Projeto resgata, em imagens, centenas de milhares de espécimes da flora do Brasil

Expedição revela 31 espécies do Atlântico Sul profundo ainda não descritas

Brasil está sob a região mais fraca do campo magnético da Terra

Viola caipira atravessa a história do país, dos jesuítas a Gusttavo Lima

pesquisa fapesp

Nº 366 OUT.2026 ANO 27



Mercado de cannabis medicinal avança mais rápido do que evidências sobre benefícios

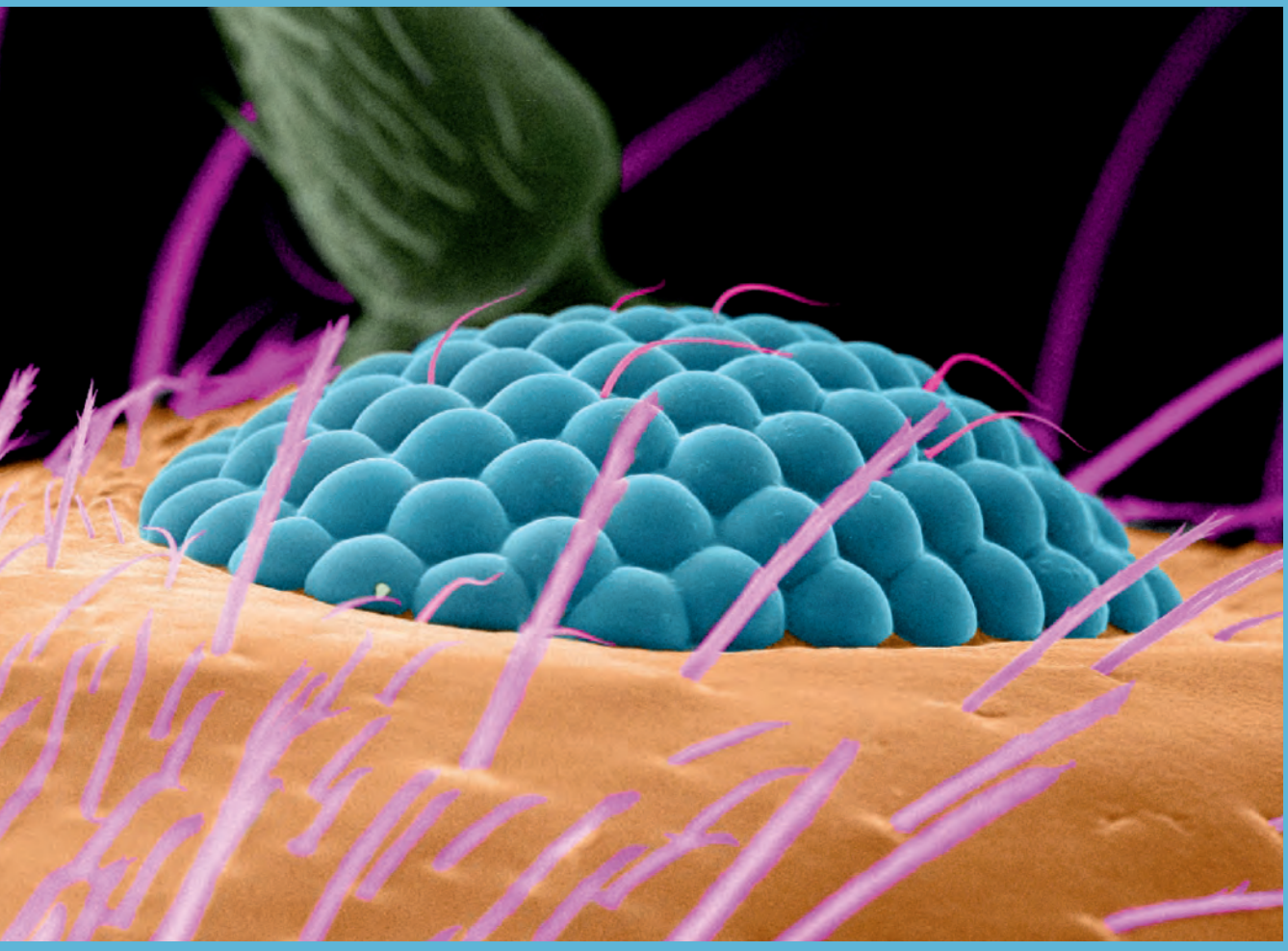
R$ 30

9 771519 877001 00366

ciência de perto

NA SUA CAIXA DE ENTRADA

ASSINE AS NEWSLETTERS DE *PESQUISA FAPESP* E RECEBA O MELHOR DO JORNALISMO CIENTÍFICO POR E-MAIL



O olho de uma formiga que andou pelo pote de açúcar de sua casa. A imagem foi colorizada por técnicas de nanoarte. Imagem enviada por Márcio de Paula e publicada na *Pesquisa FAPESP* nº 336

ACESSE
REVISTAPESQUISA.FAPESP.BR/NEWSLETTER

pesquisafapesp

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO

PRESIDENTE
Marco Antonio Zago

VICE-PRESIDENTE
Carmino Antonio de Souza

CONSELHO SUPERIOR
Carlos Gilberto Carlotti Junior, Cláudio Francisco Tormena, Felipe Ferreira Guimarães Figueiredo, Franklim Shunjiro Nishimura, Herman Jacobus Cornelis Voorwald, Lucia Helena Mascaro Sales, Marcílio Alves, Maria Arminda do Nascimento Arruda, Pedro Wongtschowski e Thelma Krug

CONSELHO TÉCNICO-ADMINISTRATIVO
Diretor-presidente
Carlos Frederico de Oliveira Graeff

Diretor científico
Marcio de Castro Silva Filho

Diretor administrativo
Antonio José de Almeida Meirelles

GERENTE DE COMUNICAÇÃO
Herton Escobar

GERENTE ADJUNTA DE COMUNICAÇÃO
Karina Toledo

pesquisafapesp
ISSN 1519-8774

COORDENADOR CIENTÍFICO
Luiz Roberto Giorgetti de Britto

DIRETOR DE REDAÇÃO
Gabriel Alves

EDITORA-CHEFE
Ana Paula Morales

EDITORES
Reinaldo José Lopes e Tiago Jokura

SITE E REDES SOCIAIS
Casa de Sophia Comunicação, Noêmia Lopes e Heitor Shimizu

DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMAS
Metricaz

REVISÃO
Paulo Kaiser

FECHAMENTO
Marcia Soman

ADMINISTRATIVO
Taysa Manzi e João Pedro Cardoso

CENTRO DE MEMÓRIA
Fabiana Pereira, Thiago Montanari e Vitoria Veloso

ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO
João Carlos da Silva (jsilva@fapesp.br) e Heloisa Reinert (hreinert@fapesp.br)

PROJETO EDITORIAL
FAPESP e Labjor-Unicamp
Sabine Righetti (pesquisadora responsável)

PROJETO GRÁFICO
Estúdio Thema (@thema.estudio)

EDIÇÃO DE ARTE E DIAGRAMAÇÃO
Fernanda Giulietti, Marcio Freitas e Thea Severino

EDIÇÃO AUDIOVISUAL
Mônica Maia e Phelipe Janning

GESTÃO ADMINISTRATIVA
Funep — Fundação de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão
Patrícia Rocha e Thaís Marques

Tiragem
12.600 exemplares

Impressão
Plural Indústria Gráfica

Distribuição
Funep — Fundação de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão e RAC Mídia Editora

Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

ASSINATURAS
revistapesquisa.fapesp.br/assinatura
assinaturaspesquisa@fapesp.br
WhatsApp: +55 16 99760-0535

CONTATO DA REDAÇÃO
redacao@fapesp.br

ANÚNCIOS E LICENCIAMENTO DE CONTEÚDO
publicidade@fapesp.br

FAPESP
Rua Pio XI, 1.500, CEP 05468-901, Alto da Lapa, São Paulo-SP
+55 11 3838 4000

PesquisaFapesp
pesquisa_fapesp
pesquisa_fapesp
PesquisaFapesp
PesquisaFapesp
@pesquisa_fapesp
pesquisafapesp

Cartas

Sua opinião é bem-vinda. As mensagens poderão ser resumidas por motivo de espaço e clareza.
→ **cartas@fapesp.br**

Nova etapa

Gostaria de reiterar que a edição de setembro é um primor e destaca como as pesquisas sobre o clima, dentre tantas outras, são fundamentais em nossa vida social e cotidiana: do impacto ambiental nas cidades à sobrevivência dos corais, passando pela construção da Usina de Belo Monte. As reportagens destacam como a aplicação desse conhecimento é fundamental para a formulação de políticas públicas eficientes. Vida longa à *Pesquisa FAPESP*!
Adriana Franco, jornalista e pesquisadora de mulheres na política

Obrigada por trazerem uma matéria sobre os 70 anos de *Grande sertão: veredas*. Gostei de saber que há algumas obras sobre o Guimarães Rosa que ainda não li e fiquei curiosa, sobretudo, em relação aos mapas. Li o texto depois de já ter lido outros desta edição e pensei como esse monumento que é *Grande sertão* reverbera ainda e sempre a realidade brasileira. Aguardo a próxima edição e parabéns pelo merecidíssimo Prêmio José Reis.
Tania Antonietti, tradutora

O reconhecimento do Prêmio José Reis à *Pesquisa FAPESP* reforça a importância de uma divulgação científica feita com qualidade e diversidade, colocando a ciência no dia a dia e mostrando sua utilidade na vida das pessoas. Que a cada renovação a revista possa aproximar ainda mais as pessoas da ciência.
Sylvia Maria Affonso, bióloga ambiental e comunicadora de ciência e arte

pesquisafapesp
Edição nº 366 Ano 27
Outubro de 2026



CAPA

Folhas de *Cannabis sativa*. Derivados da planta já chegam a mais de 870 mil pacientes no Brasil, mas ainda faltam evidências científicas robustas que embasem o seu uso no tratamento de condições como transtornos de ansiedade e depressão Sivakova Valeria/Shutterstock

Sumário

6 NOTAS
Descobertas que vão de mais de 40 mil vírus nunca descritos no mundo à enzima que gera luz no frio extremo

10 CAPA
Maior revisão sobre o uso de cannabis medicinal em transtornos mentais aponta tanto potencial quanto lacunas
[Luna D'Alama e Fernanda Bassette]

16 CAPA
Corporações avançam sobre mercado bilionário da cannabis medicinal; associações perdem espaço
[Janes Rocha]

22 REPATRIAÇÃO
Projeto resgata, em imagens digitalizadas, acervo de espécimes coletados por europeus no passado **[Tiago Jokura]**

34 EL NIÑO NO CAMPO
Pesquisadores redesenham mapa dos diferentes efeitos que o fenômeno deve ter na agricultura do país
[Emilio Sant'Anna]

40 ANOMALIA
Novos instrumentos ajudam a entender o ponto mais fraco no campo magnético da Terra, em cima do Brasil
[Sophia La Banca]

44 TECNOLOGIA
Memristores unem memória, processamento e novos materiais para criar chips inspirados no cérebro **[Tiago Jokura]**

52 FUNDO DO MAR
Expedição mergulhou no Atlântico Sul e voltou com 31 espécies potencialmente novas
[Christiane Cardoso]

62 ENCRUZILHADA
Faltam caminhos para quem terminou o doutorado e quer seguir na ciência, dentro ou fora da academia **[Eduardo Geraque]**

68 PESQUISA
Mais robusta, metodologia qualitativa ajuda a decifrar fenômenos que vão além dos números **[Fábio de Castro]**

76 GRUPO-CONTROLE
As polêmicas e tragédias que ajudaram a estabelecer regras para os testes de novos medicamentos
[Letícia Naísa e Sofia Moutinho]

84 VIOLA CAIPIRA
Livro mostra como o instrumento atravessou a história brasileira, dos jesuítas a Gusttavo Lima **[Eduardo Magossi]**

92 GENTE DA PESQUISA
Pisar em cobras rende Ig Nobel para brasileiro. Veja ainda outras homenagens, eventos e livros **[Marcelo Soares]**

94 BOAS PRÁTICAS
As inteligências artificiais por trás do milagre da multiplicação de referências bibliográficas **[Theo Ruprecht]**

96 DADOS
Números do Pisa mostram que o Brasil avançou pouco no ensino de ciências nos últimos 20 anos **[Sabine Righetti]**

98 FOTOLAB
Conheça o pequeno sapo-foguete, uma das possíveis novas espécies descobertas na serra do Aracá (AM)

Editorial
Plantar, prensar e colher

Gabriel Alves
Diretor de Redação

Nos primeiros anos da Segunda Guerra Mundial, dois laboratórios perseguiam uma pergunta que parecia pequena diante da encrenca global: de que é feita a maconha? Na Universidade de Illinois, Roger Adams (1889-1971), que chefiava o departamento de química, trabalhava a pedido do governo norte-americano. As autoridades, que haviam acabado de, na prática, proibir a planta com o Marijuana Tax Act, queriam saber exatamente o que havia dentro dela. Na Inglaterra, em Manchester, sob bombardeio, Alexander Todd (1907-1997), diretor dos laboratórios de química da universidade e futuro Nobel de Química, trabalhava com um haxixe indiano (a resina extraída das flores da cannabis, prensada em bloco) que um colega refugiado do nazismo despachara da Índia em mala diplomática. Os dois isolaram o canabidiol, o CBD, e disputaram a autoria da descoberta. Nenhum dos dois achou o que procurava: o tetra-hidrocanabinol (THC) só seria identificado em 1964, em Jerusalém, por Raphael Mechoulam (1930-2023).

