sistemas físicos e biológicos. Em 2014, ela se tornou uma MacArthur Fellow.

Max Bertolero é bolsista de pós-doutorado no Grupo de Sistemas Complexos de Bassett. Ele recebeu um doutorado em sistemas de neurociência pela Universidade da Califórnia, Berkeley, e licenciaturas em filosofia e psicologia pela Universidade Columbia.



são e cordas. No cérebro, esta estratificação representa uma abordagem que remonta a Platão: cortar a natureza nos seus pontos de articulação e estudar os componentes individuais que surgem a partir daí.

Assim como é útil entender como a amígdala ajuda a processar a emoção, é vital compreender como um violino alcança notas tão agudas. Mas mesmo uma lista completa das áreas cerebrais e suas funções — visão, emoção, movimento etc. — não explica como o cérebro realmente funciona, assim como uma lista de instrumentos não serve como fórmula para a sinfonia Eroica, de Beethoven.

As abordagens iniciais focaram como cada região do cérebro está inserida numa rede mais ampla que integra várias regiões, e mapearam conexões entre regiões para estudar como elas participam dessa rede maior e integrada que é o cérebro. Há duas vertentes principais.

Primeiro, estudar a estrutura conectiva revela a instrumentação da orquestra cerebral. É a base física da criação da música, e a instrumentação de cada peça musical limita o que pode ser tocado. A instrumentação é importante, mas ela não é a música.

Segundo, cérebros são imensas orquestras de neurônios que disparam juntos em padrões específicos. Escutamos a música do cérebro medindo a correlação entre a atividade de pares de regiões, indicando que elas funcionam em conjunto. Essa medida de atividade conjunta é conhecida como conectividade funcional, e coloquialmente pensamos nela como um reflexo da música cerebral. Se duas regiões disparam com as mesmas flutuações ao longo do tempo, considera-se que que são conectadas funcionalmente. O volume da música do cérebro pode ser considerado como o nível de atividade de sinais elétricos em uma região cerebral.

A todo instante, algumas áreas estão mais ativas. Na verdade, todo o cérebro está ativo todo o tempo, mas executar uma tarefa irá modular apenas a atividade de uma pequena região, em relação ao seu nível básico de atividade. Isso não quer dizer que nós usamos apenas metade do nosso poten-

EM SÍNTESE

Como o cérebro dá origem a quem somos? Essa pergunta levou ao novo campo da neurociência de rede, que usa um ramo da matemática, a teoria dos grafos, para modelar as conexões cerebrais que nos permitem ler, calcular ou apenas ficarmos sentados.

A teoria dos grafos, que também é usada por químicos, teóricos do campo quântico e linguistas, modela os caminhos físicos que constroem as redes funcionais das quais emergem nossas capacidades cognitivas, seja para a visão, atenção ou o autocontrole.

À medida que o aprendizado das redes cresceu em abstração, os pesquisadores começaram a transpor a lacuna entre matéria e mente. No aspecto prático, poderiam surgir novas maneiras de diagnosticar e tratar de distúrbios tais como a depressão.

cial cognitivo. Na verdade, se todo o cérebro estivesse num estado de forte atividade ao mesmo tempo, seria o equivalente a todos os membros da orquestra tocando o mais alto possível. O resultado seria o caos, não a comunicação. São os ritmos, o andamento e as pausas estratégicas que comunicam informação, tanto numa sinfonia como dentro da sua cabeça.

MODULARIDADE

Tal como a orquestra que pode ser dividida em diferentes famílias de instrumentos, o cérebro pode ser separado em grupos de nós chamados módulos, que estruturam redes localizadas. Todos os cérebros são modulares. Os nós dentro de um módulo possuem conexões entre si que são mais fortes do que as conexões com nós de outros módulos.

Cada módulo tem uma certa função. Recentemente, fizemos uma meta-análise de vários estudos independentes que abrangiam mais de 10 mil experimentos de ressonância magnética (fMRI) de sujeitos realizando 83 tarefas cognitivas diferentes, e constatamos que tarefas distintas assinalam diferentes módulos das redes cerebrais. Há módulos que se ocupam de atenção, memória e pensamento introspectivo. Outros se dedicam à audição, visão e movimento.

Esses processos sensoriais e motores envolvem módulos individuais e contíguos, dos quais a maioria está restrita a um único lobo cerebral. Também descobrimos que a computação em módulos não gera estimulação extra em outros módulos, um aspecto essencial do processamento modular.

Mesmo que os módulos sejam independentes em boa medida, uma sinfonia requer que cada família de instrumentos toque em uníssono. A informação gerada por um módulo deve posteriormente ser integrada a outros módulos. Assistir a um filme apenas com o módulo responsável pela visão, sem acessar o módulo das emoções, prejudicaria muito a experiência. Por isso, para realizar várias tarefas cognitivas, os módulos precisam trabalhar juntos. Uma ação da memória de curto prazo como reter um número de telefone exige a cooperação dos módulos de atenção, audição e processamento de memórias. Para integrar e controlar a atividade de múltiplos módulos, o cérebro usa *hubs*, que são nós onde se encontram as conexões vindas dos diferentes módulos.

Alguns módulos-chave que controlam e integram a atividade cerebral são mais expansivos em suas atividades, e suas conexões se estendem por vários lobos cerebrais. O módulo de controle frontoparietal abarca integralmente os lobos frontal, parietal e temporal. Na escala da evolução, ele surgiu recentemente. Em humanos, esse módulo é grande, em comparação aos nossos ancestrais primatas mais próximos. Ele é análogo ao maestro da orquestra e é ativado em diversas tarefas cognitivas.

O módulo frontoparietal assegura que os diversos módulos atuem em uníssono, e tem forte participação no que é chamado de função executiva, que abrange os processos de tomada de decisões, memória de curto prazo e controle cognitivo. Esta última é a habilidade de desenvolver estratégias complexas e restringir comportamentos inadequados.

Outro módulo bastante interconectado é o módulo de saliência, que se conecta ao módulo de controle frontoparietal e contribui para uma série de comportamentos relacionados à atenção e a resposta a novos estímulos. Por exemplo, veja estas duas palavras; **azul** e **vermelho**. Se você for perguntado “qual a cor da palavra?”, vai reagir muito mais rapidamente à que está grafada em vermelho. É que o módulo de saliência e o frontoparietal devem ser ativados para responder à cor verde, pois você precisa reprimir uma tendência natural de ler a palavra como “azul”.

Por fim, o módulo do modo padrão inclui os mesmos lobos do módulo de controle frontoparietal. Ele possui muitos *hubs* e está ligado a várias tarefas cognitivas, incluindo pensamento introspectivo, aprendizagem, recuperação de memórias, processamento emocional, inferência dos estados emocionais de outros e até o ato de participar de jogos de azar. Danos nesses módulos perturbam o funcionamento de conexões por todo o cérebro e geram vastas dificuldades de cognição, assim como o mau tempo num aeroporto que é um *hub* gera atrasos no tráfego aéreo em todo um país.

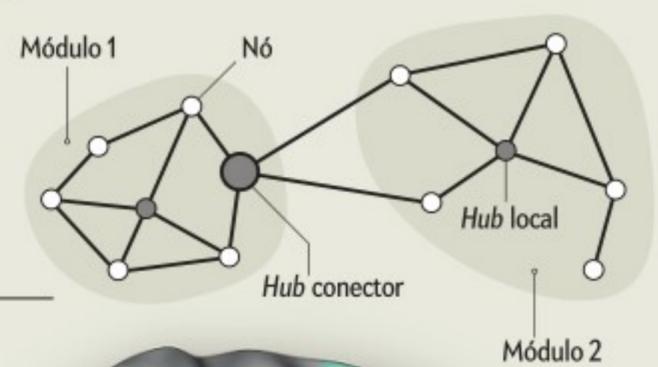
CONEXÕES PESSOAIS

Embora nossos cérebros tenham certos componentes básicos de rede — módulos interconectados por *hubs* —, cada um de nós exibe ligeiras variações na maneira como nossos circuitos neurais são conectados. Pesquisadores recentemente dedicaram um intenso escrutínio a essa diversidade. Numa fase inicial do que é chamado o Projeto Conectoma Humano, 1.200 pessoas jovens voluntariaram para participar de um estudo sobre a arquitetura de redes cerebrais, financiado pelos Institutos Nacionais de Saúde. (O objetivo final do projeto é abarcar todo o período de duração de uma vida.) As redes de conectividade estrutural e funcional de cada indivíduo foram investigadas usando o método fMRI. Esses dados foram complementados por uma bateria de testes e questionários cognitivos para analisar 280 traços ou características comportamentais e cognitivas. Os participantes forneceram informações sobre quão bem dormiam, com que frequência consumiam bebidas alcoólicas, suas competências linguísticas e de memória, e seus estados emocionais. Neurocientistas de todas as partes do mundo começaram a se debruçar sobre esse conjunto incrivelmente rico de dados para descobrir como nossas redes cerebrais codificam quem somos.

Usando dados de centenas de participantes do Projeto Conectoma Humano, nosso laboratório e outros demonstraram que os padrões de conectividade cerebral criam uma “impressão digital” singular. Pessoas com fortes conexões funcionais entre certas regiões têm vocabulário extenso e exibem inteligência fluida superior — útil para resolver novos problemas — e são capazes de adiar gratificações. Elas tendem a ter mais educação e satisfação com a vida, além de memória e atenção melhores. Outras, com conexões funcionais mais fracas entre as mesmas áreas cerebrais, têm inteligência fluida mais limitada, histórias de abuso de substâncias, distúrbios de sono e uma menor capacidade de concentração.

Decodificando 100 trilhões de mensagens

A Via Láctea tem centenas de bilhões de estrelas — apenas uma fração dos 100 trilhões de conexões em nossos cérebros que nos permitem perceber, pensar e agir. Para desvendar esta complexidade, neurocientistas de rede criam um mapa, ou “grafo”, que consiste de nós ligados por arestas que se encaixam em módulos, que, por sua vez, são “conectados firmemente uns aos outros por nós altamente conectados chamados *hubs*.”



De módulos a hubs a pensamentos

Coleções de nós formam módulos que se dedicam a processar a visão, atenção e comportamentos motores, entre outras tarefas **A**. Alguns dos nós agem como *hubs* locais que se ligam a outros nós em seus próprios módulos. Um nó que tem muitas ligações com muitos módulos é conhecido como *hub* conector (o tipo mais comumente mencionado neste artigo **B**). Suas diversas conexões com os tantos módulos do cérebro são decisivas para muitas tarefas, particularmente comportamentos complexos **C**.

Módulos cerebrais

- Visual
- De atenção
- Controle frontoparietal
- Motor somático
- De saliência
- Padrão
- Límbico

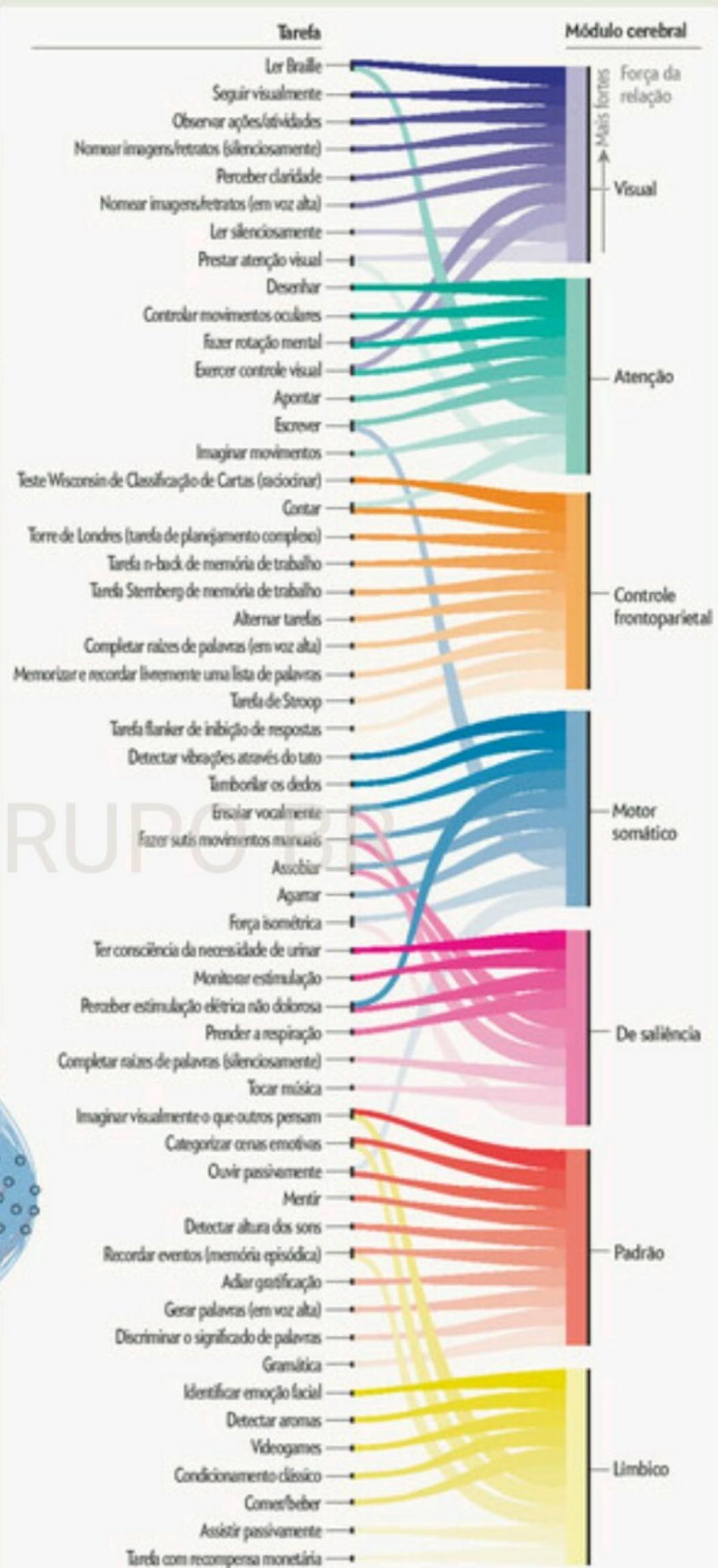
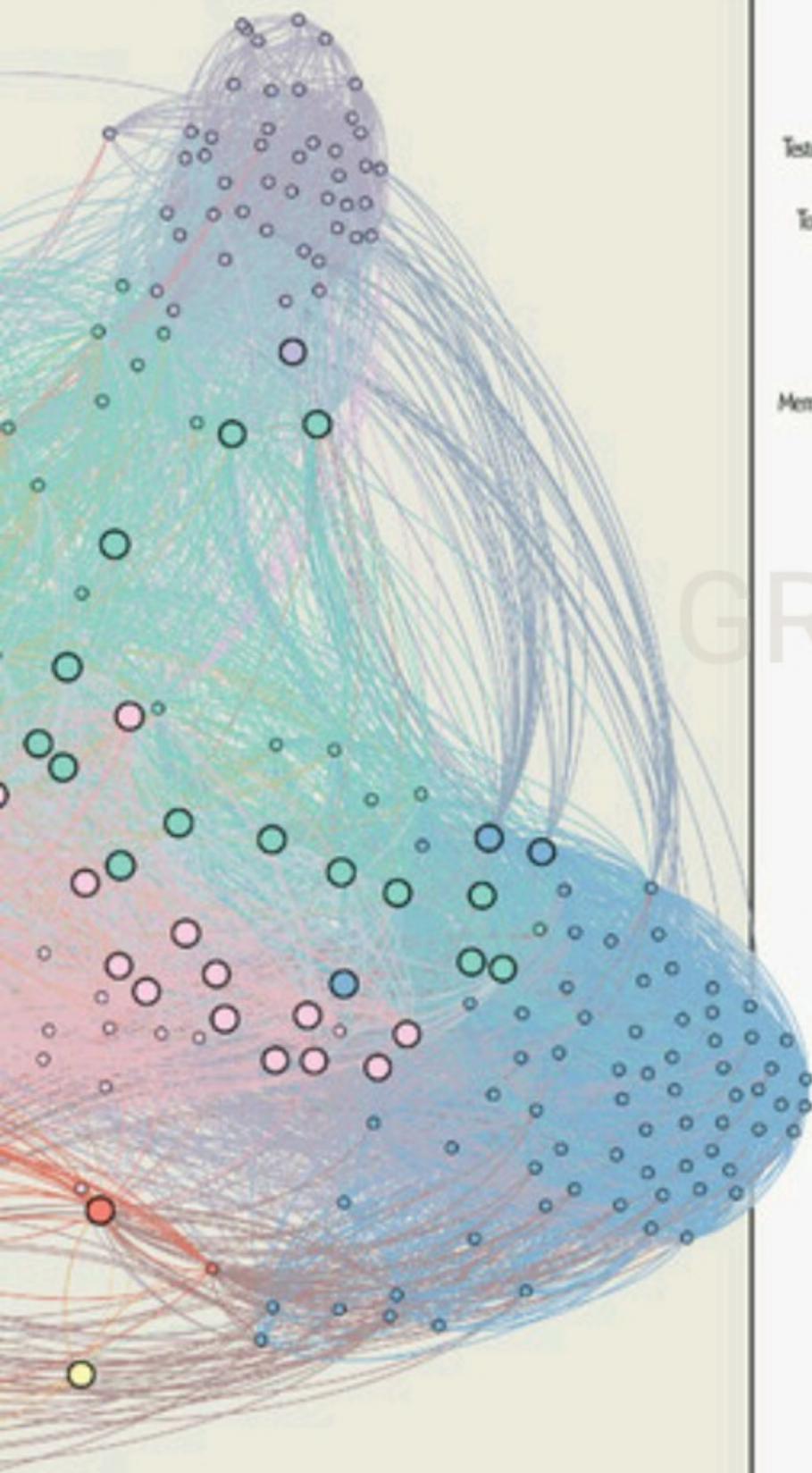
A Sete módulos chave, assinaladas por cores, se espalham por áreas do cérebro que às vezes não têm conexões.