Em toda a década de 1940, o PubMed, plataforma que reúne as mais importantes revistas científicas da área biomédica, registrou menos de 50 artigos com a palavra "cannabis". Em 2006 foram 533; em 2025, mais de 4.100, recorde histórico. Boa parte dessa produção não investiga os efeitos do uso recreativo, e sim possíveis aplicações médicas — das epilepsias graves da infância aos espasmos da esclerose múltipla, passando por insônia, autismo e síndrome de Tourette. A nova trincheira, contudo, é acumular evidências de qualidade para essas e outras condições. É o que a dupla de reportagens de capa desta edição procura mostrar.

De um lado, faltam estudos maiores, mais longos e bem desenhados (p. 10). Como disse à revista o professor Lucindo Quintans Júnior, da Universidade Federal de Sergipe, "o entusiasmo clínico e comercial correu mais depressa que os ensaios clínicos".

De outro, o mercado avança descompassado: as autorizações da Anvisa para uso de canabinoides saltaram de 850, em 2015, para quase 195 mil em 2025, ano em que o setor movimentou perto de R$ 1 bilhão no país (p. 16). Convivem aí dois regimes: 25 empresas detêm os 52 produtos autorizados pela agência, registro restrito à indústria farmacêutica; as associações de pacientes, 315 com cadastro ativo, fornecem a seus associados mediante decisão judicial.

Em 1832, os mistérios por trás da flora também encantavam certo naturalista inglês de 23 anos que, de passagem pela Bahia, colheu uma ervinha de beira de caminho. O espécime seguiu para a Inglaterra e nunca regressou. Mas voltou, de certa forma, e em altíssima resolução: a reportagem sobre a iniciativa Reflora (p. 22) conta como o Brasil vem recuperando, em imagem, a flora que saiu daqui em caixotes. Plantas prensadas e secas são o arquivo de onde a botânica tira boa parte de suas respostas — e parte importante do arquivo mora no estrangeiro. Só os Jardins Botânicos Reais de Kew, em Londres, guardam cerca de 300 mil amostras brasileiras. Desde 2010, o programa fotografa essas fichas uma a uma e as devolve a um herbário virtual hospedado no Rio de Janeiro: já são 265 mil vindas de Kew e 250 mil do Museu Nacional de História Natural em Paris. A ervinha baiana é uma delas; o coletor era Charles Darwin (1809-1882).

No Jardim Botânico do Rio, as plantas repousam em armários a 18 °C constantes. Fora dali, na lavoura, temperatura não se escolhe. Com o El Niño provavelmente da categoria "muito forte" em ação, pesquisadores redesenharam o mapa dos efeitos do fenômeno na agricultura (p. 34). O resultado é uma redistribuição, e não um veredito: algumas culturas podem até se beneficiar da chuvarada, dependendo de quando ela vier, mas o tipo de solo, o momento do ciclo em que a água chega e um veranico de dez dias na hora errada embutem erro em qualquer projeção.

Mas o campo também produz o que nenhum modelo prevê. O interior guardou um instrumento que já passou pelas mãos dos jesuítas, dos tropeiros e dos astros do sertanejo de hoje: a viola, trazida no século 16 como ferramenta de catequese, foi se "acaipirando" terra adentro e virou tese de doutorado premiada e livro (p. 84). Em 1929, a indústria musical achava que viola caipira não vendia. O folclorista Cornélio Pires (1884-1958) bancou a prensagem, encomendou milhares de discos e provou o contrário. Algumas colheitas demoram, outras não, mas todas dependem de alguém ter plantado (e cuidado).

Notas

Por Agência FAPESP e Boletim Pesquisa para Inovação
→ **agencia.fapesp.br**
→ **pesquisaparainovacao.fapesp.br**



Elefantes no Zimbábue Shutterstock

‘Paisagem do medo’ faz macacos e elefantes priorizarem rotas para evitar caçadores

Mamíferos ameaçados de extinção estão mudando a forma como se locomovem na natureza. Um estudo publicado em junho na revista *Scientific Reports* revelou que espécies como o macaco-prego-do-peito-amarelo (*Sapajus xanthosternos*), no Brasil, e o elefante-africano (*Loxodonta africana*), no Zimbábue, usam rotas repetidas e familiares ao cruzar áreas com caçadores ou outros riscos. Isso permite aos animais reduzir o esforço cognitivo da navegação e manter o foco na vigilância do ambiente.

Conhecida como “paisagem do medo”, essa estratégia pode desencadear um efeito cascata no ambiente, resultando até mesmo na perda das culturas animais — termo usado para descrever comportamentos passados de geração em geração, desde técnicas para obter comida até dialetos de vocalização. O trabalho, de coautoria de Patricia Izar, professora do Departamento de Psicologia Experimental do Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo (IP-USP), integra projeto financiado pela FAPESP.

Ferramenta ajuda a escolher os melhores locais para novos parques

Um estudo conduzido por pesquisadores do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (IB-USP), em parceria com a Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente da capital paulista, criou uma ferramenta para ajudar a escolher os melhores locais para implantar novos parques e áreas verdes.

O estudo avaliou requisitos como recreação, regulação térmica e infiltração hídrica (capacidade do solo de absorver a água da chuva) e analisou os custos sob os critérios de desapropriação de área, implementação e manutenção. A ferramenta, explica Gabriel Moreno Tarragô, pesquisador do Laboratório de Ecologia da Paisagem e Conservação da USP e um dos autores da pesquisa, tem o potencial de auxiliar no enfrentamento dos desafios cotidianos dos centros urbanos e dos impactos dos eventos climáticos extremos.

Diabetes prolonga recuperação e agrava sequelas da Covid longa

Pessoas com diabetes que tiveram Covid-19 apresentam recuperação mais lenta, tendem a ter mais complicações associadas à Covid longa e pior qualidade de vida. Foi o que mostrou um estudo conduzido na USP com 870 participantes, acompanhados por até sete meses após a internação.

Além de mostrar que pessoas com diabetes demoraram mais tempo para se recuperar da Covid-19, a pesquisa constatou um risco maior de complicações cardiovasculares, como infarto e angina, em comparação aos não diabéticos. "A inflamação sistêmica provocada pelo diabetes se soma à toxicidade direta do vírus, criando um cenário em que o coração se torna um dos principais alvos de complicações graves", afirma Maria Elizabeth Rossi da Silva, chefe da Unidade de Diabetes do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo (HC-FM-USP) e uma das autoras do estudo publicado na *Scientific Reports*.

'Superenxerto' reconstrói ossos e combate infecções simultaneamente

Um dos maiores desafios no tratamento de fraturas graves é reconstruir o osso que foi danificado sem abrir brechas para infecções bacterianas. Para solucionar o problema, engenheiros da startup paulista BioActive Biomateriais criaram, com apoio da FAPESP, um enxerto inteligente que funciona como um andaime temporário. O produto oferece a estrutura necessária para as células se apoiarem e crescerem, enquanto, simultaneamente, combate infecções de forma ativa.

O diferencial reside em sua formulação com três materiais distintos — sulfato de cálcio, hidroxiapatita e fosfato tricálcico. Enquanto o primeiro se dissolve rapidamente para abrir espaço para as novas células na regeneração, os outros dois se degradam de forma mais lenta, garantindo suporte por um período prolongado.

3,2 °C

foi o aumento da temperatura máxima na estação seca

registrado desde 1981 em uma área de mais de 700 mil quilômetros quadrados no centro-norte da Amazônia, segundo pesquisa publicada em setembro na revista *Communications Earth & Environment* por um grupo de 53 cientistas internacionais, incluindo brasileiros.

0,75 °C

por década, no mínimo, foi a elevação da temperatura registrada na região. O ritmo é superior ao aumento de 0,2 °C por década observado na temperatura média anual da floresta tropical. "Os dados apontam para extremos cada vez mais críticos e acelerados. E, quando se manifestam, há uma deterioração com impactos sociais, ambientais e econômicos profundos", diz Liana Anderson, pesquisadora da Divisão de Observação da Terra e Geoinformática (DIOTG), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), e uma das autoras do artigo.

Notas

Por Agência FAPESP e Boletim Pesquisa para Inovação
→ **agencia.fapesp.br**
→ **pesquisaparainovacao.fapesp.br**

Coral de mar profundo revela enzima que gera luz no frio extremo

Uma expedição realizada a bordo do navio oceanográfico Alpha Crucis, da USP, levou à identificação inédita de uma luciferase — enzima responsável pela produção de luz — em um coral de mar profundo. A molécula, denominada AnmLuc, foi isolada da pena-do-mar *Anthoptilum murrayi*, um animal marinho do grupo dos cnidários, o mesmo das águas-vivas e anêmonas.

O organismo foi coletado no talude continental, na região costeira entre São Paulo e Rio de Janeiro. O brilho resulta do encontro da luciferase com uma molécula chamada luciferina. Ao oxidar essa substância, a enzima libera energia luminosa. Os testes mostraram que a AnmLuc continua operando com eficiência entre 2 e 5 °C, temperaturas próximas às do hábitat original do coral. A descoberta é parte da pesquisa de doutorado de Gabriela Amancio Galeazzo, conduzida nos institutos Oceanográfico (IO) e de Química (IQ) da USP.

Pesquisadores desenvolvem açúcar de cana com baixo índice glicêmico

A partir de extratos com propriedades antioxidantes obtidos de grãos de café verde defeituosos e da película vermelha que envolve o amendoim, pesquisadores vinculados à Plataforma Biotecnológica Integrada de Ingredientes Saudáveis (Pbis) desenvolveram uma sacarose de cana-de-açúcar que é absorvida de forma muito mais lenta pelo organismo, reduzindo o seu índice glicêmico sem alterar o sabor.

"Hoje é consenso que uma dieta de baixo índice glicêmico é mais saudável, pois ajuda a prevenir o diabetes tipo 2 e a síndrome metabólica, por exemplo. Um açúcar com essa característica, portanto, beneficiaria a todos", diz Juliana Macedo, professora da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas (FEA-Unicamp) e coordenadora do projeto.

Levantamento em 102 cidades revela mais de 40 mil vírus nunca descritos

Um mapeamento em escala global analisou 2.922 amostras recolhidas em 102 cidades de 31 países, incluindo São Paulo. A partir desses dados, uma equipe internacional com participação brasileira consolidou o UPVAtlas (sigla em inglês para Atlas de Vírus de RNA Urbanos e Periurbanos), catalogando 54.945 espécies virais, das quais 77% nunca haviam sido descritas. O trabalho, publicado em julho na revista *Nature Communications*, joga luz sobre a complexidade dos microrganismos invisíveis no cotidiano das cidades.

'Língua eletrônica' à base de nanomateriais detecta antibióticos no leite

Pesquisadores do Brasil e dos Estados Unidos desenvolveram uma língua eletrônica capaz de detectar no leite de vaca e de cabra concentrações muito baixas dos antibióticos cloxacilina, tetraciclina e estreptomicina, inclusive quando presentes simultaneamente. O dispositivo utiliza fibras poliméricas revestidas com MXenes, uma família relativamente nova de materiais bidimensionais com propriedades elétricas e químicas que permitem aos sensores produzir diferentes respostas diante das substâncias presentes nas amostras.

"Quando mudamos a composição do MXene, mudamos também suas propriedades. E era exatamente isto que buscávamos para a língua eletrônica: que tivéssemos sensores com propriedades e performances diferentes agregadas no mesmo dispositivo", explica Murilo Facure, professor da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP) e primeiro autor do estudo, ainda em escala laboratorial.