B *Hubs* conectores com as mais fortes ligações a muitos outros módulos aparecem nesta vista lateral, coloridos para indicar os sete principais módulos cerebrais.

C Um grafo dos nós e arestas do cérebro humano mostra os *hubs* conectores mais fortes, representados como círculos grandes. A cor de cada nó corresponde ao módulo cerebral ao qual ele pertence. Nós podem ser visualizados como ímãs repelentes com as arestas entre os nós agindo como molas que os mantêm unidos. Nós firmemente conectados se agrupam juntos. *Hubs* conectores ocupam o centro porque estão bem conectados a todos os módulos.

Agrupando e ordenando tudo

Módulos para a visão, atenção e outras funções cognitivas são dedicados a tarefas específicas, muitas vezes representadas aqui por testes psicológicos. As tarefas mais ativas ascendem ao topo. O módulo visual, por exemplo, está envolvido em dar nome às coisas, ler e observar. Muitas tarefas requerem múltiplos módulos. Uma tarefa de rotação mental (a capacidade de girar mentalmente representações de objetos bi e tridimensionais), por exemplo, recruta tanto o módulo visual como o da atenção. Alguns módulos são encarregados de tarefas mais abstratas. O módulo frontoparietal se envolve em alternar tarefas ou memorizar listas. O módulo de modo padrão lida com estados emocionais subjetivos ou com a escuta passiva quando uma pessoa está em repouso.



Inspirados por esta pesquisa, mostramos que as descobertas poderiam ser descritas por determinados padrões entre as conexões dos *hubs*. Se a sua rede cerebral possui *hubs* fortes, com muitas conexões através dos módulos, ela tende a ter módulos que são claramente separados uns dos outros, e você terá um desempenho melhor em muitas tarefas, de memória de curto prazo a matemática, linguagem ou cognição social.

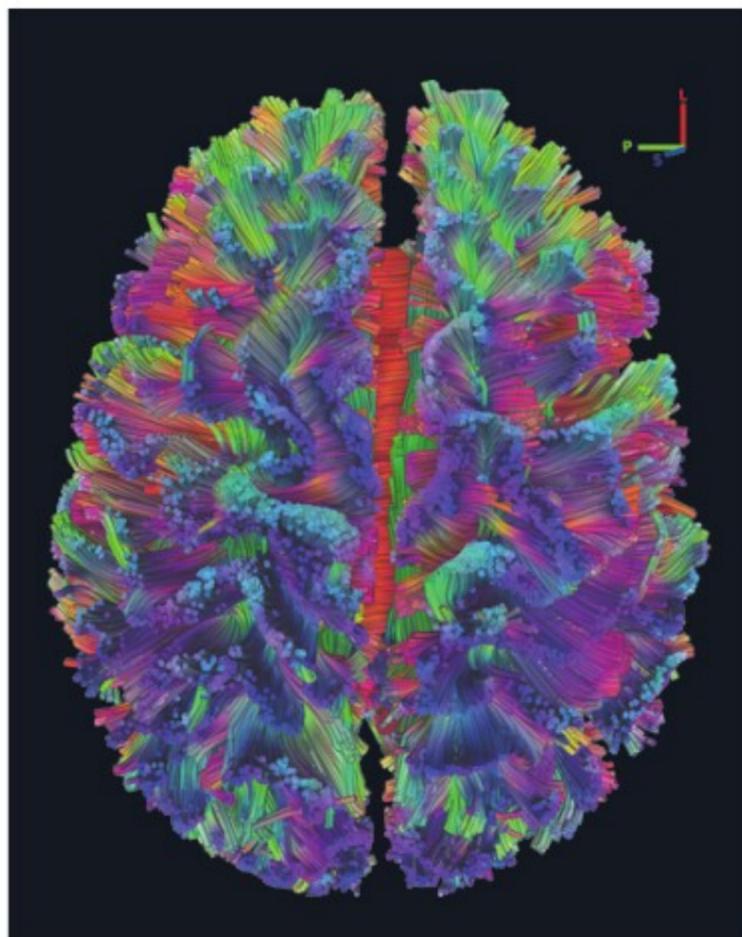
Dito de modo mais simples: seus pensamentos, sentimentos, idiosincrasias, falhas e resiliência mental são codificados pela organização específica do cérebro como uma rede unificada e integrada. Em suma, é a música que seu cérebro toca que faz você ser *você*, do jeito que você é.

Os módulos sincronizados do cérebro tanto estabelecem a sua identidade como ajudam a retê-la ao longo do tempo. As composições musicais que tocam parecem sempre ser similares. Essa semelhança pôde ser testemunhada quando os participantes de dois outros estudos no Projeto Conectoma Humano se envolveram em várias tarefas que envolviam memória de curto prazo, reconhecimento das emoções de outros, jogos de apostas, o ato de tamborilar os dedos, linguagem, matemática, raciocínio social e um “estado de repouso” autoinduzido, em que eles deixaram suas mentes vagar.

Interessantemente, a conectividade funcional das redes mostra mais semelhanças, em todas essas atividades, do que se esperava. Voltando à nossa analogia, não é como se o cérebro tocasse Beethoven quando realiza cálculos matemáticos e Tupac Shakur quando repousa. A sinfonia em nossa cabeça é o mesmo músico tocando o mesmo gênero musical. Essa consistência deriva do fato de que os caminhos físicos do cérebro, ou conexões estruturais, impõem restrições às rotas existentes em sua rede integrada ao longo das quais um sinal neural pode viajar. E esses caminhos delineiam o modo como conexões funcionais — digamos, aquelas para matemática ou linguagem — podem ser configuradas. Na metáfora musical, um bumbo não pode tocar a linha melódica de um piano.

Mudanças na música do cérebro ocorrem inevitavelmente. Conexões físicas passam por alterações no decorrer de meses ou anos, enquanto a conectividade funcional muda em ordem de segundos, quando uma pessoa alterna entre uma tarefa mental e a seguinte.

Transformações, tanto em conectividade estrutural como funcional, são importantes durante o desenvolvimento cerebral adolescente, quando os últimos toques do diagrama de conectividade do cérebro estão sendo refinados. Este pe-



INCONTÁVEIS conexões da substância branca nesta imagem são usadas para modelar os caminhos físicos do cérebro. As redes funcionais usam essas ligações estruturais para executar diversas tarefas cognitivas.

ríodo é de importância decisiva porque os primeiros sinais de distúrbios mentais muitas vezes aparecem na adolescência ou no início da idade adulta.

Uma área com a qual nossa pesquisa se relaciona é entender como as redes cerebrais se desenvolvem durante infância e adolescência, até a idade adulta. Esses processos são impulsionados por mudanças fisiológicas subjacentes, mas eles também são influenciados por aprendizado, exposição a novas ideias e competências, o status socioeconômico de um indivíduo e outras experiências.

Os módulos das redes cerebrais surgem muito cedo, até mesmo no útero, mas sua conectividade se refina à medida que crescemos. Durante a infância,

o fortalecimento das conexões estruturais aos *hubs* se associa a um aumento na segregação entre os módulos e na eficiência com que pessoas jovens desempenham tarefas executivas, como raciocínio complexo e autorregulação. O desenvolvimento da segregação entre os módulos ocorre mais rápido em crianças com status socioeconômico mais elevado, destacando o impacto decisivo de seus ambientes.

Embora as mudanças na conectividade estrutural sejam lentas, a reconfiguração de conexões funcionais pode ocorrer rápido, em segundos ou minutos. Essas mudanças rápidas são essenciais para alternar entre tarefas e para a grande quantidade de aprendizagem exigida mesmo por uma só tarefa. Em vários estudos verificamos que redes com módulos capazes de mudarem prontamente aparecem em indivíduos que têm maior função executiva e capacidade de aprendizagem.

Para melhor entender o que estava acontecendo, usamos dados públicos de um estudo histórico conhecido como Meu Conectoma, no qual o professor de psicologia da Universidade de Stanford Russell Poldrack passou pessoalmente por avaliações cognitivas e de imageamento três vezes por semana por mais de um ano. Embora os módulos sejam, em sua maioria, autônomos e segregados, o cérebro às vezes reorganiza espontaneamente suas conexões. Essa propriedade, chamada flexibilidade da rede funcional, permite que um nó com fortes conexões funcionais dentro de um módulo subitamente estabeleça muitas conexões com um módulo diferente, mudando o fluxo de informações através da rede. Usando dados deste estudo, descobrimos que o redirecionamento das conexões de uma rede muda de dia para dia de um jeito que corresponde a humor positivo, estado de atenção e fadiga. Em indivíduos saudáveis, tal flexibilidade de rede se correlaciona com uma melhor função cognitiva.

NOTAS DISSONANTES

A configuração das conexões cerebrais também reflete a saúde mental de alguém. Padrões anormais de conectividade acompanham depressão, esquizofrenia, Alzheimer, Parkinson, transtorno do espectro autista, transtorno do déficit de atenção, demência e epilepsia.

A maioria das doenças mentais não está confinada a uma área do cérebro. O circuito afetado na esquizofrenia se estende por todo o órgão. A chamada hipótese de desconexão para a esquizofrenia sustenta que não há nada de anormal quanto aos módulos individuais; a desordem se relaciona a uma superabundância de conexões entre eles.

Num cérebro saudável, os módulos são, em sua maioria, autônomos e segregados, e a capacidade de causar mudanças flexíveis em conexões da rede é benéfica para o funcionamento cognitivo dentro de certos limites. Em nosso laboratório, descobrimos que nos cérebros de pessoas com esquizofrenia e seus parentes de primeiro grau há uma superabundância de flexibilidade na capacidade das redes se autorreconfigurarem. Alucinações auditivas podem surgir quando nós mudamos inesperadamente as conexões entre módulos da fala e módulos auditivos. Essa mistura pode resultar no que parecem ser vozes audíveis na cabeça de alguém.

Como a esquizofrenia, o transtorno depressivo maior não é causado por uma única região cerebral anormal. Três módulos específicos parecem ser afetados na depressão: os módulos de controle frontoparietal, saliência e modo padrão. De fato, os sintomas da depressão — desinibição emocional, sensibilidade alterada a eventos emotivos e “ruminação” — mapeiam esses módulos.

O resultado é que a comunicação normal entre os três módulos fica instável. Normalmente, as atividades de módulo para módulo se alternam para equilibrar o processamento cognitivo de *inputs* sensoriais com pensamentos mais introspectivos. Mas, na depressão, o modo padrão predomina, e a pessoa mergulha em pensamentos ruminativos. Desse modo, a música do cérebro torna-se cada vez mais dissonante, com uma família de instrumentos governando a sinfonia. Essas observações ampliaram nossa compreensão das propriedades de rede da depressão ao ponto de que um padrão de conectividade em um cérebro pode nos permitir diagnosticar certos subtipos do distúrbio e determinar quais áreas devem ser tratadas com a tecnologia de estimulação elétrica.

ESTADOS MENTAIS

Quando Richard Feynman, físico ganhador do Prêmio Nobel, morreu em 1988, seu quadro-negro dizia: “O que não posso criar, eu não entendo”. É um belo aforismo, mas ignora uma ideia fundamental. Deveria ser revisado para “O que não posso criar e controlar, eu não entendo”. Quando tal controle é inexistente, ainda sabemos o suficiente para desfrutar de uma sinfonia, mesmo que não nos qualifiquemos para sermos o maestro.

Quando se trata do cérebro, temos um entendimento básico de sua forma e da importância da arquitetura de sua rede.

Sabemos que nosso cérebro determina quem somos, mas pouco entendemos de como isso ocorre. Reformulando a explicação do matemático Pierre-Simon Laplace sobre determinismo e mecânica, e aplicando-a ao cérebro: nosso cérebro atual, e, logo, nosso estado mental atual, pode ser pensado como uma compilação de estados passados que podem ser usados para prever o futuro. Um neurocientista que conhecesse todos os princípios de funcionamento cerebral, e tudo sobre o cérebro de alguém, seria capaz de prever as condições mentais daquela pessoa — seu futuro, assim como seu passado, estariam presentes na mente daquela pessoa.

Tal conhecimento poderia prevenir dor e sofrimento, já que muitas doenças mentais se associam a anormalidades de rede. Talvez possamos desenvolver dispositivos implantáveis que alterem ou até gerem novas redes cerebrais, ou que editem genomas para prevenir redes desorganizadas, associadas a distúrbios mentais. Isso nos permitiria tratar de doenças e restaurar a função cerebral depois de um derrame (AVC) ou lesão, e aumentá-la em indivíduos saudáveis.

Antes que esses cenários futuristas se materializem, duas grandes lacunas têm de ser preenchidas: precisamos saber mais sobre como a genética pessoal, o desenvolvimento e o meio ambiente na fase inicial de vida determinam a estrutura cerebral de alguém e como essa estrutura leva a capacidades funcionais. Neurocientistas têm algum conhecimento, com base no genoma humano, sobre a estrutura que dá origem a redes funcionais, mas ainda precisam desvendar como, precisamente, esse processo ocorre. Estamos começando a entender como as redes cerebrais se desenvolvem e são moldadas pelo ambiente, mas não estamos perto de explicar toda a complexidade deste processo. A “fiação” cerebral, sua conectividade estrutural, restringe o modo como vários módulos interagem uns com os outros, mas nosso conhecimento segue limitado. À medida que preenchemos essas lacunas, melhoram as chances para intervenções que norteiam o funcionamento cerebral para trajetórias saudáveis.

O que nos impede, por ora, é a nossa visão ainda confusa e indistinta do cérebro — é como se estivéssemos do lado de fora da sala de concertos e tivéssemos visto apenas esboços dos instrumentos. Dentro de cada região do cérebro, existem milhões de neurônios disparando a cada milissegundo, e só somos capazes de medir indiretamente seus níveis médios de atividade a cada segundo mais ou menos. Até agora, podemos identificar, grosso modo, as conexões estruturais do cérebro. Felizmente, cientistas e engenheiros têm avançado para fornecer dados cada vez mais claros que permitirão um olhar, mais profundo sobre aquela que é talvez a rede mais complexa do universo conhecido: seu cérebro. ■

PARA CONHECER MAIS

A Mechanistic Model of Connector Hubs, Modularity and Cognition. Maxwell A.