Endêmica da Mata Atlântica, a perereca-macaco (*Phyllomedusa distincta*) é uma das espécies que podem estar mais ameaçadas do que se pensava pelo ranavírus Germano Woehl Jr./Instituto Rã-Bugio

Vírus letal reduz em 83% reprodução de pererecas em reserva da Mata Atlântica

Um grupo de pesquisadores comprovou que surtos recorrentes de ranavirose provocaram a queda de 83% na reprodução da perereca-macaco (*Phyllomedusa distincta*) em uma lagoa de Santa Catarina. A doença é causada por um vírus que afeta também répteis e peixes.

O estudo, publicado em agosto na revista *Biodiversity and Conservation*, fornece a primeira evidência robusta de que o ranavírus é capaz de causar o colapso de populações silvestres sul-americanas, um risco de extinção já documentado na Europa. Os dados revelam ainda que essa ameaça se torna mais grave em períodos secos, já que a baixa umidade do ar favorece os surtos da doença.

"Estávamos esperando encontrar uma floresta bem mais povoada de passarinhos e, na verdade, ela é bem vazia"
Igor Alvarenga, pesquisador associado do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, sobre a paisagem encontrada durante expedição de 16 cientistas na serra do Aracá (AM), no alto da Amazônia.

"Não existem informações para 10.726 das substâncias listadas, ou seja, [...] não há como garantir a segurança de materiais que utilizamos cotidianamente"
Martin Wagner, da Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia, ao alertar para os riscos da poluição plástica na abertura da Escola São Paulo de Ciência Avançada em Microplásticos.

"Como a cavidade oral está constantemente exposta ao ambiente externo, imaginávamos que ela pudesse ser afetada pela poluição. O que não esperávamos era observar alterações tão expressivas"
Luis Carlos Spolidorio, da Faculdade de Odontologia da Universidade Estadual Paulista, que coordenou uma investigação sobre o impacto da poluição nos tecidos bucais.

"A gratidão é uma emoção com componente social muito forte. Sentir-se grato aumenta a probabilidade de você ajudar outras pessoas — e não necessariamente a pessoa que te ajudou"
Paulo Sérgio Boggio, professor da Universidade Presbiteriana Mackenzie, um dos autores brasileiros de estudo que analisou o impacto da prática da gratidão em 34 países.



CANNABIS MEDICINAL

promessas e lacunas nas evidências

Maior revisão já realizada sobre o uso medicinal de canabinoides em transtornos mentais encontra sinais promissores, mas reforça a necessidade de estudos mais amplos e rigorosos

✻ Por **Luna D'Alama** e **Fernanda Bassette**

As evidências sobre o uso medicinal de canabinoides em transtornos mentais ainda são escassas para a maioria das indicações e faltam estudos mais consistentes, com amostras maiores. Há sinais promissores para insônia, transtorno do espectro autista (TEA), síndrome de Tourette e transtorno por uso de cannabis, mas a qualidade geral das evidências é baixa ou muito baixa, e o uso rotineiro desses produtos seria "raramente justificado" com base nos resultados disponíveis. As conclusões são da maior revisão sistemática de estudos clínicos randomizados já feita sobre o tema, conduzida por pesquisadores das universidades de Sydney, Queensland e Melbourne, na Austrália, e Bath, no Reino Unido.

Publicada em março na revista *The Lancet Psychiatry*, a metanálise avaliou a eficácia e a segurança desses compostos — derivados da planta *Cannabis sativa*, como o canabidiol (CBD) e o tetra-hidrocanabinol (THC) — em 54 ensaios publicados entre 1980 e 2025, com 2.477 participantes, acompanhados por cerca de cinco semanas.

Segundo o artigo, não foram observadas comprovações significativas da eficácia do uso medicinal de canabinoides contra ansiedade, anorexia nervosa, transtornos psicóticos, transtorno de estresse pós-traumático e transtorno por uso de opioides. Também não havia dados suficientes para avaliar seus efeitos em casos de transtorno de déficit de atenção e hiperatividade (TDAH), transtorno bipolar, transtorno obsessivo-compulsivo (TOC) e transtorno por uso de tabaco. Com a metodologia adotada, os autores tampouco localizaram ensaios clínicos randomizados sobre depressão, um dos transtornos mentais mais prevalentes do mundo. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), mais de 1 bilhão de pessoas vivem com problemas de saúde mental.

"A metanálise não demonstra que os canabinoides não funcionam para os transtornos mentais. Na verdade, ela indica que, para uma parcela importante dessas condições, ainda não temos evidências clínicas suficientes para afirmar que funcionam e, principalmente, para recomendar seu uso rotineiro", pondera Lucindo José Quintans Júnior, professor titular do Departamento de Fisiologia da Universidade Federal de Sergipe (UFS) e coordenador do Laboratório de Neurociências e Ensaios Farmacológicos (Lanef). O mesmo vale para a segurança. "O estudo não mostrou que os canabinoides são perigosos. Mostrou que produzem eventos adversos e que esse custo precisa ser colocado na balança diante de benefícios que, para muitas indicações psiquiátricas, continuam incertos."

Essa assimetria — um evento adverso adicional a cada sete pacientes tratados, sem eficácia demonstrada — justifica a cautela dos autores, avalia José Luiz da Costa, coordenador do Centro de Informação e Assistência Toxicológica de Campinas (Ciatox), da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). E o resultado tem precedente. "O mesmo grupo australiano publicou uma metanálise semelhante em 2019, na própria *The Lancet Psychiatry*, com conclusões semelhantes: sete anos e dezenas de ensaios depois, o que cresceu foi o volume da base de evidências, não a sua qualidade", diz.

A Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FMRP-USP) teve sete trabalhos incluídos na revisão. O grupo do Departamento de Neurociências e Ciências do Comportamento investiga o tema há décadas, em estudos pré-clínicos e clínicos, boa parte sob liderança do psiquiatra e neurocientista José Alexandre Crippa. Para ele, a revisão aponta sinais promissores em alguns transtornos, mas confirma a necessidade de ensaios maiores, bem controlados, com doses definidas, formulações padronizadas e acompanhamento mais longo. "A revisão não fala em evidências definitivas que possam ser usadas agora na prática clínica, embora aponte para alguma permissividade futura", avalia. O pesquisador liderou recentemente um ensaio clínico randomizado com canabidiol em pacientes com Covid-19, financiado pela FAPESP.

No Brasil, o Conselho Federal de Medicina (CFM) autoriza, desde 2022, o uso medicinal do óleo de canabidiol apenas contra formas graves de epilepsia refratária na infância e na adolescência e em pacientes com síndromes como Dravet, Doose e Lennox-Gastaut, além de esclerose tuberosa — condições fora do escopo da nova revisão, mas cujo tratamento com canabidiol encontra respaldo em ensaios clínicos randomizados. Em países como Canadá, Uruguai

Canabinoides em transtornos mentais: fazem bem, mal ou não têm efeito?

Metanálise de 54 ensaios clínicos randomizados (ECR), com 2.477 participantes

CONDIÇÃO	CANABINOIDE(S)	ECR	DESFECHO PRINCIPAL
BENEFÍCIO			
Transtorno por uso de cannabis	THC CBD THC+CBD	12	Menos sintomas de abstinência e menor uso semanal
Síndrome de Tourette	THC CBD THC+CBD	5	Menor gravidade dos tiques; efeitos adversos: dificuldades cognitivas como lentificação do pensamento, lapsos de memória e dificuldade de concentração
Insônia	CBD THC+CBD	4	Maior tempo de sono (não significativo ao excluir ensaios com alto risco de viés); efeitos adversos: boca seca, náusea, diarreia, tontura e outros.
Transtorno do espectro autista	THC+CBD	2	Redução de traços autistas (não significativa nos subgrupos por canabinoide)
SEM EFEITO SIGNIFICATIVO			
Transtornos psicóticos	THC CBD	8	Sintomas (PANSS): sem diferença vs. placebo
Transtornos de ansiedade	THC CBD	6	Sintomas de ansiedade (TAG, pânico, ansiedade social): sem diferença
Transtorno por uso de opioides	THC CBD	4	Abstinência e fissura: sem diferença
TEPT	THC CBD THC+CBD	3	Sintomas de estresse pós-traumático: sem diferença
Anorexia nervosa	THC	2	Sem diferença vs. placebo
EVIDÊNCIA INSUFICIENTE			
TOC	THC CBD	2	Sintomas obsessivo-compulsivos: sem melhora significativa
TDAH	THC+CBD	1	Ensaio único (sem metanálise possível)
Transtorno bipolar	CBD	1	Ensaio único (sem metanálise possível)
Transtorno por uso de tabaco	CBD (inalador)	1	Ensaio único (sem metanálise possível)
DANO			
Transtorno por uso de cocaína	CBD	3	Aumento da fissura por cocaína vs. placebo
SEM EVIDÊNCIAS			
Depressão		0	Nenhum ensaio randomizado identificado (apesar de ser uma das indicações mais frequentes de prescrição de canabinoides)

Fonte: Wilson J, Freeman TP, et al. The efficacy and safety of cannabinoids for the treatment of mental disorders and substance use disorders: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Psychiatry* 2026; 13:304-15. doi:10.1016/S2215-0366(26)00015-5

Infografia Alexandre Affonso

e Portugal, a prescrição é permitida para outras condições. "O que falta no meio do caminho, entre o CFM, o médico e o paciente, são estudos que comprovem a eficácia dessas medicações e autorizem suas prescrições", afirma Crippa.

Mercado à frente da ciência

Embora o debate sobre o uso medicinal da *Cannabis sativa* tenha ganhado força nos últimos anos, os pesquisadores consideram que a produção de evidências clínicas ainda não acompanhou o ritmo de expansão do mercado.

"O apelo popular e o da indústria fizeram os produtos à base de cannabis chegar às farmácias antes das evidências, que ainda estão sendo construídas pela ciência", analisa o psiquiatra José Diogo Souza, da FMRP-USP. Segundo ele, as publicações sobre canabidiol cresceram, mas os ensaios clínicos são recentes e envolvem grupos pequenos de pacientes. "Precisamos de mais pesquisas em humanos, de fases 2, 3 e 4", afirma.

O ATUAL INTERESSE PELO USO MEDICINAL DE CANABINOIDES GANHOU IMPULSO COM O CASO DE CHARLOTTE FIGI, MENINA NORTE-AMERICANA COM SÍNDROME DE DRAVET CUJAS CRISES CONVULSIVAS DIMINUÍRAM APÓS O INÍCIO DO TRATAMENTO COM UM EXTRATO RICO EM CBD. A HISTÓRIA GANHOU PROJEÇÃO INTERNACIONAL EM 2013, QUANDO FOI APRESENTADA NO DOCUMENTÁRIO *WEED*, DA CNN

Quintans Júnior faz uma leitura semelhante. "O entusiasmo clínico e comercial correu mais depressa que os ensaios clínicos. Agora cabe à boa ciência alcançar o que a prática já colocou na rua. Até lá, a posição cientificamente mais correta não é condenar nem celebrar os canabinoides", recomenda.

O descompasso entre uso e conhecimento preocupa o psiquiatra Luís Fernando Tófoli, coordenador do Laboratório de Estudos Interdisciplinares sobre Psicoativos (Leipsi) da Unicamp. Dados da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) e um estudo de seu grupo, publicado em 2025 no *International Journal of Drug Policy*, "apontam que transtornos mentais estão entre as principais razões para o uso medicinal de cannabis, embora sejam justamente algumas das indicações para as quais tenhamos evidências mais fracas", diz. O levantamento, com 1.335 pacientes ou cuidadores, identificou cinco perfis de usuários — sinal de que não existe um único perfil de paciente e de que é preciso formular perguntas clínicas mais específicas, em vez de misturar pacientes, produtos e indicações. Para ele, "não há base para uso rotineiro, mas há necessidade de mais pesquisa, não de um encerramento da questão".

Crippa ressalta que esse cenário não significa a ausência de pesquisas nacionais. O grupo da FMRP-USP é pioneiro na testagem de canabidiol em transtornos como esquizofrenia, ansiedade patológica e doença de Parkinson e, mais recentemente, passou a investigar aplicações no TOC e no TEA, além de novas formulações combinando diferentes canabinoides. Muitos desses estudos ficaram fora da revisão por não usarem placebo ou não atenderem a outros critérios dos autores. A transição para grandes ensaios clínicos, sugere o psiquiatra, depende de mais investimentos. "Os estudos universitários são iniciais, pequenos, limitados e com poucos recursos. Apontamos uma direção para que, posteriormente, o mercado possa avançar de outras formas. Esse é o papel da indústria, e o lucro que as farmacêuticas teriam já justificaria conduzir essas pesquisas", analisa.

Limites da revisão e expansão do mercado

Nem todos os pesquisadores, porém, interpretam a revisão da *The Lancet Psychiatry* da mesma forma. Para o neurocientista Sidarta Ribeiro, um dos fundadores do Instituto do Cérebro da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), a metanálise é bem-vinda, mas reúne estudos diversos, o que dificulta conclusões definitivas. "Ela junta estudos com canabidiol e THC isolados, combinados,

óleo, extrato, diferentes doses, formulações, vias de administração, duração dos tratamentos, e joga tudo no mesmo balaio. As amostras são pequenas, há disparidade de gêneros", afirma. Produzir ensaios em larga escala, acrescenta, é caro e exige "interesse da sociedade, das universidades e dos cientistas".

Enquanto a produção de evidências avança lentamente, o mercado de produtos derivados da cannabis cresce de maneira rápida. No Brasil, o acesso ocorre por vias regulamentadas pela Anvisa: medicamentos registrados, produtos de cannabis com autorização sanitária e importação para uso próprio mediante prescrição. A agência registra um medicamento à base de canabidiol e THC para a espasticidade da esclerose múltipla, além de 52 produtos de cannabis autorizados. Entre 2015 e 2025, o número de autorizações para uso de canabinoides saltou de 850 para 194.682, aumento de quase 230 vezes. Segundo o *Anuário da Cannabis Medicinal 2025*, da consultoria Kaya Mind, o mercado movimentou quase R$ 1 bilhão no ano passado.



Para a farmacêutica Priscila Gava Mazzola, da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Unicamp, a revisão é abrangente e metodologicamente rigorosa, mas deixa claras as limitações das evidências. "As amostras são pequenas e pouco representativas, há uma disparidade em relação a pacientes do sexo masculino. Quase metade dos estudos apresentou alto risco de viés, e em 20% ele estava relacionado a conflitos de interesse com a indústria. Quando os autores retiram das análises de sensibilidade esses estudos, vários efeitos positivos desaparecem ou perdem significância estatística", argumenta. Ela destaca como ponto positivo o fato de a revisão analisar separadamente CBD isolado, THC isolado e a combinação dos dois, mas chama a atenção para a curta duração dos estudos e para a ausência de ensaios sobre depressão, uma das principais razões para o uso medicinal da cannabis. Os resultados, avalia, não autorizam concluir que os canabinoides sejam ineficazes. "Não curam nenhuma doença, mas podem aliviar sintomas e melhorar a qualidade de vida dos pacientes."

Separar os compostos importa porque combiná-los nem sempre soma benefícios. Em estudo com camundongos apoiado pela FAPESP, na Unicamp, o doutorando Alexandre Barcia de Godoi comparou CBD e canabigerol (CBG), isolados e associados, em modelo de crises convulsivas. O CBD repetido protegeu os animais mesmo 24 horas após a última dose, o CBG teve eficácia limitada e a combinação, em doses equivalentes, associou-se a crises mais graves. "A premissa de que combinações de canabinoides seriam intrinsecamente superiores aos compostos isolados não se sustentou

nas condições testadas. Controle de composição não é detalhe técnico: é variável determinante de eficácia e de segurança, com implicação direta sobre os produtos de 'amplo espectro' disponíveis no mercado", explica Godoi.

Publicar esse tipo de resultado é uma escolha deliberada, diz Costa. "O campo está espremido entre o entusiasmo militante e o ceticismo reflexo, e nenhum dos dois favorece a boa ciência. Resultados negativos ou incômodos tendem a ser menos publicados, o que enviesa as revisões sistemáticas seguintes. Achados negativos bem conduzidos são tão necessários quanto os positivos para que o campo saia do impasse."

Os entraves vão além. "O maior obstáculo continua sendo o preconceito contra a própria pesquisa com cannabis. Parte da falta de evidência existe porque, durante décadas, foi difícil estudar essas substâncias, e ainda há barreiras regulatórias, institucionais e financeiras para obter produtos padronizados e realizar ensaios maiores", pontua Tófoli.

Além das limitações dos ensaios clínicos, pesquisadores destacam que a área ainda enfrenta uma lacuna fundamental: o conhecimento sobre os mecanismos de ação dos fitocanabinoides permanece incompleto. Essa limitação dificulta compreender por que alguns compostos parecem beneficiar determinados pacientes ou transtornos, mas não outros, e torna mais difícil projetar estudos clínicos capazes de responder a essas questões. Para o neurologista Esper Abrão Cavalheiro, professor emérito da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), o problema começa antes: como se conhece pouco a causa da maioria dos transtornos neuropsiquiátricos, os tratamentos miram os sintomas mais visíveis, e um mesmo diagnóstico reúne pacientes com causas distintas. Ele lembra que o uso recente dos canabinoides começou "quase por acaso", com o caso de Charlotte Figi, menina norte-americana com síndrome de Dravet cujas crises diminuíram com uma formulação artesanal rica em CBD, divulgado pela CNN em 2013. "Do uso no controle das crises epilépticas ao uso em outras doenças neurológicas e psiquiátricas, foi apenas questão de anos — uma expansão que, na maioria das vezes, se deu por pressão popular e midiática", afirma.

SAÚDE MENTAL
A revisão analisou
54
ensaios clínicos, com
2.477
participantes, acompanhados por cerca de cinco semanas — o escopo da maior metanálise já feita sobre canabinoides

OMS
Mais de 1 bi
de pessoas vivem hoje no mundo com problemas de saúde mental

"O apelo popular e o da indústria fizeram os produtos à base de cannabis chegar às farmácias antes das evidências, que ainda estão sendo construídas pela ciência"

José Diogo Souza
Psiquiatra da FMRP-USP

Para Quintans Júnior, é preciso mudar de escala. "A pergunta já não pode ser apenas 'Cannabis funciona ou não funciona?'. Ela ficou pequena. Precisamos saber qual canabinoide, para qual doença, em qual formulação, dose, mecanismo e paciente. É esse refinamento que pode transformar um uso terapêutico milenar em evidência moderna, segura e capaz de dialogar com as políticas e recomendações em saúde." ●



Funcionários cuidam do plantio de cannabis medicinal na fazenda da Associação de Apoio à Pesquisa e Pacientes de Cannabis Medicinal (Apepi), em Paty do Alferes, no interior do Rio de Janeiro; a produção é utilizada na fabricação de óleos medicinais destinados aos associados Felipe Varanda/Apepi/Divulgação



CANNABIS MEDICINAL

enquanto corporações avançam, ativismo perde espaço

Já são 52 produtos autorizados pela Anvisa; empresas disputam um mercado bilionário

✻ Por **Janes Rocha**

Pouco mais de uma década se passou desde que um grupo de mães abriu caminho para a legalização da cannabis medicinal no Brasil. A trajetória delas foi retratada no documentário *Ilegal: a vida não espera*, disponível no YouTube. Desde então, a cannabis medicinal deixou de ser um tema restrito ao ativismo e passou a movimentar um mercado bilionário, que reúne desde associações de pacientes até grandes empresas farmacêuticas. Em 2023, o mercado mundial (legal) estava estimado em US$ 175 bilhões, segundo a BDSA, empresa de inteligência de mercado de cannabis.

Há anos, o professor Paulo José dos Reis Pereira, coordenador do Núcleo de Estudos sobre Drogas e Relações Internacionais (Nedri), da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), acompanha os processos de regulação da cannabis em diferentes países, especialmente o papel desempenhado por associações de pacientes e grupos historicamente ligados à luta pela regulamentação da planta. Agora, afirma, uma nova preocupação ganha centralidade: "A grande questão hoje é que o mercado está sendo cada vez mais dominado pelas corporações farmacêuticas e empresas internacionais de cannabis".

Pereira investiga como empresas, sobretudo dos Estados Unidos e Canadá, influenciam regulações e avançam sobre os mercados de cannabis na América Latina. A pesquisa que coordena, financiada pela FAPESP, também analisa os impactos sociais desse processo sobre comunidades pobres, rurais e marginalizadas que tradicionalmente participavam do mercado clandestino da planta.

A produção brasileira de fármacos à base da planta cresceu rapidamente na última década. Hoje, há 52 produtos autorizados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), pertencentes a 25 empresas. Entre elas estão laboratórios nacionais, como Eurofarma, Teuto e Biolab, além de companhias estrangeiras, como a israelense Cann10 e a canadense Verdemed. Nenhuma associação de pacientes possui autorização da Anvisa para fabricar medicamentos, já que esse tipo de registro é restrito à indústria farmacêutica.

As empresas disputam um mercado que movimentou R$ 971 milhões somente no Brasil no ano passado, segundo o *Anuário da Cannabis Medicinal 2025*, produzido pela consultoria Kaya Mind com base em dados oficiais e levantamentos próprios. O número de pacientes chegou a 873 mil no país, o que corresponde a um crescimento de 30% em relação ao ano anterior.

Captura do mercado

Segundo Pereira, a captura corporativa acontece de diferentes formas. Uma delas é o alto custo regulatório: exigências sanitárias, certificações internacionais e necessidade de grandes quantidades de capital tendem a favorecer grandes empresas. Além disso, companhias de países que legalizaram antes passaram a dominar cadeias internacionais de produção, financiamento e tecnologia.

Isso cria uma vantagem estrutural para corporações estrangeiras, enquanto países do Sul Global muitas vezes entram apenas como mercados consumidores ou fornecedores de matéria-prima — no caso, a planta de cannabis. Outro ponto central, segundo o pesquisador, é o controle sobre importação, distribuição, pesquisa clínica, propriedade intelectual e registro de medicamentos — etapas das quais as associações de pacientes normalmente ficam excluídas.

Um caso que ilustra essas disputas envolveu a farmacêutica brasileira Prati-Donaduzzi. Em 2020, a empresa



A advogada Margarete Santos de Brito, que fundou a Apepi junto ao marido, Marcos Langenbach Felipe Varanda/Apepi/Divulgação

Assista ao documentário *Ilegal: a vida não espera*

obteve do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Inpi) a aprovação de patente para um fitoterápico à base de canabidiol (CBD) — composto químico não psicoativo extraído da planta *Cannabis sativa* — com concentração entre 20 e 250 mg/ml. Em relatório publicado em 2022 pelo Transnational Institute, organização holandesa com programa voltado à análise da política de drogas, Pereira argumenta que a patente poderia gerar um monopólio na comercialização desse tipo de produto até 2036, dificultando a entrada de concorrentes no mercado.

Para o pesquisador, o episódio exemplifica como decisões sobre propriedade intelectual podem acabar influenciando quem participa — ou fica de fora — do mercado legal da cannabis.

DIANTE DA PROIBIÇÃO DO CBD NO BRASIL, RESTOU À ADVOGADA MARGARETE SANTOS DE BRITO TRAVAR OUTRA BATALHA: IMPORTAR LEGALMENTE O ÚNICO MEDICAMENTO QUE REDUZIA AS CONVULSÕES DA FILHA, HOJE COM 17 ANOS

Associações e ativismo

O avanço da cannabis medicinal no Brasil foi impulsionado pela mobilização de pacientes, familiares e associações, que passaram a pressionar autoridades sanitárias por acesso ao tratamento, de acordo com Pereira. Hoje, médicos e dentistas prescritores de cannabis já somam mais de 57 mil no Brasil, segundo o anuário da Kaya. Não há uma habilitação específica para isso: a prescrição segue as mesmas regras aplicáveis aos demais medicamentos de controle especial. Ainda é um número pequeno diante dos cerca de 635 mil médicos e 440 mil dentistas registrados no país, mas muito diante da realidade de dez anos atrás, quando praticamente nenhum profissional se arriscava a prescrever canabidiol.

A advogada carioca Margarete Santos de Brito lembra das dificuldades enfrentadas nos anos 2010 para tratar a filha Sofia, hoje com 17 anos, que tem a síndrome de CDKL5,

A grande questão hoje é que o mercado está sendo cada vez mais dominado pelas corporações farmacêuticas e empresas internacionais de cannabis

Paulo José dos Reis Pereira, professor da PUC-SP e coordenador do Núcleo de Estudos sobre Drogas e Relações Internacionais (Nedri)

doença genética rara que provoca crises epilépticas graves e atraso no desenvolvimento neuropsicomotor.

Depois de pesquisar alternativas dentro e fora do Brasil, Margarete encontrou no CBD o único medicamento capaz de reduzir as convulsões da filha. Na época, porém, o produto era proibido no país, o que deu início a outra batalha: conseguir importá-lo legalmente.

No mesmo período, em João Pessoa, Cassiano Gomes enfrentava problema semelhante para tratar as crises convulsivas da mãe. Além da burocracia, havia a dependência do dólar. "Quando subia, a medicação encarecia", lembra.

Gomes decidiu então fundar a Abrace Esperança, associação que mantém cultivo de cannabis e produz CBD para os associados. Segundo ele, mais de 60 mil pacientes já foram atendidos. "Assumi a responsabilidade de criar uma solução", afirma.