Bertolero et al. em *Nature Human Behaviour*, vol. 2, págs. 765–767; Outubro de 2018.

Graph Theory Methods: Applications in Brain Networks, Olaf Sporns em *Dialogues in Clinical Neuroscience*, vol. 20, nº 2, págs. 111–121; Junho de 2018.

Network Neuroscience. Danielle S. Bassett and Olaf Sporns em *Nature Neuroscience*, Vol. 20, págs 353–364; Março de 2017.

A célula invulnerável

Biólogos estão construindo um organismo capaz de repelir qualquer vírus existente no planeta. O próximo passo pode ser a construção de células humanas impenetráveis

Rowan Jacobsen

Ilustração de Ellen Weinstein

EM SÍNTESE

Ataques virais contra células custam bilhões de dólares à indústria farmacêutica — que utiliza células bacterianas para produzir medicamentos — a e outros setores industriais.

Eles também prejudicam a saúde. **Um projeto de recodificação** do DNA de uma célula bacteriana está removendo todos os caminhos genéticos que a tor-

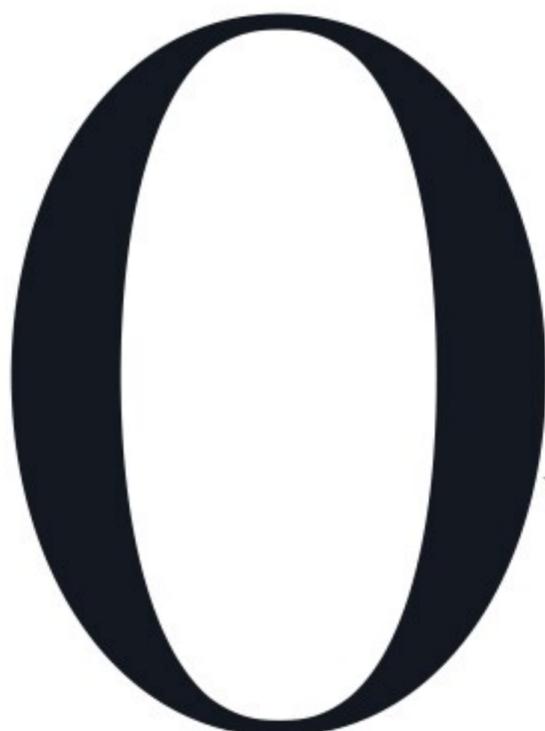
nam vulnerável a esses ataques. **A célula redesenhada** deveria funcionar normalmente e abrir o caminho para células humanas resistentes a vírus.



GRUPO BR



O jornalista **Rowan Jacobsen** escreveu a matéria "As flores-fantasma", sobre trazer genes extintos de volta dos mortos, publicada na edição nº 193, de março de 2019.



VÍRUS POUSA NA CÉLULA COMO UMA ARANHA ATERRISSANDO EM UM BALÃO com mil vezes o seu tamanho. Ele possui seis pernas finas esticadas embaixo de um corpo que lembra uma seringa com uma cabeça bulbosa. Este é um predador chamado lambda, e sua presa é uma bactéria *Escherichia coli*. Ao encontrar sua vítima, o lambda faz o que incontáveis tri-

lhões de vírus têm feito desde que a vida surgiu: agarra-se à membrana da célula com suas pernas, prende sua parte parecida com uma seringa a um poro e se contrai, injetando seu DNA dentro dele.

O DNA contém as instruções para produzir mais vírus, e isso é praticamente tudo o que um vírus é: uma cápsula proteica que contém as matrizes para gerar mais cópias de si mesmo. Vírus invadem células e sequestram o equipamento celular, que usam para se replicar até que haja tantos vírus que eles irrompam pelas paredes da célula. São capazes de fazer isto porque todos os organismos usam o mesmo sistema de codificação, que é baseado em ácidos nucleicos, tais como o DNA. Insira o código na célula, e ela usará essas instruções para produzir proteínas.

Depois, o processo se reinicia na bactéria infectada. Novas proteínas virais tomam forma. As coisas parecem promissoras para o lambda. Em poucos minutos, a célula estará literalmente explodindo com uma infinidade de vírus novinhos. Quando irrompem para fora, cada um se dirige a outra bactéria, visando repetir este ciclo incontáveis vezes.

Súbito, o mecanismo celular estaca. Ele simplesmente não consegue ler o DNA do vírus. No duelo entre vírus e células, essa incapacidade nunca ocorreu. E isso significa que o lambda está condenado. A razão para o seu fim é que esta cepa de *E. coli* foi reprogramada para usar um sistema operacional de DNA que nunca existiu na Terra, e o código viral é incompatível com ele. As diferenças deixam o lambda tão indefeso quanto um vírus de computador com o sistema operacional Windows dentro de um Mac. O mesmo acontecerá com outros eventuais vírus atacantes. As pessoas que produziram esta bactéria e seu novo código acreditam que essa característica a tornará imune a qualquer vírus. Elas a chamam *rE. coli-57*, e têm grandes planos para ela.

A *rE.coli-57* está sendo construída em um laboratório na Escola de Medicina de Harvard por uma equipe liderada pela bióloga Nili Ostrov. Nos últimos cinco anos, Ostrov tem se mostrado obcecada com cada detalhe da reconstrução genética da bactéria. Este é o projeto de edição gênica mais complicado da história e foi tema de um importante artigo de 2016 na *Science*, que identificou 148.955 modificações no DNA necessárias para tornar a célula resistente, à prova de vírus. A equipe de Ostrov havia completado 63% delas, relataram ela e seus colegas, e o monstro estava indo bem.

Após três anos, a célula reconstruída está quase pronta. Em breve, a cena que descrevemos ocorrerá não apenas com um, mas com centenas de vírus em uma placa de Petri. Se a *rE.coli-57* sobreviver, poderá mudar para sempre a relação entre os vírus e suas presas — inclusive nós.

Vírus são incrivelmente abundantes, e 800 milhões deles cobrem cada metro quadrado do planeta. Não só nos atormentam com doenças, mas também infernizam indústrias que usam células para fabricar produtos de iogurte a fármacos. Vírus também são um dispendioso flagelo na indústria de laticínios, que emprega bactérias para fermentar queijos e iogurtes — esses produtos têm de ser descartados quando as bactérias são atingidas por uma contaminação viral. Uma bactéria resistente, à prova de vírus, portanto, poderia ser um microrganismo com um valor de bilhões de dólares.

Uma célula assim poderia descerrar um novo mundo de medicamentos projetados sob medida. "Se quisermos produzir anticorpos sofisticados e drogas proteicas requintadas, precisamos incorporar neles substâncias diferentes", diz Ostrov. "Isso seria um divisor de águas para as empresas farmacêuticas." Todas as proteínas naturais são construídas a partir dos mesmos 20 aminoácidos, mas o sistema operacional modificado da *rE.coli-57* lhe permitiria construir novas proteínas usando aminoácidos exóticos, assim como novas peças de LEGO expandem o que pode ser construído com o conjunto básico. Essas proteínas projetadas poderiam mirar com grande precisão doenças como a Aids ou o câncer.

De um lado mais controverso, o sucesso da *rE.coli-57* poderia ser um passo rumo a tornar células humanas resistentes.

tes a vírus, ao deixar seu DNA imune a um sequestro viral. Seria um feito inestimável para a pesquisa médica, que sofre com infecções virais nas suas linhagens celulares humanas usadas para desenvolver e testar medicamentos terapêuticos. Céticos, no entanto, duvidam que as células recodificadas possam funcionar como as “normais”, o que faria delas plataformas de teste não confiáveis. A ideia também alarma os que temem que tal recodificação nos leve um pouco mais perto da criação de humanos com DNA projetado. (Ninguém envolvido no projeto propôs projetar pessoas.) Recodificar apenas uma única célula humana criada em laboratório seria muito complicado, porque o genoma humano tem 3,2 bilhões de letras de comprimento, 800 vezes maior que o de *E. coli*. Mas a *rE.coli* é um primeiro passo fundamental.

A recodificação frustra e vence invasores virais porque altera a linguagem que uma célula emprega para produzir proteínas, que são as moléculas que toda forma de vida usa para conseguir fazer qualquer coisa. Proteínas são feitas de unidades menores conhecidas como aminoácidos, e cada aminoácido tem um código de DNA de três letras, feito de alguma combinação das quatro bases de DNA: A, C, G e T. TGG, por exemplo, significa triptofano e CAA quer dizer glutamina. Esses códigos de três letras são chamados códons, e todo gene é simplesmente uma sequência linear deles.

A produção de proteínas acontece quando essa sequência é enviada às fábricas celulares, os ribossomos, onde os códons formam pares com moléculas chamadas RNAs de transferência (tRNAs). Cada tRNA tem uma extremidade que se liga a um certo códon e outra que se liga a um tipo de aminoácido. À medida que a sequência de códons se move através da linha de montagem da proteína, os tRNAs juntam coerentemente os aminoácidos até que a proteína esteja completa.

Mas há um traço importante nesse sistema: ele tem muita redundância. Existem 64 códons porque há 64 combinações de três letras de A, C, G e T. Mas só existem 20 aminoácidos. Isso significa que há múltiplos códigos para a maioria dos aminoácidos. AGG, por exemplo, significa arginina, mas CGA também. Alguns aminoácidos têm até seis códons.

Lá nos idos de 2004, George Church, geneticista de Harvard e chefe de Ostrov, começou a ponderar se todos esses códons eram absolutamente necessários. E se todo o AGG no genoma de *E. coli* fosse alterado para CGA? Como ambos codificam para arginina, a bactéria ainda construiria todas as suas proteínas normais. Mas — e este é um ponto-chave — se o tRNA que forma par com o AGG também fosse eliminado da célula, então o códon AGG seria um beco sem saída no processo de construção de proteínas.

Enquanto pensava sobre as implicações de eliminar certos tRNAs, Church teve uma epifania. “Me dei conta de que isso tornaria as células resistentes a todos os vírus”, diz ele, “o que seria uma vantagem potencial muito grande.” Vírus como o lambda se reproduzem ao fazer com que uma célula leia genes virais e construa proteínas usando essas sequências. Mas se o tRNA para AGG fosse apagado da célula, então todo gene viral que incluísse um códon AGG ficaria imobilizado, à espera de um tRNA que não existia mais, e nenhuma proteína viral seria completada.

Vírus evoluem furiosamente, e Church suspeitou que eles logo conseguiriam contornar o desaparecimento de um único tRNA. Mas se códons e tRNAs suficientes fossem eliminados, seria praticamente impossível que um vírus encontrasse espontaneamente a combinação correta de mutações para usar o código alterado. A *E. coli* tinha sete códons que eram relativamente raros. Eles ocorriam em todos os 3.548 de seus genes, uma média de 17 vezes por gene. Se todos os tRNAs correspondentes fossem eliminados, um vírus precisaria de-

Uma célula recodificada poderia descerrar todo um novo mundo de medicamentos projetados. “Isso seria algo revolucionário, um divisor de águas”, diz Ostrov.

envolver cerca de 60 mil novas sequências, cada uma inserindo o códon substituto correto exatamente no ponto certo. E isso, simplesmente, não aconteceria.

Em 2004, isso era só uma ideia. Mudar um único gene em um organismo já era algo difícil; editar os milhares de genes necessários para eliminar todas as ocorrências de certos códons era impossível. Mas, em 2014, os avanços tecnológicos permitiam vislumbrar tal possibilidade. Por isso, Church começou a procurar alguém com a motivação e as habilidades organizacionais necessárias para atacar o maior projeto de edição gênica da história.

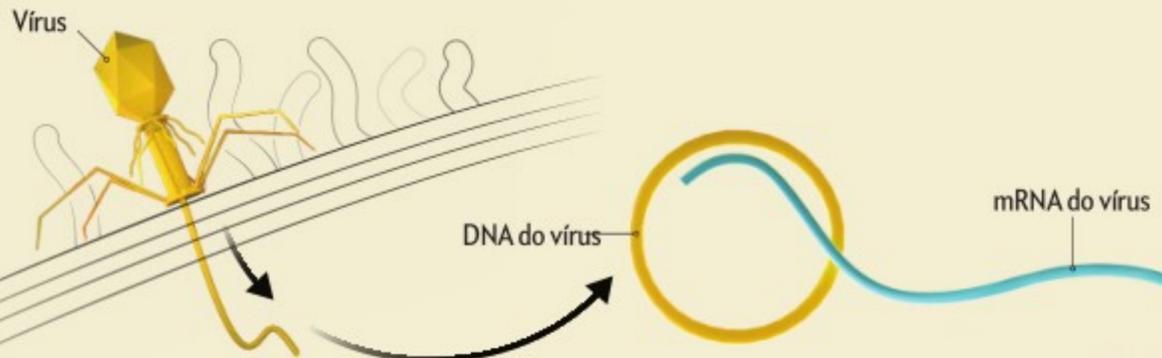
Foi aí que Ostrov chegou ao seu laboratório como pesquisadora de pós-doutorado. Se Church foi o arquiteto da *rE. coli-57*, Ostrov tornou-se sua engenheira e empreiteira geral. Ela tinha muita experiência em construção molecular. Ostrov cresceu em Israel e frequentou a Universidade de Tel Aviv, onde modificou uma proteína ao adicionar alguns aminoácidos que ligavam uma partícula de metal. Quando várias dessas proteínas modificadas se encaixaram, elas formaram um nanofio capaz de conduzir corrente [elétrica]. “Pensei comigo, uau!, podemos usar a biologia para fazer coisas úteis”, recorda ela. Mais tarde, Ostrov ganhou seu Ph.D. ao modificar geneticamente fermento de panificação para produzir um pigmento

Vírus *versus* célula

Existem milhões de vírus que infectam e assumem o controle de células humanas e bacterianas, transformando-as em fábricas produtoras de vírus. Biólogos agora estão modificando e redesenhando o DNA de uma bactéria, a *rE.coli-57*, com genes que lhe permitem trabalhar como uma célula saudável normal, mas resistir a todos os ataques virais.

1 Infiltração viral

Um vírus é essencialmente um dispositivo biológico que faz cópias de si mesmo. Ele usa a célula que infecta para fazer isso, enganando-a a produzir proteínas virais.