Margarete Brito e o marido, Marcos Langenbach, seguiram caminho semelhante ao criar a Associação de Apoio à Pesquisa e Pacientes de Cannabis Medicinal (Apepi), que hoje cultiva cannabis no interior do Rio de Janeiro para atender cerca de 1.400 associados.

A mobilização dessas associações ajudou a pressionar as autoridades sanitárias. Em março de 2019, a Anvisa publicou a Resolução 327, que regulamentou a fabricação, importação e venda de produtos de cannabis medicinal para uso humano no Brasil.

Apesar do avanço, a situação das associações ainda é considerada precária. Muitas operam amparadas por decisões judiciais: entidades que receberam autorização da Justiça cultivam a planta e fornecem produtos de cannabis medicinal exclusivamente para seus associados, não podendo comercializá-los no mercado, como fazem as empresas farmacêuticas. Segundo a consultoria Kaya, havia 315 associações de pacientes com CNPJ ativo em 2025, um aumento de 22% em relação ao ano anterior.

Como funcionam por autorização judicial, as associações não são fiscalizadas pela Anvisa. O acompanhamento é feito no âmbito da Justiça, que pode exigir relatórios e prestação de contas sobre as atividades autorizadas.

Modelo fragmentado

Em artigo publicado em 2025 na revista *Contemporary Drug Problems*, Pereira analisou o papel dessas associações na transformação do cenário regulatório brasileiro. O estudo conclui que essa "governança de baixo para cima" — isto é, impulsionada por pacientes e movimentos sociais — foi decisiva para ampliar o acesso à cannabis medicinal no país.

MÉDICOS E DENTISTAS PRESCRITORES
57.600

PACIENTES
873.111

IDADE
Faixa etária predominante dos pacientes entre
40 e 59 anos

ESTADOS DA FEDERAÇÃO
Projetos de lei promulgados que regulamentam o fornecimento público
22

COBERTURA MUNICIPAL*
3.306
Equivale a 59%

TAMANHO DE MERCADO
R$ 971 mi

MÉDIA DE SOLICITAÇÕES DIÁRIAS PARA IMPORTAÇÃO
502

HABEAS CORPUS
Documentos para cultivo impetrados no STJ desde 2013
978

INVESTIMENTO
Gastos públicos com fornecimento de cannabis medicinal
R$ 378 mi

* Municípios que possuem ao menos um paciente que já se tratou com cannabis desde 2019.
Fonte: *Anuário da Cannabis Medicinal 2025* | Kaya Mind Dados e Pesquisas Ltda.

"O Brasil não é o país mais atrasado, mas está longe de ser vanguarda na regulação da cannabis", afirma o pesquisador. Segundo ele, o modelo brasileiro é fragmentado: permite a comercialização de cannabis medicinal, mas o cultivo da planta continua restrito. Associações de pacientes só conseguem plantar mediante ações judiciais, enquanto a Resolução 1.012, aprovada em 2026 pela Anvisa, autorizou o cultivo para fins de pesquisa, mediante cadastro prévio, por universidades, instituições científicas e empresas farmacêuticas. A regulamentação entrou em vigor em 4 de agosto.

Pereira comenta que o proibicionismo também prejudicou a pesquisa científica sobre a cannabis. "Havia uma série de restrições para estudar a planta. Nas últimas décadas, ocorreu um boom dessa produção acadêmica mundialmente", afirma.

O grupo liderado por Pereira integra o Centro Transnacional de Pesquisa sobre Mercados Emergentes de Drogas (TRC-EDM), sediado na Universidade de Loughborough, no Reino Unido, que conta com financiamento da Fundação Open Society para pesquisar os impactos sociais, econômicos e políticos da regulamentação dos mercados de drogas em diferentes países.

Kojo Koram, pesquisador ganês que coordena o centro, conta que o objetivo é "influenciar processos de legalização da cannabis no Sul Global, para priorizar igualdade econômica, justiça racial e sustentabilidade ambiental em detrimento do lucro corporativo".

Representantes do setor empresarial discordam do temor de concentração de mercado. Denise Queiroz, diretora de relações institucionais da farmacêutica Biolab, afirma que a complexidade regulatória no Brasil dificulta investimentos externos nos produtos. "É uma barreira de entrada para competidores internacionais", diz.

A Biolab mantém acordo com a companhia suíça Prodiol para a importação de extratos e CBD purificados para envase e comercialização no Brasil. A empresa também investe na capacitação de médicos e farmacêuticos para atuação na área.

"Não vejo risco de concentração [de mercado]", afirma Caio Santos Abreu, empreendedor que representa no Brasil a empresa norte-americana Entourage Cannabis. Segundo ele, os grandes laboratórios brasileiros ainda investem pouco em pesquisa e desenvolvimento, o que abriria espaço para startups e associações.

A Entourage desenvolve uma plataforma de produtos emulsificantes, ainda não disponíveis comercialmente, que buscam reduzir efeitos colaterais no fígado comuns nos tratamentos à base de CBD. ●


HERBARIUM
1867.
HOOKERIANUM
Bahia.
158.
1832 a
Sarrow.



De volta para o futuro

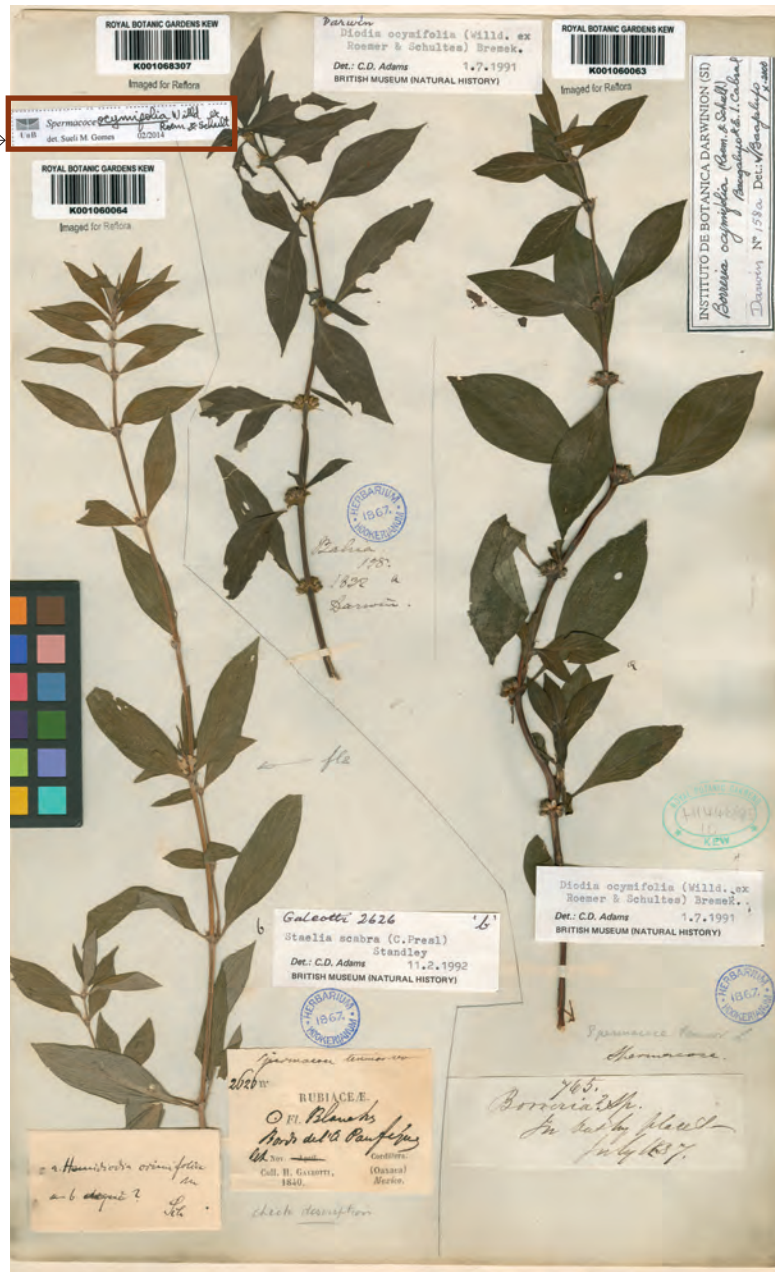
Criado para repatriar a flora coletada por naturalistas europeus entre os séculos 18 e 20, o projeto Reflora completa 16 anos com quase 5 milhões de imagens produzidas e servindo de inspiração para a digitalização completa de um dos maiores herbários do mundo

✻ Por **Tiago Jokura**

Nos primeiros meses de 1832, um jovem inglês de 23 anos percorria os arredores de Salvador, na Bahia, com uma prensa de madeira e uma pilha de papel sob o braço. Tinha acabado de desembarcar de um navio de levantamento hidrográfico da Marinha britânica e, deslumbrado com a exuberância da Mata Atlântica, anotou em seu diário que "deleite" era pouco para descrever o prazer de explorar uma floresta brasileira pela primeira vez. Entre as plantas que prensou, secou e etiquetou naquelas semanas baianas não havia nada de espetacular: o exemplar nº 158 de sua coleta era uma ervinha de beira de caminho e de flores brancas, dessas que crescem em qualquer chão. Quase dois séculos depois, o registro ainda guarda a caligrafia do coletor: Charles Darwin (1809-1882), que passou pelo Brasil durante sua histórica viagem a bordo do HMS Beagle.

A planta coletada nunca mais voltou à Bahia. Como o restante do material botânico da viagem, seguiu em caixotes para Cambridge, na Inglaterra, aos cuidados do reverendo John Stevens Henslow, professor e mentor de Darwin, que distribuiu duplicatas entre colegas. Uma delas foi parar no herbário particular de William Jackson Hooker, primeiro diretor dos Jardins Botânicos Reais de Kew — que hoje abrigam cerca de 450 espécimes vegetais coletados pela expedição do Beagle —, e pai de Joseph Dalton Hooker, melhor amigo do naturalista. William morreu em 1865 e sua coleção pessoal foi comprada pelo governo britânico no ano seguinte. Em 1867, a ficha da ervinha coletada por Darwin foi marcada com as palavras "Herbarium Hookerianum". O carimbo azul continua lá, intacto, ao lado do ramo seco.

Nos 150 anos seguintes, o espécime trocou de nome quatro vezes, e cada botânico que o examinou colou na cartolina uma etiqueta nova, refletindo a sucessiva reclassificação da espécie em diferentes gêneros: *Hemidiodia* (ano indeterminado), *Diodia* (1991), *Borreria* (2000), *Spermacoce*. Essa última é de fevereiro de 2014, assinada por uma pesquisadora da Universidade de Brasília (UnB), Sueli M. Gomes. Ao lado da planta seca, três códigos de barras — um para cada exemplar da ficha, incluindo o de Darwin, ao centro — trazem impressa a mesma frase: *Imaged for Reflora*.



Erva (no centro) colhida pelo inglês Charles Darwin em passagem pela Bahia, em 1832 Acervo Kew

Preparamos uma playlist para você ouvir antes, durante ou depois da reportagem



Em Paris, em 2009, o então diretor-geral do Museu Nacional de História Natural de Paris, Bertrand-Pierre Galey (à esq.), e Marco Antonio Zago, à época presidente do CNPq, assinam um dos acordos internacionais que originaram o Reflora Arquivo pessoal

Foi um desses registros que o hematologista Marco Antonio Zago viu em 6 de outubro de 2009. Então presidente do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ele estava em Kew para assinar uma carta de entendimento que daria origem ao Reflora — programa do CNPq, lançado no ano seguinte, para trazer de volta ao Brasil, digitalmente, amostras da flora brasileira levadas por naturalistas europeus entre os séculos 18 e 20. Ao ouvir dos anfitriões que a coleção britânica guardava algo como 300 mil amostras de plantas brasileiras, ele não hesitou. "Eu pedi para ver uma. E eles trouxeram logo uma exsicata coletada pelo Charles Darwin", lembra Zago, hoje presidente da FAPESP. "É emocionante ter contato com amostras que uma figura dessa importância para a ciência coletou aqui, no Brasil."

Simbiose internacional

Dezesseis anos depois do acordo assinado, quem menciona o programa brasileiro como referência é o próprio Kew. Em março, o jardim botânico britânico concluiu o maior projeto científico de sua história: a digitalização de 7,4 milhões de espécimes de plantas e fungos, num esforço de quatro anos. Na direção executiva de ciência de Kew desde 2019, o biólogo Alexandre Antonelli — primeiro brasileiro no cargo — aponta para a semente da ideia. "O Reflora foi o primeiro projeto mundial de repatriação digital de coleções brasileiras depositadas no exterior e foi uma inspiração para nós", declarou à Agência FAPESP em junho de 2026.