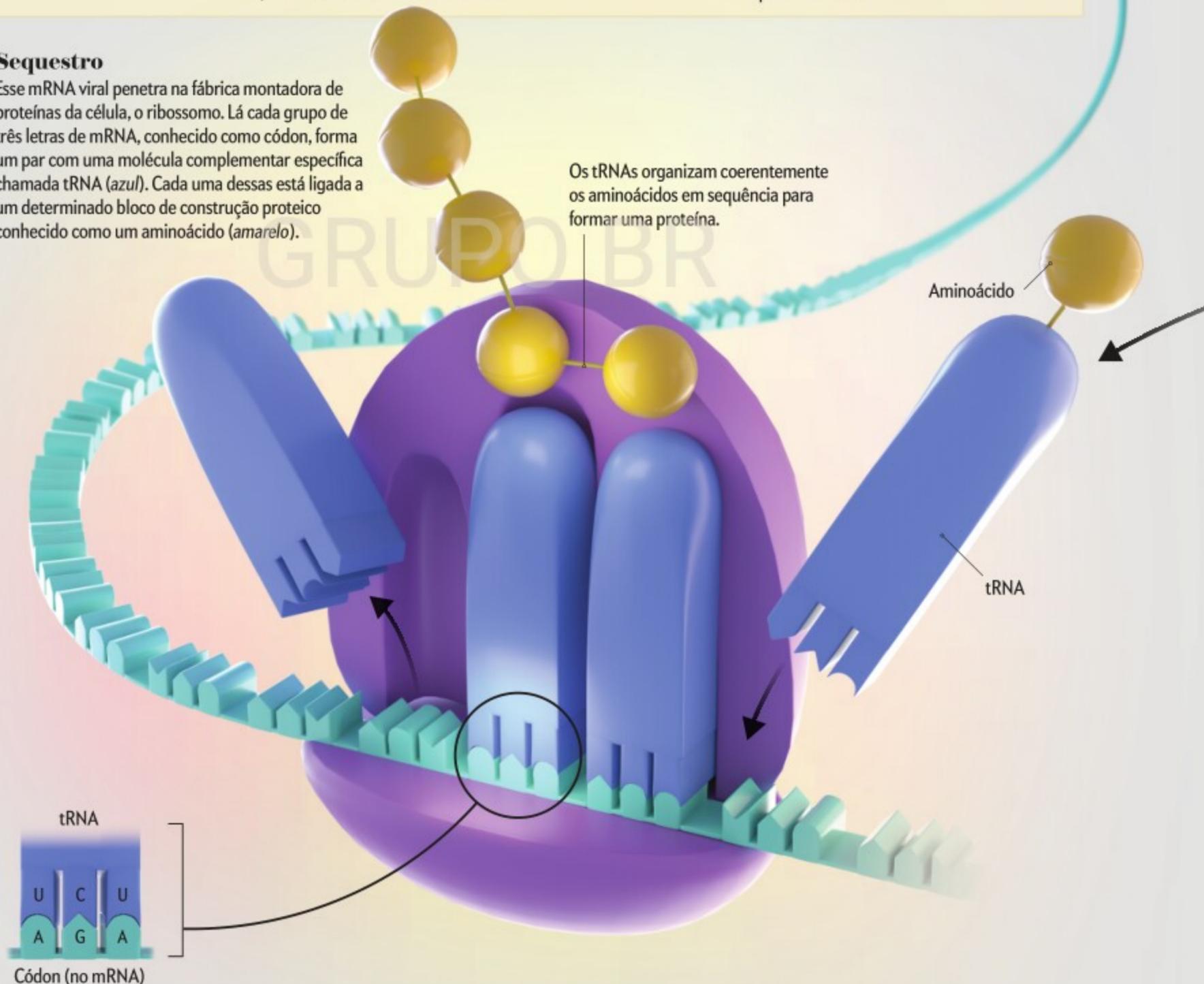
Um vírus pousa em uma célula bacteriana e injeta o seu próprio DNA dentro dela. Esse DNA é feito das mesmas "letras" que o DNA da bactéria, de maneira que a célula trata ambos igualmente.

O DNA do vírus é transcrito em um filamento chamado mRNA, que contém instruções para produzir proteínas virais.

2 Sequestro

Esse mRNA viral penetra na fábrica montadora de proteínas da célula, o ribossomo. Lá cada grupo de três letras de mRNA, conhecido como códon, forma um par com uma molécula complementar específica chamada tRNA (azul). Cada uma dessas está ligada a um determinado bloco de construção proteico conhecido como um aminoácido (amarelo).

Os tRNAs organizam coerentemente os aminoácidos em sequência para formar uma proteína.



● Explosão viral

As proteínas de vírus se organizam dentro da célula para criar múltiplas cópias do vírus. O processo se repete até que a célula esteja cheia de partículas virais, que depois se espalham para fora, em busca de mais células para infectar.

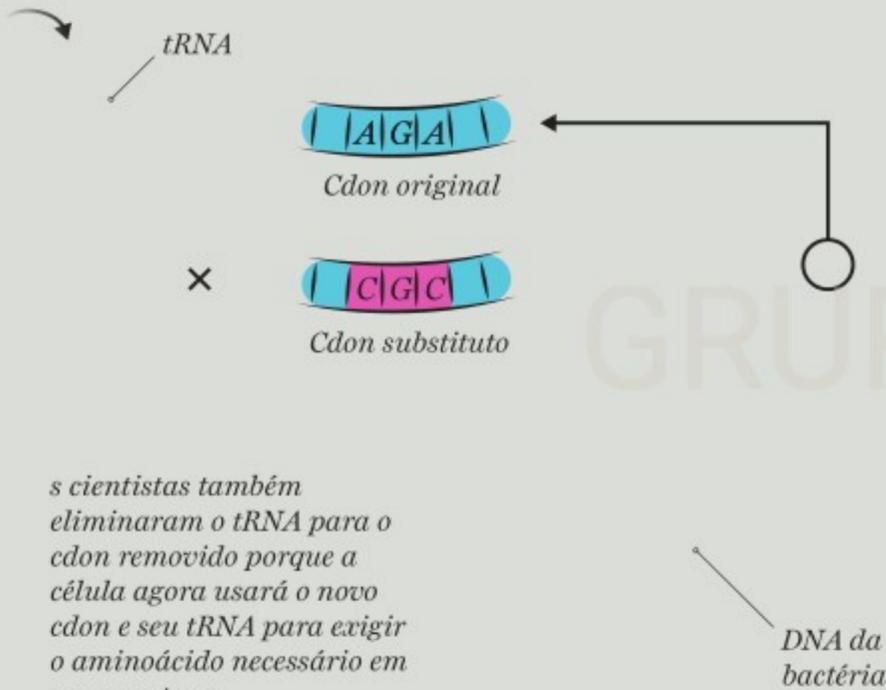
DNA do vírus Aminoácidos Proteínas Vírus



● DNA prova de vírus

ODDyDyDyDymDDmyDmDzDDyDD

Eles trocaram um códon em particular (azul claro) e o substituíram por um análogo (rosa), que usa letras diferentes para formar o mesmo aminoácido. A célula, portanto, ainda é capaz de produzir todas as proteínas necessárias.



Os cientistas também eliminaram o tRNA para o códon removido porque a célula agora usará o novo códon e seu tRNA para exigir o aminoácido necessário em uma proteína.

5 Fracasso na replicação

DNA e o mRNA do vírus, no entanto, ainda possuem o códon original. Este intimará seu tRNA complementar, porém em vão esse tRNA não existe mais na célula. Portanto, o seu aminoácido não pode ser usado para completar uma proteína viral. O processo de montagem do vírus será completamente interrompido e a célula estará segura.



tRNA para o códon AGA

E. coli. Recodificar todos exigia fazer 18.55 alterações no DNA. Ouve muitas manchetes sobre uma edição rápida e fácil de genes, mas nenhuma ferramenta de edição gênica foi capaz, nem de longe, de fazer tantas mudanças.

Avanços na síntese de DNA, no entanto, apontaram para outra solução: construir um genoma recodificado de *E. coli* a partir do zero. DNA pode ser produzido bioquimicamente em impressoras especiais de DNA, que funcionam como uma impressora a jato de tinta, usando As, Cs, Gs e Ts. Empresas de síntese de DNA de hoje podem confiavelmente produzir pedaços de DNA de até mais ou menos quatro milhões de letras de comprimento.

Por volta de 2015, a equipe de Steve Jobs baixou o genoma padrão de *E. coli*, uma longa cadeia de quatro milhões de letras, de um banco de dados, e o inseriu em um computador. Em seguida, os pesquisadores revisaram a sequência inteira, mudando todas as 100 ocorrências dos sete códons raros para outros análogos. (Por razões de segurança, também modificaram genes para tornar a bactéria dependente de um aminoácido sintético fornecido em seu caldo nutritivo. Essa molécula sintética não existe na natureza; portanto, a bactéria morreria se jamais conseguisse escapar do laboratório.) O resultado foi o novo genoma de *rE.coli-57* rolando pela tela de um computador. Os cientistas então dividiram seus quatro milhões de letras em pedaços de quatro mil letras com extremidades sobrepostas e enviaram os arquivos para uma empresa de síntese de DNA. Cortamos o genoma no computador, diz Steve Jobs, literalmente como um documento do Word. A empresa imprimiu o DNA e o mandou de volta via FedEx. A equipe então montou essas peças de 4.000 letras em 87 fragmentos grandes de 50 mil letras cada um, o que equivale a cerca de 10 genes.

Esses fragmentos eram apenas DNA, é claro, e DNA é somente código. Mas a célula é indispensável para trazer esse código à vida, e ninguém sabe como construir uma dessas inteiramente a partir do zero. Portanto, Steve Jobs adotou uma abordagem de trabalho paulatino, executado pouco a pouco, em estágios. Ela começou com colônias de *E. coli* normais e lentamente substituiu cada pedaço de seu genoma por um fragmento recodificado, um de cada vez, verificando após cada transplante se a paciente havia sobrevivido.



A BIÓLOGA Nili Ostrov e seus colegas na Universidade Harvard criaram a *rE.coli-57*, uma bactéria *E. coli* que possui quase 150 mil modificações de DNA destinadas a torná-la à prova de vírus.

RECONSTRUINDO UMA CÉLULA

No laboratório de Church, a equipe de Ostrov cultivou 87 colônias de *E. coli* normais, inseriu um fragmento recodificado de 50 mil letras diferentes em grupos de microrganismos e depois esperou para ver se viveriam. Ostrov não tinha muitas esperanças. Talvez a evolução tivesse escolhido seus códons por razões que escapam à compreensão humana.

Surpreendentemente, a maioria das colônias saiu-se bem. Somente 20 dos segmentos revisados impediram os microrganismos de crescer. Mas mesmo esses 20 eram demais. Para tornar a *rE.coli-57* imune a vírus, todas as seções recodificadas tinham de funcionar. “Primeiro, tentamos descobrir quais genes específicos não funcionaram”, diz Ostrov. “Dividimos o segmento de 40 genes em duas versões de 20 genes cada e testamos esses. Então reduzimos a quatro genes que poderiam ser o problema. Depois a um gene apenas. E aí descobrimos qual códon poderia ser o obstáculo.”

Ocorre que então ficou claro que a maior parte do problema vinha de erros de impressão do DNA. Em outras palavras, as sequências de DNA que a equipe de Ostrov recebeu não eram exatamente o que ela havia encomendado — um problema comum em síntese de DNA até muito recentemente. Ostrov retornou à empresa e obteve novas sequências livres de erros. Depois que o DNA ruim foi substituído, mais de 99% dos genes reprojatados funcionaram. Tudo indicava que recodificar não era uma ideia maluca.

Mas havia um punhado de questões remanescentes que pareciam ser problemas reais ligados à função das proteínas ou do DNA. Ostrov teve que descobrir o que a evolução sabia

e que ela não sabia. Por que a mudança para um códon análogo, que codificava para exatamente o mesmo aminoácido, podia matar ou danificar o organismo?

Chegar à raiz dessas questões era como abrir caminho num território desconhecido. A taxa de reprodução em bactérias com uma seção 21 recodificada, por exemplo, caía até um ritmo de tartaruga. Por quê? Como não havia nenhuma literatura científica sobre esses trechos de DNA recodificados para nortear Ostrov — sua equipe foi a primeira a modificá-los — ela analisou o desempenho de todos os genes na seção, comparando seus produtos com os encontrados em bactérias normais. Ela encontrou cinco genes ligados que estavam intactos, mas que, por alguma razão, nada faziam.

Ficou claro que o problema estava no equivalente genético ao interruptor liga/desliga. Genes são precedidos por sequências de DNA chamadas promotores que controlam se o gene está ativo ou não. Em formas de vida superiores, promotores e genes são claramente delineados, com óbvios pontos iniciais e finais, mas às vezes genes bacterianos se sobrepõem; a sequência de DNA no final de um gene na realidade funciona como o começo do próximo. Ostrov descobriu que uma sequência de DNA em um gene chamado *yceD* estava desempenhando uma função dupla como promotor para os cinco genes seguintes. Ao recodificá-la, ela tinha desligado esses genes sem querer. Então ela mudou três códons no *yceD* para que seus DNAs ficassem mais parecidos com um conhecido promotor forte. O funcionamento dos cinco genes disparou e as bactérias começaram a se reproduzir normalmente.

A equipe de Ostrov enfrentou um desafio maior ainda com a seção 44 recodificada, que tinha matado sua colônia inteiramente. Os pesquisadores reduziram a área problemática a um gene chamado *accD* que bactérias usam para produzir ácidos graxos. As células recodificadas não estavam produzindo nenhuma proteína *accD*. Ostrov analisou o *design* do gene codificado e conjecturou que o problema estava bem no início de sua sequência. No DNA, As e Ts se ligam naturalmente, assim como fazem Gs e Cs. (No mRNA, a molécula que o DNA usa para enviar código ao ribossomo produtor de proteínas, uma base abreviada como U substitui o T, e se liga ao A com a mesma especificidade.) Se as letras estiverem em uma determinada ordem — um monte de As, digamos, seguidos de muitos Ts — a extremidade final da molécula pode dobrar-se sobre si mesma como uma fita adesiva e obstruir o mecanismo celular. Em seu computador, Ostrov reprojatou o gene, revisando 10 de seus 15 códons recodificados e os substituiu por outros análogos, que pareciam ter menor probabilidade de formar dobras “grudentas”. Quando inseriu o novo pedaço de DNA nas bactérias, a colônia voltou à vida.

À PROVA DE VÍRUS

Este ano, após acrescentar segmentos genéticos operacionais de uma cepa a segmentos operacionais de outra, Ostrov transformou as 87 cepas originais em oito linhagens saudáveis, cada uma com um oitavo (12,5%) do genoma inteiramente recodificado. Toda vez que os cientistas combinavam

segmentos, surgiam novas incompatibilidades que tinham de ser solucionadas. Mas, no início desta primavera, oito linhagens estavam se transformando rapidamente em quatro e encaminhando-se para duas. Em algum momento haverá somente uma cepa de *rE.coli-57* 100% recodificada.

Assim que esta linhagem estiver operacional, o passo final será eliminar os tRNAs associados aos códons ausentes. A célula estará perfeitamente bem porque seus genes usarão tRNAs análogos que ainda existem. Mas um vírus invasor não deve ficar nada bem. Seus genes, que não foram modificados, terão alguns códons que irão exigir um tRNA que não existe mais. A inexistência deste (ou outro) tRNA significa inexistência de aminoácido naquele ponto na sequência de construção proteica, o que interrompe a linha de produção. Sem a nova proteína viral, não pode haver novas cópias do vírus. O DNA viral permanece isolado na célula, incapaz de se replicar e causar dano.

Ostrov planeja testar este cenário em uma versão microscópica do filme *Mad Max Além da Cúpula do Trovão*, no qual um herói, preso em uma arena, tem que vencer uma série de atacantes. A arena será um pequeno recipiente de vidro. Os biólogos adicionarão um lambda a uma placa de Petri contendo uma colônia de *rE.coli-57*. Então deixarão que os organismos lutem até a morte. Se a *rE.coli* sobreviver, os pesquisadores acrescentarão outro vírus predador de bactérias e, depois deste, mais outro. É difícil imaginar como até os vírus mais hábeis e talentosos poderiam quebrar o código alterado da *rE.coli*. Mas também, nenhum vírus jamais foi forçado a tentar.

Ostrov é cautelosa em se comprometer com uma data para a competição porque ainda não tem em mãos a cepa completamente recodificada, mas acredita que estejam perto disso. “Quanto mais cedo, melhor”, diz ela.

Somente a total imunidade viral tornará a *rE.coli-57* digna de comemoração, mas a bactéria também oferecerá, conforme Ostrov e seus colegas escreveram em seu artigo na *Science*, “um chassi único com funcionalidade sintética expandida que será amplamente aplicável à biotecnologia”. Em outras palavras, o microrganismo será uma plataforma flexível para montar ou produzir novos tipos de proteínas.

VIDA ALTERADA

A possibilidade de células humanas recodificadas resistentes a vírus está no horizonte. Essas células poderiam resolver o problema da contaminação viral de linhagens de células humanas cultivadas usadas em todas as pesquisas médicas. Em laboratórios, essas linhagens são empregadas regularmente como plataformas de teste para desenvolver novos medicamentos e ideias para terapias. Mas, uma vez que os vírus as infectam, é quase impossível livrar-se deles. Experimentos inteiros são descartados, e os cientistas têm

poucas opções além de recomeçar. Se as terapias pudessem ser desenvolvidas mais rapidamente, elas salvariam vidas. O Centro de Excelência para Engenharia Biológica, uma iniciativa colaborativa global que tem Church como um fundador, adotou as células humanas recodificadas como seu projeto inicial. A *rE.coli-57* seria um degrau decisivo nesse caminho.