Repatriar, nesse caso, não é trazer a planta seca de volta ao Brasil, mas a sua imagem. A promessa de retorno que Gilberto Gil entoa em "Eu vim da Bahia" ("Mas eu volto pra lá") se cumpre em altíssima resolução e realce: cada exsicata é

O que é exsicata

Amostra de planta prensada, seca em estufa e fixada em cartolina ao lado de uma etiqueta com nome da espécie e do coletor, data e local da coleta e um número de tombo único. É a unidade básica de um herbário e um registro da presença daquela planta em determinado lugar e momento.

Como nasce uma exsicata

Sete etapas — do campo à gaveta do herbário — transformam uma planta comum em um registro científico permanente



1 COLETA E REGISTRO

Em campo, o pesquisador coleta material representativo da planta, idealmente com folhas e estruturas reprodutivas (flores/frutos). É hora de registrar número do coletor, localidade, coordenadas, altitude, data, hábito, altura, coloração, características que desaparecerão após a secagem etc.

fotografada com etiqueta, escala e código de barras, e a imagem é enviada ao Herbário Virtual Reflora, hospedado no Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ), onde uma equipe transcreve as informações de coleta para um banco de dados estruturado. Foi assim que, até o fechamento desta reportagem, em setembro de 2026, cerca de 265 mil amostras vindas de Kew e por volta de 250 mil do Museu Nacional de História Natural de Paris (MNHN) vieram, digitalmente, parar no Brasil — a maioria delas, repatriadas.

Três dias depois da visita a Kew, em 9 de outubro de 2009, Zago assinou um segundo acordo, dessa vez, em Paris — e a cena rendeu uma coincidência que ele faz questão de recordar. A sala do museu escolhida para a cerimônia tinha, em uma das paredes, uma grande tela com uma girafa. Era Zarafa, que, em 1826, cruzou o Mediterrâneo de navio até Marselha e, como não havia como transportá-la, seguiu a pé até Paris, em uma caminhada de mais de 40 dias e quase 900 quilômetros, que atraiu multidões e disparou uma "girafamania" na moda e na decoração da época. Zarafa viveu em Paris até 1845 e o retrato mais conhecido dela, pintado em 1827 por Nicolas Huet, integra o acervo do MNHN. De certa forma, a imagem da girafa Zarafa, de um espécime retirado do seu hábitat para nunca mais voltar, simbolizava a história das plantas que a expedição brasileira buscava resgatar.

Quem foi Zarafa

A primeira girafa a pisar na França foi oferecida pelo vice-rei do Egito, Muhammad Ali (não confundir com o boxeador), ao rei Charles 10º.

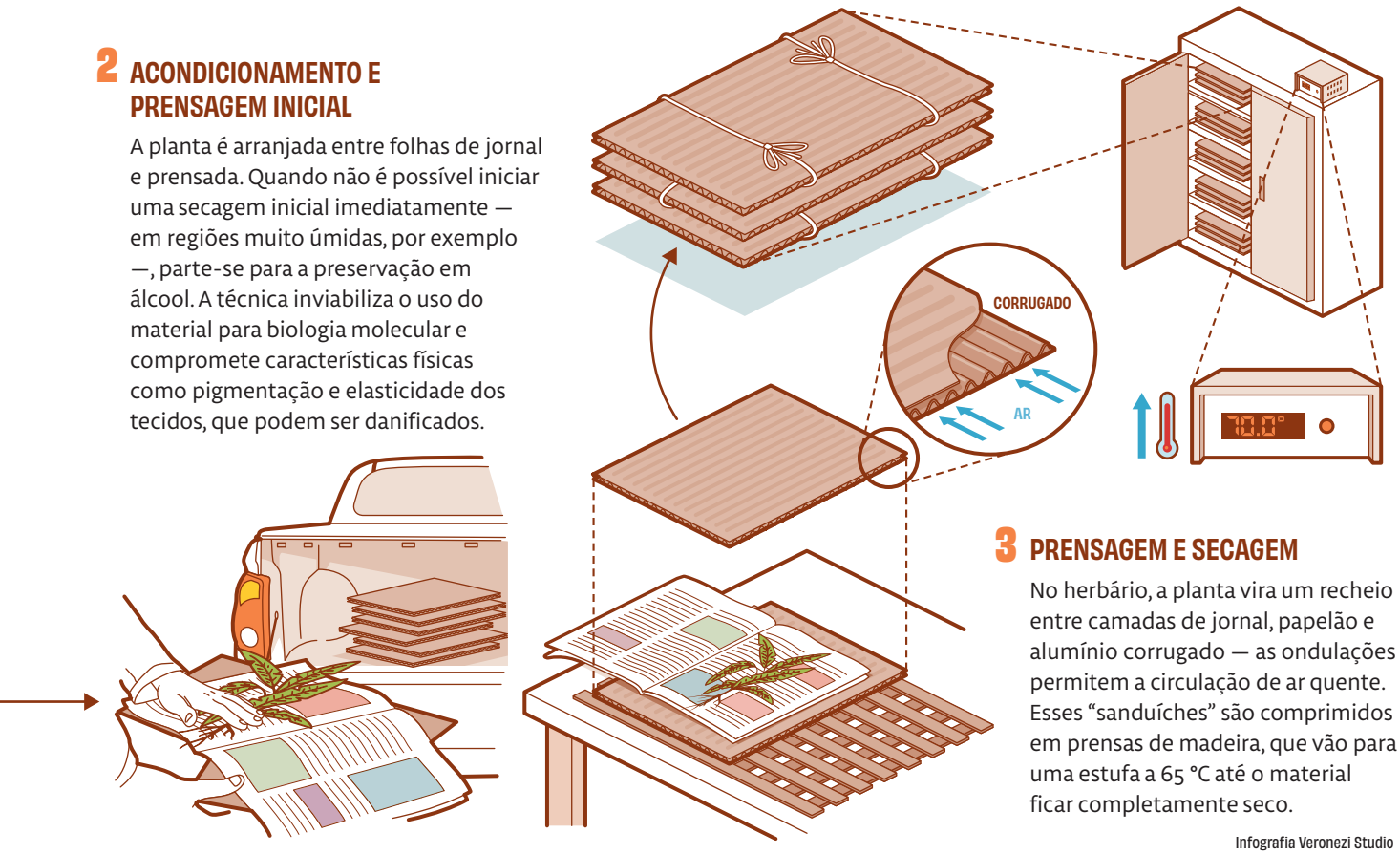
Repatriação digital

Quando os acordos foram assinados, ainda não existia Reflora, mas já havia a demanda.

No fim dos anos 1990, botânicos de Kew obtiveram financiamento do fundo britânico Darwin Initiative para um projeto-piloto, de um ano: a ideia era enviar ao Brasil imagens fotográficas de alta resolução de espécimes-tipo (exemplares que servem de referência para a descrição original de cada espécie) oriundos do Nordeste. Juntamente com essas imagens, vieram fotocópias das

2 ACONDICIONAMENTO E PRENSAGEM INICIAL

A planta é arranjada entre folhas de jornal e prensada. Quando não é possível iniciar uma secagem inicial imediatamente — em regiões muito úmidas, por exemplo —, parte-se para a preservação em álcool. A técnica inviabiliza o uso do material para biologia molecular e compromete características físicas como pigmentação e elasticidade dos tecidos, que podem ser danificados.



3 PRENSAGEM E SECAGEM

No herbário, a planta vira um recheio entre camadas de jornal, papelão e alumínio corrugado — as ondulações permitem a circulação de ar quente. Esses "sanduíches" são comprimidos em prensas de madeira, que vão para uma estufa a 65 °C até o material ficar completamente seco.

Infografia Veronezi Studio

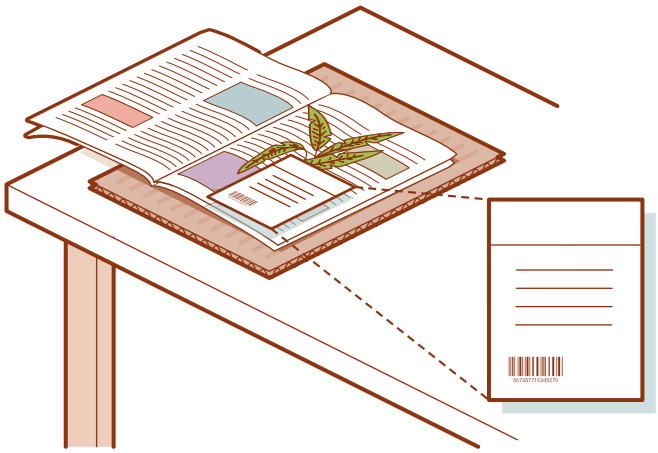


Lucilene Velo (CNPq), Andy Burchell (Kew), Marco Antonio Zago (CNPq) e Eimear Nic Lughadha (Kew), em encontro que deu origem ao Reflora, em Londres Acervo Kew

publicações originais, em que as espécies foram descritas como novas para a ciência. Numa segunda fase, apoiada por financiadores corporativos e filantrópicos de Kew, imagens de outras famílias botânicas foram disponibilizadas, mas agora digitalmente e on-line. Paralelamente, numa ação complementar em 1998, o Programa Plantas do Nordeste (PNE) — conduzido por uma associação de pesquisadores em parceria com o Kew e com apoio do CNPq — também colhia dados sobre plantas do Nordeste brasileiro, com foco especial naquelas utilizadas como lenha, forragem e para fins medicinais.

Em 2006, um documento do Ministério da Ciência e Tecnologia já listava o repatriamento de informações sobre a biodiversidade brasileira como necessidade "indiscutível", sem que houvesse iniciativa para executá-lo, como consta em um artigo que reconta a história do Reflora, publicado em 2024 na revista *Biota Neotropica*.

A virada veio de uma conversa. "A Ana Maria Giulietti, uma botânica importante da nossa época, com uma visão futurista, conseguiu uma reunião com a presidência do

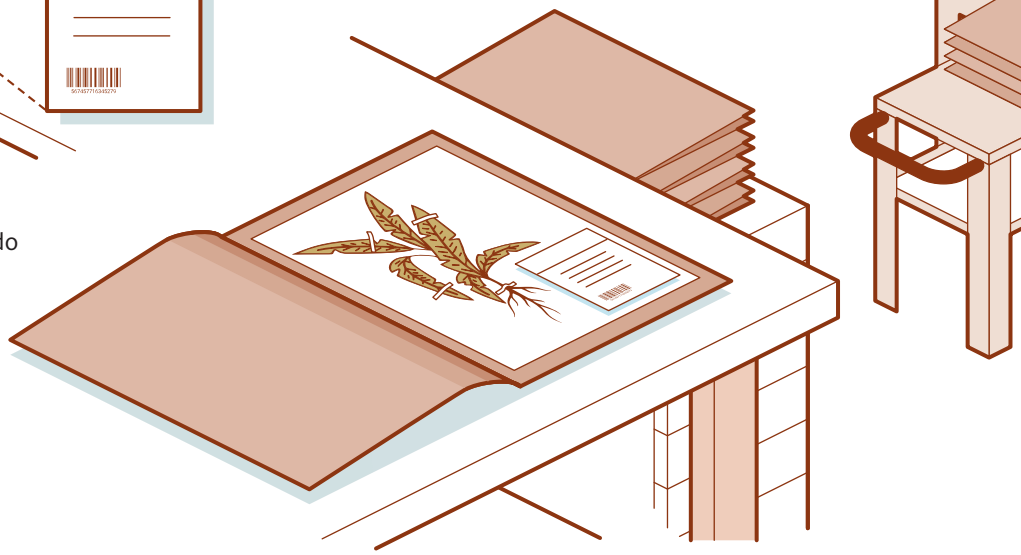


4 REGISTRO E CATALOGAÇÃO

Depois de seco, o material é identificado taxonomicamente (confirmando ou não a identificação de campo). As informações são inseridas em um banco de dados e o espécime recebe seu número de tombo. No Herbário do Jardim Botânico do Rio de Janeiro (RB), a coordenação desses dados é feita pelo sistema de gerenciamento de coleções botânicas Jabot.

5 MONTAGEM DA EXSICATA

A planta seca é fixada em uma cartolina de herbário, juntamente com a etiqueta contendo identificação taxonômica, coletor, número de tombo, localidade, data, coordenadas, hábitat etc. Eventuais pedaços que se soltem da planta podem ser guardados em um envelope anexado à cartolina.



CNPq e explicou a situação: estamos avançando, mas para seguir adiante precisamos digitalizar as coleções", relembra a botânica Rafaela Forzza, coordenadora do Reflora desde o início do programa. Naquele momento, o país acabava de entregar à Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), da Organização das Nações Unidas (ONU), a lista de espécies da flora brasileira, organizada por ela, mas ainda com pouquíssimos acervos on-line.