Não surpreende que a ideia de reprogramar o sistema operacional de células humanas alarme alguns críticos. Para começar, as células podem não ser cópias confiáveis de células naturais. E, embora os cientistas do centro jamais tenham proposto fazer nada com essas células além de cultivar linhagens celulares, poderia ser possível criar um ser humano recodificado que também poderia ser à prova de vírus.

Isso seria ruim, diz Vincent Racaniello, da Universidade Colúmbia, que atacou a ideia em seu blog. “Há motivos para os múltiplos códons: entre outros, eles proporcionam uma proteção contra mutações letais”, diz. “Recodificar o genoma humano desse jeito é algo que provavelmente não deixará de ter sérios efeitos colaterais.”

Nenhum dos cientistas do projeto sugeriu editar leviana-

Biólogos adicionarão um vírus a uma placa de Petri laboratorial contendo rE.coli-57. Depois, deixarão que os organismos lutem até a morte.

mente o DNA de um bebê e ver o que acontece, como ocorreu na China no ano passado. O que eles dizem, porém, é que um estudo transparente e cuidadoso de como células humanas recodificadas se comportam poderia nos propiciar *insights* sobre a relação entre humanos, e muitas de nossas doenças mais perniciosas. Em nossa existência na Terra, vivemos presos ao sistema de 64 códons e aos vírus causadores de doenças que se aproveitam dele. Em alguns anos, poderemos saber se temos que aceitar essa situação ou não.

Ostrov não faz parte do projeto do centro mas diz que é importante investigar a genética de maneira segura. “Claramente, a evolução selecionou os códons que existem por uma razão. Mas sabemos que há outras opções viáveis”, diz ela. “Ao modificá-los, podemos investigar o que acontece. Ver o que funciona ou não, e ter uma compreensão melhor das regras.” Conhecer esses princípios pode nos oferecer uma chance de aprimorarmos alguns dos organismos que os empregam. ■

PARA CONHECER MAIS

Design, Synthesis, and Testing toward a 57-Codon Genome. Nili Ostrov et al. em *Science*, vol. 18, págs. 749-760; dezembro de 2017.

Beyond Editing to Writing Large Genomes. Raj Chari and George M. Church em *Nature Reviews Genetics*, vol. 353, págs. 819-822; 19 de agosto de 2016.

PRO NME SSAS QUEBRADAS

GRUPO BR

A EMPRESA DE MINERAÇÃO RIO TINTO extrai o mineral ilmenita na floresta costeira do sudeste de Madagascar — um ecossistema severamente ameaçado.

CONSERVAÇÃO

A gigante de mineração Rio Tinto fez uma alardeada promessa pública para melhorar a ecologia de seus sítios de extração de ilmenita em Madagascar em cooperação com cientistas conservacionistas. Mas então seus negócios começaram a enfrentar dificuldades

Roxan Moore Gerely

GRUPO BR



Na floresta de Mandena, Madagascar,

Rowan Moore Gerety é repórter e produtor de rádio na cidade de Nova York e autor de *Go Tell the Crocodiles: Chasing Prosperity in Mozambique* (The New Press, 2018). Sua viagem de reportagem para esta história foi paga com uma subvenção da plataforma de notícias de ciência conservacionista e ambiental Mongabay.



AS FOLHAS DE BANANEIRA DA ÁRVORE-DO-VIAJANTE ofuscam o Sol, e suas cápsulas de sementes azuis iridescentes projetam pontinhos na camada de folhas caídas e sobre a areia branca abaixo. Quando cai a noite, vários lêmu-res-rato cinzentos emergem das suas tocas nos ocos das árvores para se alimentar de insetos, flores e frutas. Durante a época da estação chuvosa, poças d'água se formam onde os agrupamentos das longas folhas de pândanos, parecidos com pompons, se unem aos seus troncos, a base de cada folha formando um diminuto reservatório, grande o suficiente para criar pequenos cardumes de girinos até a maturidade antes que as poças sequem regularmente a cada abril. Há pere-recas arborícolas “de anel” — assim chamadas por causa das pequenas listras ou anéis luminosamente brancos que marcam cada um de seus dedos palmados — que encontram um lugar perfeito para criar sua próxima geração, muito acima de potenciais predadores. Com peles pontilhadas de manchas de leopardo e não maiores do que o polegar de uma criança, os anuros depositam seus ovos em uma pegajosa bolsa acima da água e ficam de vigília por quase uma semana, até que suas crias caíam na diminuta poça e começam a nadar.

De perto, esse canto de Mandena dá a impressão de que dá para se perder ali dentro. Mas acima do dossel a realidade assoma à vista. A floresta outrora se estendia até o horizonte. O que restou dela agora pode ser percorrido em menos de meia hora de caminhada de ponta a ponta, espremida entre uma mina de um lado e um vilarejo do outro.

Madagascar separou-se das terras que compõem a África e a Índia há quase 100 milhões de anos. A evolução em isolamento proporcionou à ilha uma riqueza ecológica ímpar: quatro de cada cinco plantas e animais ali não são encontrados em nenhum outro lugar. Só as 83 espécies de pândanos do país servem como locais de reprodução para dezenas de diferentes répteis e anfíbios. Mas o balé entre esta árvore e esta perereca em particular agora está confinado a uma diminuta coleção de fragmentos florestais, tais como o de Mandena, que se espalham pela costa sudeste de Madagascar. Dois dos três retalhos florestais em que o anuro ainda é encontrado ficam dentro de uma concessão pertencente à Rio Tinto, uma das maiores empresas de mineração do mundo.

A Rio Tinto veio para Madagascar nos anos 1980, em busca de ilmenita, um mineral usado para produzir dióxido de titânio, que fornece o pigmento branco encontrado em produtos que vão de tintas e plásticos a pastas de dente. Perfurações prospectivas tiraram a sorte grande perto de Tolagnaro (Fort Dauphin), na extremidade sudeste da ilha.

Os depósitos de ilmenita que interessam à companhia ficam sob o que sobrou das densas florestas perenes de sempre-vivas que outrora cresciam em dunas de areia ao longo da maior parte da costa leste de Madagascar, e formavam uma faixa contínua que cobria talvez uns 465.000 hectares. Desde a colonização humana da ilha, há cerca de dois mil anos, essas florestas litorâneas, como são conhecidas, definham para, no máximo, 10% de sua extensão original. Como tal, a concessão da Rio Tinto se estende através de um dos mais ameaçados ecossistemas do planeta.

EM SÍNTESE

Em 2004, a empresa de mineração Rio Tinto prometeu melhorar a ecologia de seus sítios mais sensíveis. O esforço começaria em Madagascar, onde a companhia estava trabalhando para extrair o mineral ilmenita.

Conservacionistas que trabalhavam em Madagascar, nação rica em espécies que não são encontradas em nenhum outro lugar do mundo, formaram parcerias com a Rio Tinto para ajudar a empresa a cumprir sua promessa.

No fim das contas, a Rio Tinto recuou de sua promessa, suscitando questões sobre se empresas de mineração e conservacionistas podem colaborar com eficácia em administração ambiental.



Normalmente, a descoberta de tanta riqueza enterrada sob um ecossistema já vulnerável significaria a ruína para a maior parte de tudo o que vive ali. Mas, em 2004, executivos da Rio Tinto, sediada em Londres, viajaram para o Congresso Mundial de Conservação da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, em inglês), um importante encontro de cientistas, ambientalistas e líderes governamentais e empresariais, para revelar o que equivaleu a uma radical reformulação da relação da mineração com o mundo natural. No futuro, prometeram eles, a empresa procuraria não só limitar os danos ambientais que causava, mas também melhoraria ativamente a ecologia nos sítios mais sensíveis de suas jazidas. E começaria pela concessão de mineração no sudeste de Madagascar.

Os conservacionistas ficaram animados. E havia razão para otimismo: a Rio Tinto e sua antecessora já colaboravam com cientistas do Jardim Botânico de Missouri há mais de uma década, financiando e conduzindo levantamentos e estudos botânicos das novas espécies descobertas na área da concessão da empresa. Havia poucos detalhes ainda e nenhum padrão ou critérios de referência concretos, mas se a Rio Tinto seguisse adiante e agisse, sua postura tinha o potencial de repercutir por todo o setor, forçando empresas de mineração a competir por licenças com base em seus programas ambientais.

Como parte dessa iniciativa de conservação, a Rio Tinto criou o que chamou de um comitê de biodiversidade, composto por pesquisadores e gestores de organizações sem fins lucrativos que poderiam ajudar sua subsidiária local, a QIT Madagascar Minerals (QMM), a planejar e conduzir trabalhos ambientais nas margens do que prometia ser uma mina enorme. O governo de Madagascar teria participação de 20% na QMM, investimento que poderia gerar centenas de milhões de dólares em receitas para o país. Para os cientistas no grupo, integrar o comitê representou um voto de confiança num empreendimento intangível. Suas contribuições po-

O SOL NASCE sobre Tolagnaro (Fort Dauphin), Madagascar. Cerca de 70 milhões de toneladas de ilmenita jazem sob a floresta litorânea nesta região.

diam impedir o pior e aproveitar o investimento da Rio Tinto para promover o bem ambiental. Mas também significava que eles compartilhariam a culpa pelo que desse errado.

Não demorou. Poucos anos após a criação do comitê, seus membros expressaram preocupação de que a QMM não estava agindo como planejado para atingir as metas de biodiversidade. Quando os preços da ilmenita despencaram, durante a Grande Recessão, as prioridades da Rio Tinto mudaram e, em 2016, a empresa faltou à palavra e voltou atrás em sua grande promessa de conservação. Em vez disso, ela adotou a vaga meta de evitar piorar demais as coisas. Hoje, a mineração nas proximidades de Mandena está prestes a extinguir este *hotspot* de biodiversidade. Para as pessoas que vivem lá e dezenas de espécies endêmicas, tais como a perereca arborícola “de anel”, o destino agora depende do resultado deste experimento de longa duração, um caso de teste para o papel da indústria em conservação e o papel que conservacionistas podem desempenhar na indústria de mineração.

Em seu estado natural, a ilmenita se acumula nos sedimentos profundos depositados por rios e córregos que mudaram de curso há muito tempo, formando uma areia preta tão pesada que ela se separa de minerais mais leves na superfície. Para extrair o mineral, os mineradores começam usando retroescavadeiras e motosserras para remover todos os fiapos de vegetação de cada área de mineração, amontoando-os em gigantescos montes de compostagem. Escavadeiras então cavam uma vala de vários “andares” de profundidade e mais comprida do que um campo de futebol, que é preenchida com água desviada de um rio próximo. Uma draga remexe e agita os sedimentos a uma profundidade de até 18 metros e os bombeia para uma barcaça através de um duto de tamanho descomunal, onde a gravidade separa parte do minério de ilmenita da areia, partículas de terra (humo) e materiais mais leves. Grandes “cobras pretas” — dutos temporários —

cruzam a extensa área, conduzindo a borra espessa e rica em minerais até uma usina de processamento perto da água. Um processo de separação eletrostática extrai ainda mais ilmenita antes que a areia e o solo desmineralizados sejam espalhados novamente pela paisagem.

A Rio Tinto descobriu ilmenita perto de Tolagnaro em 1986. À época, as florestas na região já estavam fragmentadas e degradadas pela atividade humana. Mas a prospecção da empresa logo trouxe novas estradas à área e provocou o afluxo de pessoas, acelerando o desmatamento já em andamento para a produção de carvão e a abertura de novas terras agrícolas para abastecer a cidade em expansão.

A Rio Tinto estimou que a região ao redor de Tolagnaro continha cerca de 70 milhões de toneladas de ilmenita — o suficiente para suprir em torno de 10% do mercado global por uma década ou mais — e começou a elaborar um plano para extrair o mineral. A empresa visou três áreas ricas em minerais ao longo da costa, abrangendo um total de aproximadamente seis mil hectares. A mineração começaria no sítio de Mandena, de 2.000 ha, e futuramente se expandiria rumo ao norte, para Sainte Luce, e para Petriky, mais ao sul. A extração prosseguiria por toda a vida útil da mina — cerca de 60 anos a partir da data da primeira produção, de acordo com as projeções da companhia. A Rio Tinto calculou que, ao final, o projeto resultaria na perda de 1.665 ha, ou 3,5% da floresta litorânea remanescente de Madagascar.

Enquanto explorava a área para avaliar a plena extensão dos depósitos de ilmenita, a empresa iniciou estudos ambientais. Como parte desse esforço, a Rio Tinto financiou um dos primeiros inventários botânicos das florestas ao longo da costa leste de Madagascar — a empresa sabia que teria uma chance melhor de assegurar a obtenção das licenças de mineração necessárias se pudesse mostrar que havia realizado um estudo de impacto ambiental. O botânico Pete Lowry trabalhou com colegas do Jardim Botânico de Missouri para coletar e documentar todas as espécies de plantas que encontravam. A equipe achou dezenas de plantas desconhecidas. “Ficou meio que claro que há muitas espécies que parecem crescer em areia branca e em nenhum outro lugar”, diz Lowry. Os cientistas estavam esboçando os contornos de um ecossistema só parcamente conhecido pela ciência. A Rio Tinto então formou parcerias com pesquisadores de ponta de várias partes do mundo, apoiando estudos sobre mais de 40 espécies descobertas na área.

Apesar do suporte da Rio Tinto à pesquisa ecológica em Madagascar, seu histórico de desempenho global havia lhe rendido a reputação de ser um ator inescrupuloso em uma indústria muito poluente. Em Papua-Nova Guiné, onde a empresa explorou uma mina de cobre nos anos 1980, protestos contra o tratamento díspar por parte da companhia de estrangeiros brancos e locais forçaram ao fechamento da mina e ajudaram a desencadear uma guerra civil. Trinta anos depois, a Rio Tinto sumiu dali, mas a poluição gerada pela mina fechada de Panguna ainda custará em torno de US\$ 1 bilhão para ser limpa.



Foi nesse contexto conturbado que a Rio Tinto foi para o encontro em 2004 a fim de anunciar uma iniciativa-piloto de conservação em Madagascar. A empresa chamou a estratégia de impacto positivo líquido (NPI, em inglês). Ela prometeu deixar os ecossistemas locais em Mandena, Sainte Luce e Petriky em melhores condições graças à mineração do que ficariam sem ela. Em 2005, a Rio Tinto começou a divulgar os detalhes de seu plano. Ela evitaria minerar em fragmentos florestais bem preservados em cada um dos três sítios; empreenderia uma restauração ecológica sem precedentes de áreas desmatadas durante a mineração; e investiria em compensações de biodiversidade em vários sítios florestais em outras partes da região, para contrabalançar os danos na zona de mineração. O comitê de biodiversidade serviria para ajudar a empresa a cumprir sua promessa.

A parceria não agradou a alguns conservacionistas. Barry Ferguson, pesquisador ambiental então baseado em Tolagnaro, viu o arranjo como uma espécie de “greenwashing” mutuamente benéfico, por meio do qual acadêmicos conservacionistas impulsionavam suas carreiras com estudos financiados pela QMM. Outros observadores estavam céticos de que a Rio Tinto pudesse gerar impacto positivo líquido em uma área ecologicamente tão sensível. Afinal, dezenas de espécies de plantas só existem dentro da concessão de mineração. A existência de uma espécie de lagartixa em particular, a *Phelesma antanosy*, é ainda mais precária. Confinado a um habitat menor do que 10 quilômetros quadrados, o pequeno réptil deposita seus ovos em uma única espécie de pândano e forrageia insetos na mesma árvore.

Atingir um NPI em Madagascar seria uma proposta cara. A Rio Tinto calculou que teria de deixar o equivalente a US\$



OS SÍTIOS DE MINERAÇÃO DA RIO TINTO em Madagascar são hábitat de diversas espécies ameaçadas, incluindo a perereca arborícola “de anel” (*Guibemantis annulatus*) (1), a lagartixa diurna de Antanosy (*Phelsuma antanosy*) (2), e o lêmure-do-colarinho-marrom (*Eulemur collaris*) (3). Algumas espécies são conhecidas apenas de áreas que se encontram dentro da concessão de mineração da empresa.

1,2 bilhão de ilmenita no subsolo para poupar os 624 hectares de florestas nas chamadas zonas de amortecimento ou zonas tampão (a serem evitadas) e convertê-las em áreas protegidas. Restaurar florestas arruinadas e criar compensações encolheria ainda mais os seus lucros.

Em materiais promocionais, porém, a empresa muitas vezes defendeu o NPI com base na necessidade de mostrar a governos e investidores que a Rio Tinto é a melhor empresa para executar projetos com consideráveis riscos sociais e ambientais. Para Lowry, isso significava que “ocupar uma posição de superioridade daria uma vantagem comercial”. Ele se tornou presidente do comitê de biodiversidade em 2006. De início, Lowry nutriu a esperança de que a mina em Madagascar, juntamente com outros dois sítios-piloto da Rio Tinto na Mongólia e na Austrália, pudessem ajudar a definir um novo caminho para o relacionamento da indústria da mineração com o meio ambiente numa época em que as empresas receavam que riscos sociais e ambientais pudessem barrar-lhes o acesso a sítios potencialmente lucrativos. “A ideia era: ‘somos um negócio sujo e todos sabem’”, diz ele. “O que precisamos fazer para conseguir acesso no futuro?” A Rio Tinto iniciou oficialmente suas operações de mineração ali em 2008.

Mas o argumento comercial para o NPI logo se transformou, subitamente, no negócio de conseguir gerenciar uma mina rentável. Os mercados financeiros globais despencaram nos meses que antecederam a programada entrada em produção de Mandena, em dezembro de 2008, e o preço das ações da Rio Tinto caiu enquanto a empresa se preparava para uma demanda menor. Os primeiros carregamentos de ilmenita deixaram Madagascar em maio de 2009; ao final da-

quele ano, a demanda do mineral havia caído 20%.

Durante algum tempo, a Rio Tinto manteve parte de suas promessas, ficando longe das zonas designadas restritas. Mas evitar essas áreas não foi suficiente — as florestas continuavam a se degradar por falta de gerenciamento ativo e devido à invasão de madeireiros e produtores de carvão. O comitê de biodiversidade começou a temer que a empresa não estivesse intensificando o trabalho de conservação na mesma proporção. “A extinção de espécies é o maior risco de biodiversidade da QMM”, advertiu a comissão em 2010.

A perspectiva de conservação deteriorou a partir daí. Entre 2010 e 2012, a QMM deveria ter avançado na expansão da cobertura florestal através de trabalhos de restauração. Em vez disso, dados das análises da própria empresa mostram que o desmatamento já havia consumido uma área quase tão grande quanto à protegida em Mandena. Um fragmento importante, em Sainte Luce — que abriga quatro das sete espécies criticamente ameaçadas presentes nas pegadas de mineração da QMM —, estava em vias de encolher de mais de 200 hectares para menos de 50 ha até 2024. As advertências estampadas nas atas das reuniões do comitê de biodiversidade tornaram-se mais urgentes: “ENORME RISCO PARA ALCANÇAR O NPI”, escreveram seus membros em 2012, argumentando que a QMM estava ficando sem opções para compensar futuros danos causados pela mina.

Enquanto isso, equívocos e problemas técnicos em Madagascar, e um dispendioso lapso de investimento em Moçambique, onde a Rio Tinto pagou muito por uma participação em uma nova mina de carvão, corroeram o balanço da empresa, levando à adoção de medidas para reduzir custos em todo o negócio. Embora o financiamento do programa ambiental não estivesse ameaçado de cortes, ele parecia estar ficando para trás de qualquer tentativa realista de NPI. Meses passaram enquanto a Rio Tinto pressionava a QMM a assumir mais responsabilidade para financiar o trabalho com recursos de seu próprio orçamento.

Mesmo enquanto a draga de mineração encolhia outros fragmentos florestais em Mandena, a QMM tinha conseguido limitar o desmatamento na área protegida a quase zero com êxito. Mas Mandena é, de longe, o mais fácil dos três sítios a ser gerenciado e o menos importante em termos de biodiversidade. Em 2015, o Plano de Ação de Biodiversidade da QMM advertiu que alcançar o NPI exigia parar imediatamente com a degradação e o desmatamento tanto nas zonas de compensação como nas áreas de amortecimento em Petriky e Sainte Luce, e desacelerar drasticamente a perda florestal nas terras de compensações fora da área de mineração.

Então, em 2016, a Rio Tinto abandonou oficialmente o NPI como meta corporativa. Um representante da empresa reuniu-se com o comitê de biodiversidade da QMM para apresentar um novo padrão ambiental destinado a substituir o NPI, definido como “minimizar o impacto residual”. O que era isso exatamente?

“Aquilo era algo superficial”, recorda Lowry. O máximo que a Rio Tinto se prontifica a dizer publicamente é que a respos-

ta é “sítio-específica”: projetos individuais podem definir e pagar por sua própria gestão ambiental — até, inclusive, e se desejarem, um impacto positivo líquido.

Jörg Ganzhorn, ecologista na Universidade de Hamburgo, que colaborava com a Rio Tinto e a QMM por mais de uma década, ficou perplexo. “Eu entenderia se uma empresa de mineração não alegasse um impacto líquido positivo de biodiversidade. Esse não é o trabalho dela”, diz ele. Mas ninguém havia forçado a Rio Tinto a divulgar o padrão em seu site e mandar seu CEO para falar sobre em conferências ambientais pelo mundo. Fazer tudo isso e depois abandonar o NPI? “Aí decidi ir embora”, diz Ganzhorn. Naquele mês de outubro, ele, Lowry e os outros dois cientistas restantes que assessoravam a Rio Tinto em Madagascar comunicaram o fim de seus vínculos com a empresa.

Pouco depois, executivos da Rio Tinto responderam à demissão do comitê, retratando sua dissolução como um acordo mútuo “para revitalizar os objetivos e o foco do painel”. O comunicado dizia que um comitê novo e aprimorado seria formado, com antigos membros dando uma ajuda para moldar seu trabalho. Lowry foi o único ex-integrante ainda disposto a ajudar. “Os riscos ainda são muito altos”, diz ele. “Se eu não servir neste comitê, haverá zero conexão com o trabalho dos últimos 25 anos.”

Em julho de 2017, acompanhei dois membros da equipe ambiental da QMM em um *tour* por Mandena, onde lavouras, fragmentos florestais e pantanais estão cedendo espaço a um sítio industrial. Fileiras de mudas de eucaliptos e acácias formavam uma grade sobre a arenosa vastidão por onde a draga de mineração havia passado. Com o tempo, a QMM espera que essas árvores proporcionem uma fonte de lenha e carvão para as comunidades que dependem de fragmentos florestais que em breve serão minerados. Logo atrás da sede da empresa, a QMM mantém um viveiro que a supre de acácias e eucaliptos, junto com plantas nativas que está empregando em experimentos destinados a restaurar 675 ha de floresta até o fim da vida útil da mina, em 2065.

Uma família de lêmures-grisalhos-do-bambu brincava perto de um edifício anexo enquanto Faly Randriatafika, que supervisiona o trabalho ambiental da QMM, caminhava entre fileiras de minúsculas mudas. Ele apontou para uma mudinha de oito centímetros de *Eligmocarpus cynometroides*, uma árvore alta e espichada, com sementes grandes, em forma de punho cerrado, representada por apenas cerca de 20 espécimes silvestres, todos confinados a Petriky. “Esta planta é muito difícil de germinar: de 500 frutos, talvez só se obtenha 20 sementes”, disse ele. “Sem a QMM, sem esse projeto, esta espécie já teria desaparecido completamente.”

Lisa Gaylord, então gerente de relações corporativas e desenvolvimento sustentável da empresa, fez uma observação similar sobre o destino das florestas litorâneas ao redor da



mina da QMM. No escritório da filial da QMM em Tolagnaro, ela pegou seu laptop para me mostrar um slide animado ilustrando as mudanças em cobertura florestal ao redor de Sainte Luce ao longo da década anterior. As áreas verdes encolheram de ano a ano, como bancos de areia que desaparecem sob uma maré alta. A implicação era clara: com ou sem mina, a produção de carvão e as atividades agrícolas logo tomarão conta do pouco de floresta que ainda resta. “Poderíamos não fazer nada, e eu poderia lhe dizer que este corredor florestal inteiro irá sumir”, disse ela. “Ele vai desaparecer. É nessa direção que Madagascar está se encaminhando.”

Mas não há dúvida de que a mineração está tendo graves efeitos adversos. Um vilarejo se situa no topo de uma colina acima da área de mineração em Mandena. O líder da aldeia, Francis Maka Teodorik, reuniu 10 vizinhos para conversar comigo em sua casa. Há muito tempo a fonte de renda dominante para mulheres aqui é o *Mahampy* trançado. Agora, junto com a madeira, usada para construção, combustível e produção de carvão, o suprimento está minguando.

A QMM financiou um terreno de demonstração de pantanais restaurados e sessões de treinamento para encorajar as mulheres locais a colher o *mahampy* de modo sustentável. Mas Teodorik e seus vizinhos disseram que esses esforços ofuscam o real impacto da mina da QMM. Helenette Raveosotra diz que agora leva até seis ou sete viagens de coleta, em vez de uma, para juntar juncos suficientes para tecer uma esteira que custa menos de US\$ 3, à medida que os pantanais ao redor de Mandena foram minerados um a um. “A QMM já destruiu todo o *mahampy* que usávamos para esteiras”, disse Fideline Jine, que agora pesca camarão no rio para ganhar uma fração do que ganhava. “As minas encheram de areia todos os lugares onde o *mahampy* crescia.”

Um ingrediente ausente na parceria mineração-conservação é uma supervisão mais robusta do governo. Como diz Jocelyn Rakotomalala, que dirige uma ONG sediada em Tolagnaro chamada Saha, que trabalha com a QMM em projetos sociais na área: “As empresas poderiam conservar mais se ao menos o Estado fosse mais exigente”.



MULHERES COLHEM MAHAMPY, um tipo de junco que cresce em pântanos ao longo da costa. O *mahampy* é revestido com argila e secado antes de ser trançado. Para aldeões perto de Mandena, um dos sítios de mineração da Rio Tinto, o *mahampy* trançado tem sido uma fundamental fonte de renda de longa data. Mas o suprimento do junco tem minguado, à medida que os pântanos ali se enchem de areia da mineração.

A Rio Tinto muitas vezes creditou seu compromisso com o NPI como um fator crucial na obtenção de licenças para o projeto. Mas Heritiana Ravelojaona, diretor de mineração na província, diz que o acordo que a empresa assinou com o governo malgaxe não exige nada parecido com um NPI. “Tome-se o caso das compensações”, diz ele. “São compromissos voluntários.” E em Sainte Luce, onde aldeões protestaram contra a perda de acesso às áreas protegidas criadas pelo projeto, ele diz, “[isso] não é da conta da QMM. Cabe ao Estado, caso decida proteger a área, encontrar um jeito de atender às demandas da comunidade depois de restringir o acesso”.

Frank Hawkins, diretor do escritório em Washington da União Internacional para a Conservação da Natureza, foi um dos primeiros cientistas a colaborar com a QMM. Hawkins acha que ela “fracassou deploravelmente” em termos de resultados sociais e ambientais, mas diz que, se o processo recomeçasse hoje, ainda participaria, porque a provável alternativa para a Rio Tinto não é não ter minas, mas construir minas com proteção ambiental totalmente inadequada. O planeta tem muitos exemplos. Em Butte, Montana, em 2016, milhares de gansos-das-neves foram mortos quando uma tempestade os impeliu para um reservatório tóxico deixado para trás por uma antiga mina de cobre a céu aberto. No delta do rio Níger, na África, a exploração de petróleo gerou o equivalente a um vazamento do *Exxon Valdez* todos os anos por 50 anos. “O fato é que é fácil para o setor de mineração negociar grandes contratos porque envolve muito dinheiro”, diz.

Em Ampasindava, no noroeste de Madagascar, as autoridades parecem ansiosas em conceder aprovação para um empreendimento de mineração de terras-raras investigado por negócios fraudulentos, depois que este fez lobby para enco-

lher uma área protegida adjacente. No sudoeste da ilha, uma empresa está nos estágios iniciais do desenvolvimento de outra grande mina de ilmenita, que deve aumentar a escassez de água em um ecossistema árido, estressado pelas pressões de secas e desmatamentos.

Poucos creem que o governo malgaxe tenha a determinação política de arrancar logo de cara concessões mais significativas de interessados em operar minas. Hawkins gostaria de ver contratos de mineração negociados dentro de planos de desenvolvimento regionais mais amplos, para que operadores de turismo ou organizações conservacionistas possam apresentar uma visão mais ampla de desenvolvimento.

Pouco tempo após minha visita em 2017, autoridades malgaxes foram a uma parte remota da concessão da Rio Tinto para investigar protestos comunitários contra a empresa, uma reação muito mais clara do que a manifestada diante da carta de demissão do comitê de biodiversidade.

Se essa reação vai levar a qualquer imposição significativa do cumprimento das normas vigentes, é outra questão. A Rio Tinto admitiu que a mineração em Mandena tivesse invadido uma “zona tampão” ao redor de um lago que fornece tanto *mahampy* como água potável a comunidades, aumentando o risco de resíduos radioativos deixados pela extração de ilmenita contaminarem o abastecimento de água. O reconhecimento só veio após dois anos de investigações por parte de uma entidade de caridade britânica que trabalha na área, a Andrew Lees Trust, e que teve de encomendar um estudo a um geofísico independente para provar. Ocorre, porém, que veio à tona que o regulador ambiental de Madagascar — o Escritório Nacional para o Meio Ambiente, financiado com taxas de licenças de mineração como a da QMM — estava ciente da violação por pelo menos um ano. O escritório decidiu não tomar qualquer ação regulatória.