Do outro lado da mesa, Zago viu a chance de ampliar o pedido. "Eu me lembro da proposta de um herbário do Nordeste que queria apoio do CNPq para digitalização. Vi nisso a possibilidade de fazer algo de amplitude nacional", diz. A ideia de sediar o sistema no JBRJ surgiu ali, já acompanhada de um obstáculo comum nesse tipo de projeto: convencer os donos de coleções pequenas a aderir à iniciativa. "É uma discussão dolorosa, porque as pessoas tratam a coleção como propriedade", completa.

O repatriamento foi o argumento que faltava. "Essa foi a novidade que convenceu a todos e fez com que se agregassem", afirma Zago, que se informou sobre onde estavam as maiores coleções de plantas brasileiras na Europa e planejou a viagem a Londres e Paris. Ficou impressionado com o número de amostras de Kew — até chegar ao museu francês. "Falei: 'Lá em Kew tem cerca de 300 mil'. Responderam: 'Temos bem mais do que isso'."

Repatriar as exsicatas fisicamente estava fora de cogitação. A saída era a tecnologia que começava a se disseminar nos grandes herbários. "Você pode aumentar a imagem da folha e examinar a densidade e a natureza dos pelos, observar a disposição das nervuras. Ficou evidente que nós não precisávamos ter os espécimes aqui se conseguíssemos digitalizar", diz Zago. Os acordos previam bolsistas brasileiros de mestrado e doutorado trabalhando nas coleções europeias, o que ajudava a priorizar as amostras do país.

Zago deixou o CNPq logo depois das assinaturas, e coube ao sucessor, Carlos Alberto Aragão, lançar um edital para a captação de apoio financeiro. Entre 2010 e 2015, o Reflora movimentou cerca de R$ 24,5 milhões, oriundos de diversas fontes: R$ 9,1 milhões do CNPq e do Fundo Nacional



6 DIGITALIZAÇÃO

A exsicata segue para uma mesa iluminada para ser fotografada por técnicos especializados. A imagem, composta por planta, etiquetas, número de tombo e escalas de tamanho e de cores, é digitalizada em altíssima definição para fazer parte do acervo disponível on-line para o público.

7 INCORPORAÇÃO E ARMAZENAMENTO NO ACERVO

A exsicata é organizada fisicamente nos armários da coleção, seguindo organização taxonômica (famílias, gêneros e espécies) em ambiente com condições controladas para garantir sua conservação por décadas ou séculos. A temperatura no acervo é de constantes 18 °C.

Infografia Veronezi Studio

de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), R$ 5 milhões de 12 fundações estaduais de amparo à pesquisa, entre elas a FAPESP, R$ 3 milhões da Natura, R$ 2,9 milhões da Capes, R$ 2,7 milhões do Fundo Newton britânico e R$ 1,7 milhão da Vale. O Herbário Virtual Reflora entrou no ar em 30 de setembro de 2013, com cerca de 420 mil imagens.

Para os parceiros europeus, o programa já nasceu dando bons frutos. "O Reflora foi o primeiro herbário virtual do mundo que tinha a conservação como objetivo principal", destaca a botânica Eimear Nic Lughadha, atualmente líder de pesquisa em avaliação de conservação em Kew e, nos anos 2010, representante da instituição no comitê técnico do Reflora. A afirmação é mensurável: numa análise de 806 publicações científicas citando o Reflora até 2017 — quatro anos após o lançamento —, cerca de 50% mencionaram resultados relevantes para a conservação de espécies — o que também foi relatado por 80% dos 1.069 usuários que responderam a uma enquete para o mesmo estudo. "Disponibilizar os dados sobre diversidade biológica à comunidade de pesquisadores faz parte do nosso DNA, e o conhecimento sobre as espécies se beneficia enormemente com isso", completa.

Em Paris, o botânico Marc Pignal, ex-diretor de coleções do MNHN e representante do museu no comitê técnico do Reflora, lembra bem da visita de Zago. "Apresentamos o herbário da princesa Isabel, que mantemos nas coleções históricas. No âmbito do Reflora, produzimos réplicas digitais fiéis depositadas no Museu Nacional do Rio de Janeiro", conta. Entre 2010 e 2013, o museu digitalizou integralmente seu herbário, e a experiência se estendeu a países vizinhos do Brasil. "Partimos do princípio de que a distribuição das espécies vegetais não está ligada às fronteiras políticas dos países." Pignal também menciona a importância de projetos anteriores de digitalização envolvendo o MNHN e outras instituições brasileiras, como o antigo Instituto de Botânica de São Paulo (IBt) — atualmente integrado ao Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA) — e o Centro de Referência em Informação Ambiental (Cria), de Campinas (SP).

Ficha limpa

Conheça os principais detalhes preservados — e observados — em uma exsicata em tamanho real

FOLHAS

A primeira observação do taxonomista — que identifica, descreve, nomeia e classifica os seres vivos em categorias ordenadas — é determinar se a folha é simples ou composta e como está posicionada no caule. Esses costumam ser alguns passos das **chaves dicotômicas** que orientam o fluxo de investigação até a família botânica.

CHAVES DICOTÔMICAS

O taxonomista segue pistas sequenciais que, geralmente, apresentam duas alternativas por vez — folhas simples ou compostas, por exemplo. Cada escolha o conduz a uma nova etapa e, à medida que ele avança na análise das partes da planta, as possibilidades ficam mais restritas, encaminhando a identificação.



IMPRESSÃO "DIGITAL"

Neste exemplar, as folhas são compostas e trifolioladas, ou seja, cada folha é formada por três folíolos. A partir daí, o taxonomista começa a analisar detalhes mais específicos: como esses folíolos estão dispostos, seu formato, ápice e base, margem, nervação, textura e presença de pelos (**tricomas**). Ele também analisa estruturas como estípulas e pecíolos.

ESTRUTURAS REPRODUTIVAS

Observar **flores** e frutos é fundamental na maioria dos casos. Primeiro, observa-se como as flores estão organizadas — se isoladas ou reunidas em inflorescências e qual é o tipo e a posição dessas inflorescências. Na flor, examinam-se cálice, corola, estames e gineceu. Número, forma, tamanho, união ou separação e posição dessas peças são decisivos para avançar a classificação da família para o gênero e, finalmente, para a espécie.


ETIQUETA
Manuscrita ou impressa, contém dados como nome científico (*Monnieria trifolia*, à época) e data da coleta (junho de 1941) — neste caso, relativos ao ramo com raiz, à direita.
CÓDIGO DE BARRAS
Permite saber exatamente qual exemplar está sendo examinado e acessar os dados associados a ele no banco de dados, como local, data da coleta, coletor e identificações anteriores.
FORÇA DO HÁBITO
Também vale observar o hábito: forma geral e porte de um exemplar adulto, incluindo estrutura, tipo de caule e modo de crescimento. Esta imagem é de uma planta subarbustiva da espécie *Ertela trifolia* (popularmente conhecida como alfavaca-de-cobra). Como ela preservou a raiz e parte do sistema subterrâneo, é possível observar características que se perderiam se apenas um ramo tivesse sido coletado.
Iniciais de Charles Darwin, o coletor da exsicata
RÉGUA
Ferramenta importante para a identificação, já que muitos caracteres utilizados nas descrições e nas chaves taxonômicas são dimensionados. Por meio dela, o pesquisador pode avaliar o tamanho real das estruturas e comparar medidas com as descrições das espécies.
COLOR CHECKER
Referência padronizada de cor que pode ser um ponto de identificação importante em determinadas estruturas. É preciso, contudo, ter cautela porque o processo de secagem é capaz de alterar significativamente a coloração original.
AL BOTANIC GARDENS KEW
K001173176
ed for Reflora
HERBARIUM
1867.
HOOKERIANUM
Bahia Feb. March
from J. S. Henslow.
Monnieria trifolia L.
DET. D.M. Porter
10 Dec. 1980
Kew
ROYAL BOTANIC GARDENS
copyright reserved
cm
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Biblioteca viva

O Reflora nasceu para repatriar, mas não parou por aí. "A ideia inicial era somente trazer de volta dados e imagens dos acervos de Kew e Paris. Só que essa pessoa que vos fala era curadora do maior herbário do Brasil, que não tinha imagens das próprias amostras", diz Forzza, que foi curadora do herbário do JBRJ entre 2006 e 2023. "Parecia incoerente eu trabalhar no repatriamento de imagens sendo que as amostras de que eu era curadora também precisavam ser digitalizadas." O acervo do Jardim Botânico, então, entrou no pacote. A partir de 2014, com apoio do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr) e do Inventário Florestal Nacional (IFN), outros herbários europeus, norte-americanos e brasileiros foram incluídos no projeto, alguns deles recebendo equipamentos, treinamento e bolsistas para a digitalização de seus espécimes. Hoje, o Herbário Virtual reúne 4.866.086 imagens de 86 coleções do Brasil e do exterior — 806.582 delas do herbário do JBRJ, identificado pela sigla RB ("R" de "Rio" e "B" de "botanic", seguindo o código internacional para a nomenclatura de herbários).

Visitei o RB em julho, recebido pelos curadores Cassia Sakuragui e Ricardo da Gama Bahia, que percorreram comigo não somente os corredores do herbário, mas o caminho de uma planta, vinda da mata, até parar num servidor de dados (mais detalhes na p. 26). Tudo começa em campo, com a coleta de um ramo, idealmente com flores ou frutos, e o registro de coordenadas, altitude, hábito, cor e outros detalhes que somem com a secagem. O material é prensado entre folhas de jornal para transporte — ou embebido em álcool para não apodrecer, em expedições por regiões úmidas. Chegando ao herbário, a planta vira recheio de um sanduíche de jornais, papelões e chapas de alumínio corrugados, que vai para a estufa a 70 °C até secar por completo. Identificada, a planta ganha número de tombo, um código de barras, e é fixada em cartolina ao lado da etiqueta, fotografada em alta resolução e, enfim, guardada em armários a 18 °C constantes, organizados por família, gênero e espécie.

"A incorporação ao herbário não encerra a história daquele exemplar. Na realidade, é quando começa sua



Você pode aumentar a imagem da folha e examinar a densidade e a natureza dos pelos, observar a disposição das nervuras. Ficou evidente que nós não precisávamos ter os espécimes aqui se conseguíssemos digitalizar

Marco Antonio Zago, presidente da FAPESP

A incorporação ao herbário não encerra a história daquele exemplar. Na realidade, é quando começa sua vida como parte de uma infraestrutura científica permanente

Ricardo da Gama Bahia, curador do herbário do Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ)

Visite o Herbário Virtual Reflora e explore seus mais de 4,8 milhões de espécimes

vida como parte de uma infraestrutura científica permanente", explica Bahia. O exemplar pode ser emprestado a outras instituições, receber novas identificações e alimentar estudos que vão da taxonomia à biogeografia, incluindo a conservação de espécies ameaçadas de extinção.

Lá também me apresentaram a mesa de digitalização, que é um dos símbolos do Reflora. Enquanto Paris fotografava as fichas em esteiras industriais e Kew usava câmeras especiais, os acervos brasileiros precisavam encontrar soluções mais viáveis economicamente. "Chamamos um marceneiro, um serralheiro, contratamos um fotógrafo, que nos deu consultoria: 'Posiciona a lâmpada aqui. Essa lente é a melhor'. E assim montamos um modelo de mesa que hoje diversos herbários pelo Brasil reproduzem. Fomos nós que desenvolvemos", conta Forzza. E assim foi possível digitalizar coleções menores. "Se o Reflora não tinha esse objetivo, eu tinha", afirma.

Os gargalos seguintes eram invisíveis ao público. As imagens repatriadas chegam em arquivos digitais brutos, muito maiores do que as versões consultadas on-line, e a rede do JBRJ não dava conta. Foi preciso trocar todo o cabeamento e montar um data center. Em alguns momentos, as equipes europeias vinham ao Rio com malas cheias de HDs externos. "Eu sou só botânica, e de uma geração antiga. Quando alguém falava 'precisa comprar um servidor', eu pensava que servidor faz concurso público", diz, brincando, Forzza. Do outro lado da tela, um time de bolsistas abria cada imagem e transcrevia o que lia em etiquetas manuscritas em inglês ou francês dos séculos 18 e 19. "Não tem nada de IA nisso. Tinha alguém capturando a imagem, alguém mandando para o Brasil, alguém transcrevendo, alguém desenvolvendo o sistema. São muitas pessoas para que uma imagem chegue bonita, on-line, para todo mundo."