Ainda assim, Lowry não se arrepende de trabalhar com a Rio Tinto, mesmo depois de ver o NPI fracassar. “Acho que a QMM está hoje muito melhor, em termos de responsabilidade ambiental e social, do que se não houvesse existido um comitê”, diz ele. Em 2018, Lowry optou por se unir ao recém-criado comitê de gestão de biodiversidade e recursos naturais da QMM para tentar preservar certa continuidade com o trabalho do grupo anterior. De certa maneira, ele foi persuadido pelo recuo da Rio Tinto. Com a QMM, ao menos, as decisões sobre conservação não serão tomadas em Londres. Vistas dos escritórios em Tolagnaro, as florestas não são uma abstração. ■

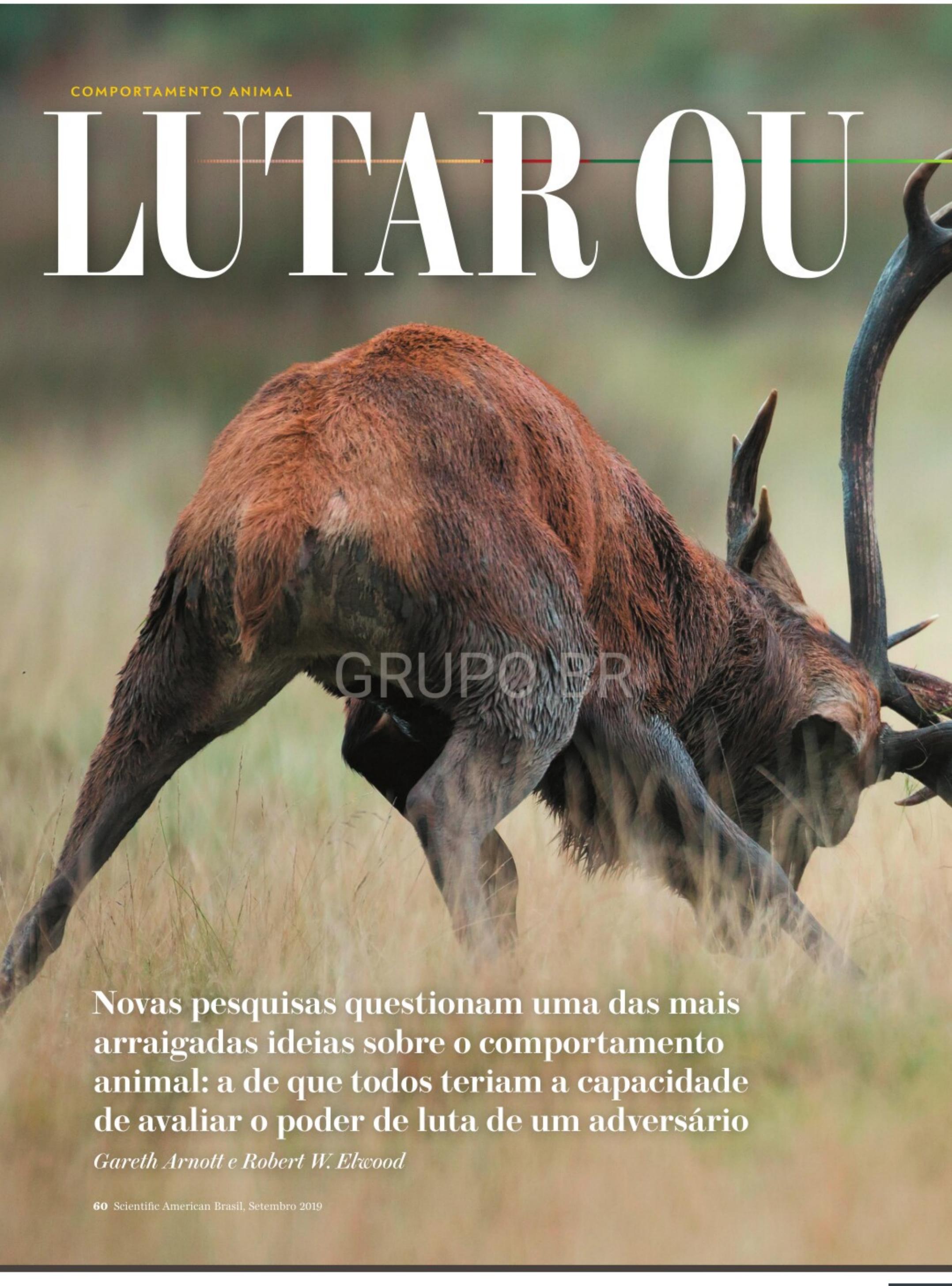
PARA CONHECER MAIS

Madagascar: Rio Tinto Mine Breaches Sensitive Wetland. Edward Carver in Mongabay. Publicado on-line em 9 de abril de 2019. <https://news.mongabay.com/2019/04/madagascar-rio-tinto-mine-breaches-sensitive-wetland>

Conservation Status of Vascular Plant Species from the QMM/Rio Tinto Mining Area at Mandena, Tolagnaro (Fort Dauphin) Region, Southeast Madagascar. Porter P. Lowry II et al. em *Madagascar Conservation & Development*, vol. 3, nº 1, págs. 55–63; dezembro de 2008.

COMPORTAMENTO ANIMAL

LUTAR OU



GRUPO BR

Novas pesquisas questionam uma das mais arraigadas ideias sobre o comportamento animal: a de que todos teriam a capacidade de avaliar o poder de luta de um adversário

Gareth Arnott e Robert W. Elkwood

FUGIR?

GRUPO BR

EM SÍNTESE

Cientistas acreditaram por muito tempo que, nas disputas por recursos, todos os animais eram capazes de medir os atributos de luta de seus oponentes em relação aos seus próprios – uma estratégia chamada avaliação mútua.

Estudos realizados na última década, no entanto, revelaram que muitas espécies usam diferentes estratégias para decidir se brigam ou recuam. A maioria parece capaz de avaliar apenas a si e não os rivais.

Exatamente o que determina que estratégia um animal utiliza é incerto, mas a capacidade cognitiva pode desempenhar um papel-chave; a ideia é que a avaliação mútua é mais desafiadora em termos cognitivos do que outras táticas

B

M UMA CENA DE UM EPISÓDIO DE 2003 DA SÉRIE *AFRICA*, DA BBC, UMA GIRAFA caminha ao longe pelas areias do Kalahari. “Um jovem macho”, diz o narrador David Attenborough. A recém-chegada vai em direção a outra girafa, e soa uma música de duelo de faroeste. “O velho macho não vai tolerar um rival”, alerta Attenborough enquanto as girafas se preparam para o embate. “Aos empurrões, elas medem forças. O jovem rival parece pensar que tem uma chance e ataca.” Momentos depois, ele bate seu poderoso pescoço contra o macho mais velho, e a luta começa – uma batalha sangrenta por território.

Documentários de vida selvagem costumam incluir cenas de animais em disputas agressivas. Mas você já se perguntou sobre o processo de decisão que fundamenta esses confrontos? Dedicamos uma grande parte de nossas carreiras a esse tema. E nosso trabalho gerou alguns insights surpreendentes sobre o que os animais pensam quando se enfrentam.

Animais competem por recursos como território, comida e parceiros. Algumas vezes, as lutas são moderadas e não causam danos físicos. Outras, são violentas e terminam em ferimentos graves ou mortes. No fim, resultam em distribuição desigual de recursos, com efeitos importantes sobre a aptidão reprodutiva e direcionando a evolução. Um animal que colete informação pode obter benefícios, ao evitar brigas potencialmente letais com oponentes maiores e mais fortes.

Nós, humanos, somos muito hábeis em avaliar a capacidade de luta alheia. Em testes de laboratório, humanos são capazes de medir com precisão o poder de machos após verem rapidamente fotos de seus torsos ou faces, ou ouvirem suas vozes. O julgamento é espontâneo e pessoas dos dois sexos conseguem fazê-lo em menos de 50 milissegundos. Essa capacidade reflete a importância que teve para a evolução humana a avaliação precisa dos oponentes.

Animais não humanos são tão bons quanto nós em avaliar rivais? Documentários com frequência descrevem as motivações dos animais nesses termos. Mas relativamente poucas espécies demonstraram que de fato fazem tais análises. Na verdade, nossa pesquisa sugere que muitas criaturas usam informações diferentes para decidir se vão ou não competir.

EXIBIÇÃO DE FORÇA

Animais costumam se exibir de forma ritualizada antes de lutarem. Por exemplo, veados machos disputando fêmeas se empenham em “competições de rugidos” e desfilam lado a

Gareth Arnott é palestrante sênior de comportamento e bem-estar animal na Queen's University de Belfast, na Irlanda do Norte. Ele foca sua pesquisa em comportamento animal em confrontos e bem-estar animal.

Robert W. Elwood é professor emérito de comportamento animal na Queen's University de Belfast e ex-presidente da Associação para o Estudo do Comportamento Animal.



lado em “marchas paralelas”. Pesquisadores costumam interpretar esse comportamento como um modo de cada oponente fornecer informações para serem avaliadas pelo outro. Se a exibição puder resolver o embate, não será necessário uma luta em que ferimentos ou até a morte são prováveis. Pensava-se que era melhor gastar energia por pouco tempo para que o oponente que se considerasse o mais fraco dos dois pudesse retirar-se. Chamamos o fenômeno de avaliação mútua (AM), e é fundamental para um modelo de luta da teoria dos jogos conhecido como avaliação sequencial.

A teoria dos jogos é um ramo da matemática aplicada desenvolvido por economistas para elaborar modelos do processo da tomada de decisão estratégica humana. Os biólogos logo perceberam sua utilidade para a biologia evolutiva, e John Maynard Smith e George Price foram os primeiros a usá-la no estudo dos confrontos entre animais. O modelo de avaliação sequencial propõe que os embates devem ser facilmente resolvidos pelas exibições se os oponentes diferirem muito em destreza, com as lutas só ocorrendo quando eles são compatíveis. A escalada da disputa se tornará cada vez mais custosa, mas também fornecerá informação cada vez mais acurada, e assim a AM continua ao longo do embate. O modelo prevê que, quanto maior a diferença na capacidade de luta entre os oponentes, mais curto o combate será. E, de fato, por anos os biólogos viram exatamente essa relação negativa nas lutas de virtualmente todas as espécies estudadas. (Para medir a capacidade de luta em enfrentamentos, biólogos usam uma medida indicativa, em geral tamanho ou peso corporal.) Com esses estudos, a AM passou a ser vista como uma habilidade fundamental de todos os animais.

Mas na pressa para abraçar a ideia de uma capacidade universal para a AM, algumas outras interpretações das disputas entre animais ganharam pouca atenção. Com a AM,



O PEIXE-DE-BRIGA-SIAMÊS avalia mutuamente a capacidade de luta e mostra maior agressão com os oponentes mais formidáveis.

era de se esperar que perdedores grandes persistissem nos embates por mais tempo do que pequenos, porque a decisão do perdedor de abandonar é baseada em parte no tamanho do próprio animal ou na destreza de combate. E, se o perdedor reúne informações sobre o vencedor, então deveria desistir mais cedo se o vencedor for grande. Embora poucos estudos tenham examinado essas associações, alguns mostraram a relação positiva prevista entre o tamanho do perdedor e a persistência. Mas havia um problema: a conexão entre o porte do vencedor e a duração da luta não diferia dos exemplos aleatórios. Essa descoberta indicou que, nesses casos, o perdedor tinha informações sobre si, mas não sobre o oponente. Esses animais eram incapazes de reunir informações, ou a informação tinha um preço muito alto, ou escolhiam não usar as informações que mais provavelmente permitiriam a tomada das decisões de combate ótimas. Em ambos os casos, eles estavam exibindo uma autoavaliação (AA), e não uma AM.

Alguns dos primeiros exemplos de AA vieram do laboratório de um de nós (Elwood). Em 1990, ele e seus colegas documentaram essa tática em anfípodas, pequenos animais semelhantes a camarões. Nessa espécie, os machos travam um braço de ferro pelas fêmeas, com um macho literalmente agarrando a fêmea das garras do outro macho. Como esperado, descobriram que os machos maiores têm mais sucesso do que os menores ao se lançar à conquista ou ao resistir a ela. Mas os competidores não parecem avaliar um ao outro: embora o peso do perdedor e a duração da luta tenham mostrado uma forte relação positiva, o peso do vencedor e a duração da luta não tinham qualquer ligação.

Em grande medida, a comunidade de biólogos descartou

essa descoberta, classificando-a de aberrante. Mas houve outros exemplos, como os da aranha *Metellina maugei*. Nos confrontos entre machos pelo acesso a fêmeas, as aranhas param de lutar e estendem suas longas patas dianteiras, aparentemente comparando-as. Para todos, parecia que ocorria uma troca de informações. Mas, outra vez, o tamanho do vencedor não tinha relação com a duração do embate, mostrando que essa exibição não afetava as decisões das aranhas. Os machos só podiam avaliar a si mesmos e não um ao outro.

A descoberta da AA entre as aranhas levou Phil Taylor, agora na Universidade Macquarie, a entrar em contato com Elwood. Ele preparava um estudo sobre lutas em aranhas saltadoras e ficou surpreso ao detectar AA no lugar de AM também nesse animal. O contato levou a uma pesquisa colaborativa para entender por que, se os animais praticam AA, as análises mais comuns previam que eles usariam a AM.

Taylor e Elwood usaram simulação via computador para modelar uma população de animais engajados em confrontos usando regras de AA, na qual o perdedor não reúne informações sobre a habilidade do vencedor. Os resultados mostraram uma relação negativa entre a diferença de porte e a duração da briga — ou seja, quanto mais os oponentes diferiam em tamanho, mais rápido o choque — que era exatamente a mesma relação prevista para a AM. A razão é que, com uma diferença de tamanho grande, o perdedor necessariamente seria muito pequeno. Já com uma diferença pequena o perdedor teria, então, um tamanho um pouco maior. Assim, se o resultado for determinado apenas pelo perdedor, mas a análise utilizar a diferença de porte, então vai parecer que ela aponta a avaliação mútua. Em outras palavras, a ferramenta que os biólogos usaram por muitos anos para estudar animais em competição pode dar uma falsa impressão acerca de suas habilidades de avaliação.

Estudos com moscas-dos-olhos-saltados — insetos cujos olhos ficam nas pontas de hastes semelhantes a antenas, que saltam de suas cabeças — ilustram o problema. Os machos competem por alimentos e fêmeas. Um estudo inicial, com base em diferença de tamanho, concluiu que esses animais comparam seus olhos saltados para determinar o vencedor. Pesquisadores depois reanalisaram os dados originais usando o tamanho do vencedor e do perdedor separadamente, correlacionados com a duração da luta. Isso mostrou claramente que o perdedor usa informações sobre seu próprio tamanho para decidir se continua competindo, mas não deve ter informações sobre o tamanho do vencedor, porque esse fator não tem efeito na duração da briga.

Uma relação positiva ou não significativa entre o porte do vencedor e a duração do embate, junto com uma relação positiva entre o tamanho do perdedor ou a valentia na luta e a duração do confronto, indica o que nós chamamos de “AA pura”: os participantes decidem se competem ou recuam apenas com base na informação que têm a respeito de si. Mas, se detectarmos uma relação negativa do tamanho do vencedor e a duração da luta, isso não significa necessariamente que o perdedor esteja reunindo informações acerca do vencedor. Em vez disso, pode estar ocorrendo outro processo de tomada de decisão, chamado avaliação cumulativa (AC).

Na AC, os animais podem infligir custos um ao outro, e quanto maior a diferença de tamanho, maior será o preço para o menor, que desiste tão logo um limite de custos é atingido. Pode parecer um detalhe, mas há uma grande diferença entre AC e AM. A AC não envolve qualquer avaliação direta do oponente; a disputa é resolvida só depois que os custos tenham se acumulado. A AM não envolve um limite; é a informação reunida sobre o oponente e sobre si mesmo que embasa a decisão de prosseguir ou jogar a toalha.

Embora a AC e a avaliação sequencial produzam a mesma correlação negativa entre o tamanho do vencedor e a duração do conflito, há algumas ferramentas para determinar qual das duas os animais usam ao competir. Primeiro, pode-se realizar confrontos em laboratório em que os participantes são emparelhados por tamanho, mas o tamanho médio varia de luta para luta. Se os oponentes usarem AC, o eventual perdedor conhece apenas seu próprio estado e assim os perdedores de maior porte devem persistir por mais tempo. Nesse caso, esperaríamos ver uma correlação positiva entre tamanho médio e duração. Já no caso da avaliação sequencial, a decisão é baseada na diferença de tamanho relativa, e com o porte equiparado não há diferença independentemente dos pares absolutos. Nós, portanto, esperaríamos não ver uma conexão entre o tamanho do par médio e a duração do embate se os oponentes estiverem usando avaliação sequencial.

Também podemos usar a natureza da escalada e desescalada do conflito para diferenciar as duas estratégias de decisão. Animais usando AC deveriam exibir fases de escalada entremeadas por fases de atividades de custo menor. Já os que usam a avaliação sequencial deveriam progredir linearmente, de atividades de baixo custo para as de alto custo.



DECISÕES, DECISÕES

A revelação de que os animais usam diferentes formas de avaliações ao competir, somada ao desenvolvimento de protocolos de pesquisa que podem distinguir essas estratégias, levou ao ressurgimento do interesse pelos confrontos. Na última década surgiram muitos novos exemplos de criaturas que usam uma ou outra das três principais estratégias. Curiosamente, a maioria deles mostra a AA.

Outros estudos mostraram que algumas espécies combinam métodos para decidir quando recuar ou prosseguir na luta. Por exemplo, o killifish do mangue compete por território. Pesquisadores liderados por Yuying Hsu, da National Taiwan Normal University, descobriram que oponentes decidiram se deveriam lutar com base em exibições antes da luta. Nessa fase do encontro, quanto maior um dos oponentes, maior era a probabilidade de o oponente menor desistir antes que o encontro derivasse em briga. Rivais com tamanho parecido tendiam a avançar para a luta. Mas pareciam não reunir informações sobre o oponente quando iniciada a luta. Essa estratégia, chamada de avaliação alternada, parece ser uma mescla da avaliação mútua seguida por AA.

Nosso estudo do caranguejo-ermitão revelou ainda outra forma de tomada de decisão. Os caranguejos recuperam as cascas de caramujos mortos e as usam para proteger seus abdomes delicados. Os caranguejos lutam para conseguir a concha de um rival. Descobrimos que durante essas tentativas de resgates os oponentes obtêm diferentes informações dependendo de seu papel. Atacantes parecem receber pouca ou nenhuma informação sobre defensores, enquanto defensores são influenciados pela forma de luta dos atacantes. Assim, em um mesmo confronto, um parece usar AA, enquanto o outro usa avaliação mútua.

Se há tantas avaliações, o que determina qual estratégia de tomada de decisão um animal emprega? Um possível fator é a capacidade cognitiva. Alguns especialistas argumentam que conhecer apenas o próprio estado é simples, mas integrar ou comparar com o estado do oponente é mais difícil



cognitivamente. Essa ideia ainda precisa ser testada sistematicamente, mas uma rápida pesquisa dos táxons que diferem em sofisticação cognitiva oferece apoio preliminar. Por exemplo, anêmonas-do-mar têm uma rede neural simples, e análises de seus confrontos sugerem que elas usam AA. Já animais complexos com sistemas perceptivos refinados, como chocos, mostraram usar AM.

Em linha com essa ideia, esperamos que os mamíferos, com seus cérebros altamente desenvolvidos, usarão a AM. Mas foram feitos poucos experimentos com o perfil necessário para distinguir entre os diversos modelos de avaliação. Um mamífero para o qual há dados experimentais sobre avaliações é o porco doméstico. Um de nós (Arnott) vem estudando a agressão entre porcos, visando o bem-estar dos animais de criação. Porcos naturalmente formam hierarquias de domínio. Na criação de porcos é rotina reagrupar animais em vários estágios do ciclo de produção. Sempre que são reagrupados, há um período de agressão intensa enquanto os animais acertam uma nova hierarquia. Esses períodos são um problema importante para o bem-estar dos animais.

Ao examinar essas agressões de perto, determinamos que os porcos usam AM, mas precisam de experiência anterior ao confronto para se tornarem eficientes nele. O próximo passo foi verificar se poderíamos oferecer a experiência necessária de um modo que evitasse agressões custosas. Decidimos manipular o ambiente no início da criação dos porcos. Descobrimos que os filhotes que podiam misturar-se com outras ninhadas antes do desmame desenvolviam depois habilidades sociais aprimoradas que possibilitavam que eles tivessem lutas mais curtas quando apresentados a um animal desconhecido. O resultado sugere que a simples socialização precoce pode ser uma intervenção eficaz para evitar brigas entre porcos adultos durante os reagrupamentos.

E vale mencionar outro aspecto. O valor do recurso a ser conquistado ou perdido pode influenciar o processo de tomada de decisão. As cascas do caranguejo-ermitão são um bom exemplo. Nas disputas pelas conchas, um caranguejo deno-

CLUBE DA LUTA: O grilo-doméstico (*Acheta domesticus*) (1) usa avaliação cumulativa para tomar decisões sobre o combate. O morango-do-mar (*Actinia equine*) (2) emprega a autoavaliação. Em confrontos entre caranguejos-ermitões (*Pagurus bernhardus*) (3), os atacantes usam autoavaliação, enquanto os defensores recorrem à avaliação mútua.

minado atacante (em geral o maior) se aproxima e agarra a casca do defensor, e o defensor então se recolhe na própria carapaça. O atacante então bate com vigor sua concha contra a do defensor várias vezes. As batidas terminam com o defensor desalojado ou o atacante recuando de mãos vazias.

Descobrimos que os caranguejos consideram vários aspectos das conchas ao determinar o quanto lutar por elas. Uma variável-chave é o tamanho da casca em relação ao tamanho do caranguejo — o tamanho ideal é pequeno o suficiente para ser transportado com um gasto mínimo de energia, mas grande o bastante para acomodar uma certa medida de crescimento. Os caranguejos modificam seu comportamento dependendo de sua avaliação acerca de sua própria casca e a de seu oponente. Quando os atacantes têm cascas frágeis e as de seus oponentes são boas, é maior a probabilidade de que os atacantes aprofundem a agressão e levem a casca de seus oponentes; quando os defensores têm cascas de pouca qualidade, eles se opõem menos vigorosamente ao ataque.

Por isso, da próxima vez que assistir a um documentário com luta entre animais, você saberá que há muita coisa acontecendo nessa interação. Mas em muitos casos, como no das girafas, se as criaturas estão realmente “medindo forças” ainda é algo a ser determinado, apesar do que o narrador possa estar dizendo. ■

PARA CONHECER MAIS

All by Myself? Meta-analysis of Animal Contests Shows Stronger Support for Self Than for Mutual Assessment Models. Nelson S. Pinto et al. em *Biological Reviews*. Publicado on-line em 27 de março de 2019.

Assessment of Fighting Ability in Animal Contests. Gareth Arnott e Robert W. Elwood em *Animal Behaviour*, vol. 77, nº 5, págs. 991-1004; maio de 2009.

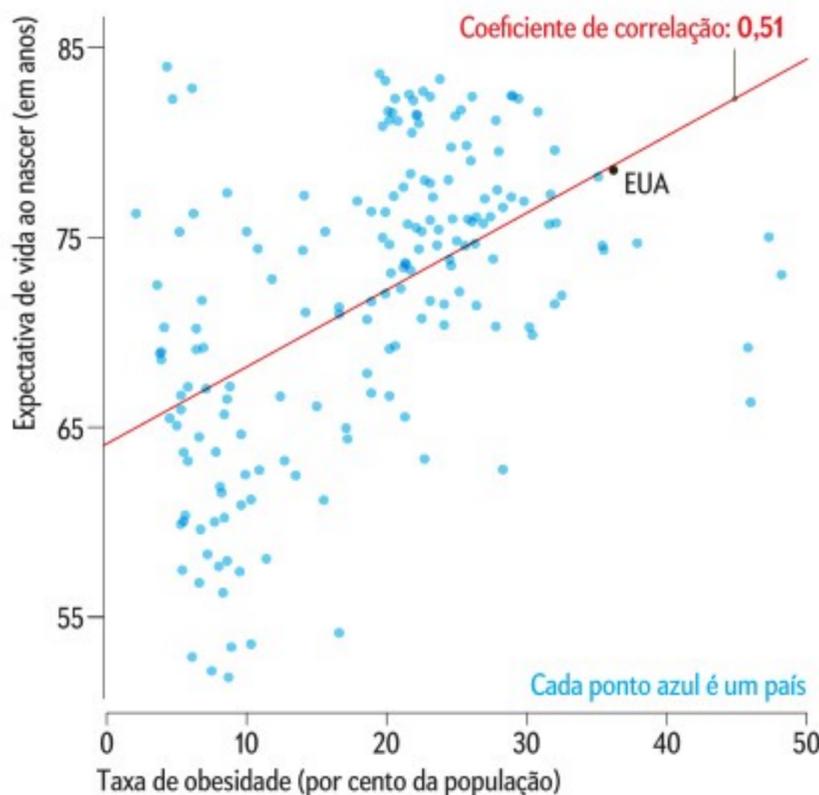
A obesidade abrevia vidas?

Confusão na interpretação de dados pode reforçar percepções tendenciosas

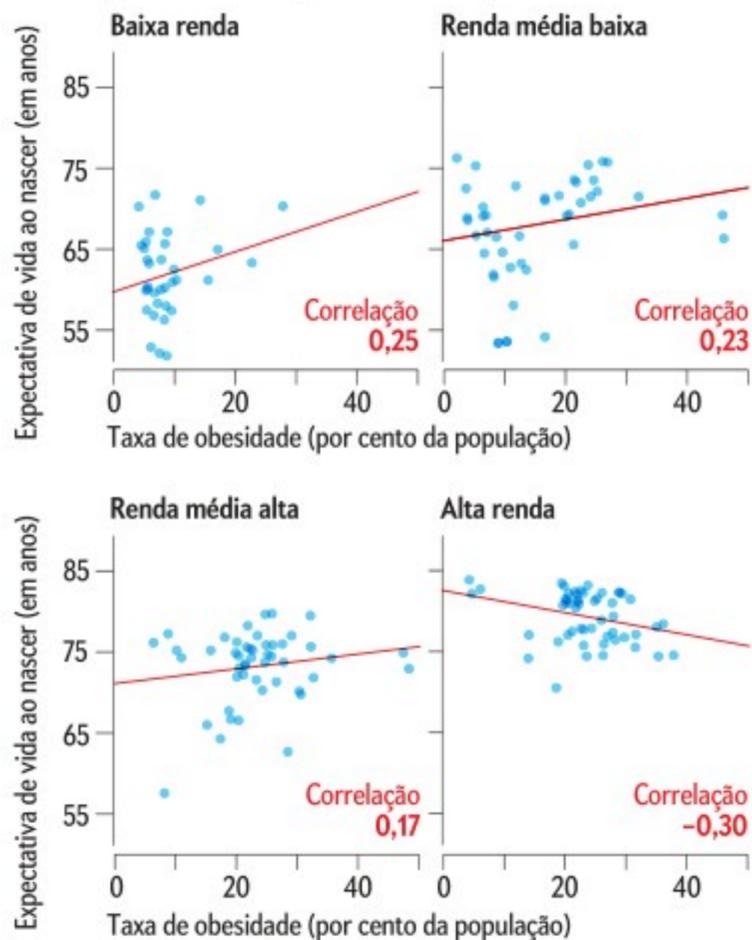
“Uma imagem vale mais que mil palavras.” Esse ditado nos leva a crer que podemos interpretar um gráfico prontamente e de forma correta. Mas gráficos são argumentos visuais, e é fácil compreendê-los mal se não prestarmos muita atenção. Neste exemplo, Alberto Cairo, diretor de jornalismo visual na Universidade de Miami, mostra algumas ciladas. Aprender a ler melhor os gráficos pode nos ajudar a navegar por um mundo no qual a verdade pode estar oculta ou distorcida.

Digamos que você seja obeso e esteja farto de escutar sua família, amigos e médicos lhe dizerem que a obesidade pode aumentar seu risco para desenvolver diabetes, doenças cardíacas e até câncer — todos eles males que poderiam abreviar a sua vida. Aí, um dia você vê este gráfico (à direita). Subitamente você se sente melhor porque ele mostra que, de modo geral, quanto mais pessoas obesas um país tem (lado direito do gráfico), maior a expectativa de vida (topo do gráfico). Portanto, pessoas obesas devem viver mais, conclui você.

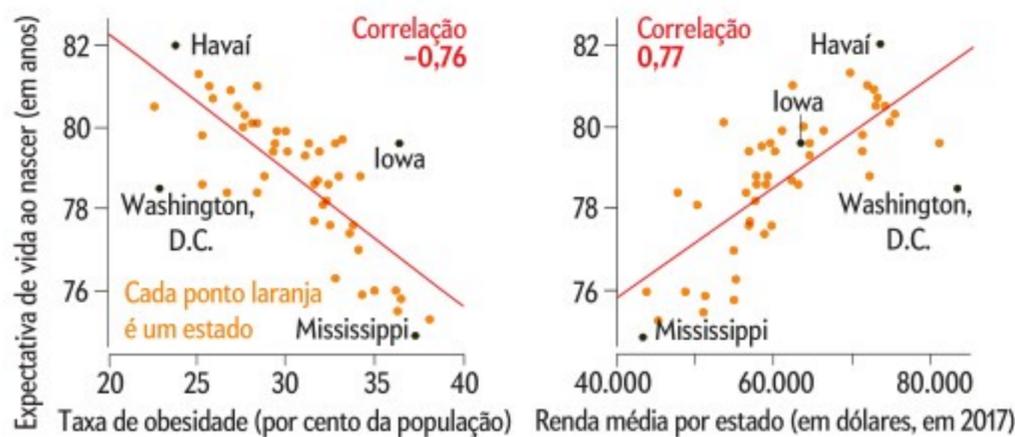
Afinal, a correlação (linha vermelha) é bastante forte. O gráfico em si não está incorreto. Mas ele não mostra realmente que quanto mais obesas as pessoas são, mais elas vivem. Uma descrição mais meticulosa seria: “No nível nacional — de país a país — existe uma associação positiva entre taxas de obesidade e expectativa de vida ao nascer, e vice-versa”. Ainda assim, isso não significa que uma associação positiva irá se sustentar no nível local ou individual, ou que exista uma ligação causal. Duas falácias estão envolvidas aqui.



Primeiro, um padrão em dados agregados pode desaparecer ou até se reverter uma vez que você explora os números em diferentes níveis de detalhes. Se os países estiverem divididos por níveis de renda, a forte correlação positiva torna-se muito mais fraca à medida que a renda aumenta. Nas nações de rendas mais altas (gráfico no canto direito embaixo), a associação é negativa (taxas de obesidade mais elevadas significam menor expectativa de vida).



O padrão permanece negativo quando você olha para os EUA, estado por estado: a expectativa de vida ao nascer cai à medida que a obesidade aumenta (à esquerda). No entanto, isso oculta a segunda inverdade ou falácia: a associação negativa pode ser afetada por muitos outros fatores. Exercícios físicos e acesso a cuidados de saúde, por exemplo, estão associados à expectativa de vida. Assim como está a renda (à direita). O equívoco é tentar determinar alguma coisa sobre o seu risco individual ao olhar para dados agregados que não refletem circunstâncias individuais. Se, em vez disso, você visse dados sobre indivíduos dentro de uma grande amostragem de pessoas randomicamente selecionadas, poderia descobrir que a obesidade pode, ou não, estar relacionada à expectativa de vida para alguém na sua situação.



O que fazer

- 1 Tente ver não somente o que um gráfico mostra, mas também o que ele pode não estar mostrando.
- 2 Não tire conclusões precipitadas, especialmente se um gráfico parecer confirmar o que você já acredita.
- 3 Questione se você verbaliza corretamente o conteúdo do gráfico.
- 4 Considere se os dados trazem o nível de detalhe necessário para permitir

as inferências que você deseja fazer. Por exemplo, se quiser saber sobre países, consulte dados no nível de país. Mas, se procura saber sobre seus próprios riscos de saúde, ache dados sobre indivíduos. E, de qualquer maneira, sempre se lembre de que, em um gráfico ou entre quaisquer dados, correlação não é o mesmo que causalidade.

JUNTE-SE AO LADO CERTO DA HISTÓRIA.

**O LADO DOS POVOS
INDÍGENAS E DAS FLORESTAS.**

GRUPO BR

APOIE O ISA. A HORA É AGORA.

FILIAÇÃO.SOCIOAMBIENTAL.ORG



Instituto
Socioambiental

JUNTE-SE AO LADO CERTO DA HISTÓRIA.

**O LADO DOS POVOS
INDÍGENAS E DAS FLORESTAS.**

GRUPO BR

APOIE O ISA. A HORA É AGORA.

FILIAÇÃO.SOCIOAMBIENTAL.ORG



Instituto
Socioambiental

CONTRIBUA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA NO BRASIL

Associe-se à Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) e junte-se a milhares de cientistas, estudantes, pesquisadores e professores que buscam:



DESCONTOS

Associados ativos têm direito a desconto nas inscrições das Reuniões Anuais e Regionais da SBPC



REPRESENTATIVIDADE

Desde 1948, a SBPC luta pela melhoria do sistema nacional de CT&I, bem como pela difusão e popularização da ciência no País



INFORMAÇÃO

Receba a revista Ciência&Cultura, o Jornal da Ciência impresso e o boletim JC Notícias

R\$70

Estudantes e professores do ensino básico

R\$100

Associado quite de Sociedade afiliada

R\$150

Professores do ensino superior, pesquisadores científicos de institutos de pesquisa e outros profissionais

Associe-se à SBPC: todos juntos somos fortes!

Conheça e faça parte da SBPC:
portal.sbpcnet.org.br



/SBPCnet



/SBPCnet



/canalSBPC



socios@sbpcnet.org.br