O sistema, aliás, é o desafio menos óbvio. Antes do Reflora, o JBRJ já havia criado o Jabot, um gerenciador de coleções desenvolvido internamente a partir de 2003 e hoje usado por cerca de 100 herbários brasileiros. Um acervo biológico, explica Forzza, não é um estoque com entradas e saídas: ele é vivo e, por isso, dinâmico. Cada novo consenso taxonômico — e eles não são raros, como demonstra a exsicata baiana de Darwin — pode rebatizar espécies, fundir gêneros ou desmembrar famílias, e o banco de dados precisa acompanhar essa reestruturação. "A gente tinha que desenvolver um sistema de dados capaz de entender o que os botânicos fazem. O que eu falava tinha que ser entendido pelos engenheiros de computação e analistas que estavam desenvolvendo o sistema, e o que eles falavam tinha que ser entendido por mim. Foram muitos tropeços até funcionar", relata Forzza. Para o Herbário Virtual, entrou em cena a Coppe, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com o matemático Geraldo Zimbrão à frente de uma equipe de analistas e pós-graduandos. "Nenhum dos nossos sistemas foi copiado de países desenvolvidos. A tecnologia é toda nacional, feita por servidores públicos. Tenho orgulho disso", diz.

O CNPq lançou um único edital do Reflora, em 2010, e o programa sobrevive desde então com aportes pontuais. "É o único país do mundo que faz isso tão bem, com tecnologia própria. Não é justo abandonar os botânicos", diz Forzza, que vê como próximo passo a construção de bibliotecas de imagens capazes de treinar sistemas de identificação automática — atualmente ruins para trabalhar com a flora tropical porque vastas regiões do Brasil ainda não têm amostras coletadas. "A máquina vai aprender por onde, se a gente não ensinar?"

Em paralelo, Zago sugere novas expedições a partir das informações repatriadas. Como cada imagem traz o local exato da coleta, ele já propôs enviar equipes aos mesmos pontos, colher amostras equivalentes e sequenciar o DNA, reconstruindo, quase dois séculos depois, o caminho dos naturalistas de outrora. "Isso não andou. Quem sabe ainda ande um dia."

Para Sakuragui, seguir refazendo essa trilha é possível. "Uma exsicata é um registro permanente de uma planta em determinado lugar e momento. Por isso, coleções históricas permitem responder perguntas que seus próprios coletores nem poderiam ter imaginado." Que o diga aquele jovem naturalista inglês de 23 anos que, coletando e prensando folhas na Bahia, jamais imaginaria que, um dia, sua planta voltaria para lá. ●

A GEOGRAFIA DA CHUVA

Pesquisadores redesenham o mapa dos efeitos do El Niño na agricultura brasileira; enquanto algumas culturas podem se beneficiar das chuvas no Sul, outras ficam mais expostas à seca no Norte e no Nordeste

✻ Por **Emilio Sant'Anna**

Os efeitos do El Niño vão além dos limites das cidades. No campo, ele redistribui a chuva e o calor e redesenha o mapa da produção agrícola brasileira. O setor é responsável por 25% do PIB nacional. Na safra 2023/2024, a produção de grãos caiu 21,4 milhões de toneladas, período em que o fenômeno climático atingiu em cheio o país. Os números são, respectivamente, da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), em levantamento com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), e da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). Ganhos e perdas no agro, porém, dependem de uma série de variáveis e do nível de adaptação.

Distribuição de chuvas, localização, fase de desenvolvimento da planta, capacidade do solo de armazenar e drenar água, genética e manejo são fatores que entram nessa equação. Para avaliar essas condições e se antecipar aos efeitos do fenômeno climático, um arsenal científico auxilia os agricultores.

O El Niño se caracteriza pelo aquecimento das águas superficiais do oceano Pacífico na região equatorial. As consequências são as mudanças dos padrões de circulação das correntes marítimas e das massas de ar, o que leva a repercussões distintas ao redor do planeta. As preocupações com eventos extremos que o fenômeno pode trazer aumentaram no início de setembro, com o anúncio do Centro de Previsão Climática (CPC), dos Estados Unidos, ligado à Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (Noaa, na sigla em inglês). A probabilidade de o El Niño atingir a categoria "muito forte" entre o outono e o inverno do Hemisfério Norte de 2026/2027 supera 90%. A possibilidade de alcançar intensidade maior que a dos episódios registrados desde 1950 é de 75%.

Este é um cenário que abre dois caminhos para grande parte dos produtores: adaptação ou perdas de produtividade e econômicas. "Para nós, fornecedores de cana, um El Niño forte significa que as mudanças climáticas vão afetar diretamente o nosso negócio e o nosso bolso. A colheita pode ser prejudicada, caso as chuvas atrapalhem a moagem, afetando o teor de sacarose da cana", afirma Francisco César Urenha, diretor-presidente executivo da Cooperativa dos Plantadores de Cana do Oeste do Estado de São Paulo (Copercana).

No Brasil, os reflexos variam entre as regiões. No Sul, o fenômeno climático tende a aumentar o volume e a frequência das chuvas e dos eventos extremos, como em 2024, quando mais de 2 milhões de pessoas foram atingidas por enchentes. No Norte e no Nordeste, favorece as secas na Amazônia e no interior nordestino. As imagens dos leitos quase secos dos rios amazônicos, no mesmo ano, ainda não desapareceram da memória coletiva. No Centro-Oeste e no Sudeste do país, temperaturas acima da média, ondas de calor e períodos de baixa umidade costumam ser resultados diretos do El Niño.

As alterações no clima, que usualmente se dão em intervalos de dois a sete anos, levam para o agro brasileiro um cenário condicionado por uma série de variáveis e que costuma se apresentar da seguinte forma: soja, milho de verão, pastagens e arroz irrigado podem ser favorecidos pela maior disponibilidade de água no Sul. Milho e feijão de sequeiro, pastagens e pecuária ficam mais expostos à falta de chuva no Norte e no Nordeste.

No Centro-Oeste, o atraso da estação chuvosa diminui a janela do milho

safrinha e ameaça a soja. Cana, café, citros, trigo, arroz e hortaliças ocupam uma faixa intermediária: podem ganhar em crescimento ou oferta de água e perder em qualidade, sanidade, radiação solar ou condições de colheita.

Com produção concentrada no Centro-Oeste, a soja é o produto agrícola de maior peso na balança comercial brasileira. Em 2025, respondeu por US$ 43,5 bilhões em exportações, segundo o Ministério da Agricultura. Considerando também farelo e óleo, foram US$ 52,9 bilhões. O milho é o segundo em volume de produção de grãos, com 139,7 milhões de toneladas na safra 2024/2025, de acordo com a pasta.

As duas culturas também ocupam os primeiros lugares no ranking do valor da produção agrícola brasileira. Em 2025 foram R$ 927,2 bilhões, no total, segundo a Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), do IBGE. A soja respondeu por um terço, com R$ 315,2 bilhões e uma safra recorde de 165,3 milhões de toneladas, crescimento de 14,4% em relação ao ano anterior. O milho ocupou a segunda posição, com R$ 122,1 bilhões (13,2%). Na sequência, vieram a cana-de-açúcar, com R$ 108,9 bilhões (11,7%); o café, com R$ 100 bilhões (10,8%); e o algodão, com R$ 40,6 bilhões (4,4%). Laranja, arroz, mandioca e banana completaram o grupo das principais culturas, com participações de 2,5%, 2,1%, 2% e 1,8%, respectivamente, no valor total da produção.

Manter esses resultados neste ano depende de diferentes fatores. O solo faz parte dessa série de variáveis. Segundo Carlos Eduardo Pellegrino Cerri, professor da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq-USP), coordenador do Centro de Estudos de Carbono em Agricultura Tropical (CCarbon), um Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão (CEPID), da FAPESP, é preciso considerar a duração do ciclo da planta, textura, estrutura e profundidade do solo, drenagem, topografia e sistema de produção. Suas pesquisas avaliam fatores ligados à capacidade da lavoura de atravessar tanto períodos secos quanto chuvas intensas.

O El Niño não adiciona nem subtrai produtividade de forma uniforme pelo país. Ele redistribui água e energia, e o sinal do efeito em cada lavoura depende de qual era o fator limitante naquele sistema

Fábio Marin, professor da Esalq-USP e coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas

Ele explica que áreas de cultivo que passam por preparo convencional, plantio direto na palha ou sistemas integrados não respondem da mesma maneira à mesma chuva. "O efeito depende não somente da cultura [exemplo: ciclo curto versus culturas anuais versus semiperenes ou perenes] mas também do tipo de solo [arenoso, argiloso ou textura média], da drenagem [usualmente mais bem estruturada quando práticas de manejo sustentáveis são adotadas], da topografia [platô, encosta ou planície de deposição] e do sistema de produção", afirma Cerri.

Soja, milho, mandioca e cana-de-açúcar têm grande demanda hídrica. Plantadas em solo bem drenado, podem aproveitar uma estação mais chuvosa, especialmente quando a precipitação coincide com as fases críticas do ciclo. Em solos compactados ou com drenagem ineficiente, porém, há queda da oxigenação das raízes, o que altera a absorção de nutrientes e pode favorecer doenças e pragas. "Em geral, as mesmas culturas que podem ser beneficiadas por um aumento de chuvas podem também sofrer efeitos adversos dependendo das condições edáficas [características do solo] de onde estão sendo cultivadas", explica Cerri.

Isso ajuda a entender por que o El Niño pode ser associado a ganhos de produtividade em uma série histórica e, ao mesmo tempo, provocar prejuízo em propriedades com solo compactado, descoberto ou sujeito a alagamentos. Em uma superfície sem a cobertura adequada, a chuva rompe os agregados do solo, favorece a formação de crostas e aumenta o escoamento.

"Em geral, solos com maior teor de matéria orgânica [carbono orgânico do solo] tendem a ter maior capacidade de armazenar água e disponibilizá-la às plantas", diz Cerri.

Chuva demais no Centro-Sul, e de menos no Norte e no Nordeste

Além do solo, a localização e fase da cultura fazem parte da equação, diz Marco Aurélio Takita, pesquisador

Entre ganhos e perdas

Efeitos do El Niño sobre as principais culturas variam conforme região, distribuição das chuvas, características do solo, manejo, temperatura e fase de desenvolvimento das plantas

Nível dos efeitos por região



1 SOJA [SUL]

TENDÊNCIA: Possível benefício, com riscos

- Mais chuva pode reduzir a deficiência hídrica e favorecer a floração e o enchimento dos grãos
- O excesso de água na emergência pode reduzir o número de plantas estabelecidas. Na maturação e na colheita, pode favorecer doenças e a deterioração dos grãos

2 MILHO VERÃO [SUL]

TENDÊNCIA: Possível benefício

- A maior disponibilidade de água pode beneficiar a cultura, especialmente no período reprodutivo
- O ganho depende de não ocorrerem encharcamento, calor extremo ou veranicos nas fases mais sensíveis

3 MILHO DE SEGUNDA SAFRA [CENTRO-OESTE]

TENDÊNCIA: Maior risco de perda

- O atraso das chuvas adia o plantio e a colheita da soja e reduz a janela ideal do milho. Veranicos e calor aumentam o risco de perdas

4 MILHO E FEIJÃO DE SEQUEIRO [NORTE E NORDESTE - SEMIÁRIDO]

TENDÊNCIA: Maior risco de perda

- A redução das chuvas, o encurtamento da estação chuvosa, os veranicos e o calor aumentam o risco de perdas

5 CANA-DE-AÇÚCAR [CENTRO-SUL]

TENDÊNCIA: Ganhos e perdas

- Mais água durante o crescimento pode aumentar a biomassa e a produção de colmos por hectare
- Chuvas durante a maturação podem reduzir a concentração de sacarose e o número de dias disponíveis para colheita e moagem. A umidade do solo também pode favorecer a cigarrinha-das-raízes

6 CANA-DE-AÇÚCAR [NORDESTE]

TENDÊNCIA: Sob risco

- A menor disponibilidade de água pode reduzir a produção de colmos por hectare

7 TRIGO [SUL]

TENDÊNCIA: Risco sanitário e de perda de qualidade

- Chuva durante o florescimento favorece doenças como a giberela. Perto da colheita, pode provocar germinação na espiga e prejudicar a qualidade e a classificação comercial dos grãos

8 ARROZ IRRIGADO [RIO GRANDE DO SUL]

TENDÊNCIA: Ganhos e perdas

- Mais chuva ajuda a abastecer os reservatórios utilizados na irrigação
- O excesso de nebulosidade reduz a radiação solar e pode limitar o enchimento dos grãos e a produtividade

9 CAFÉ [SUDESTE]

TENDÊNCIA: Ganhos e perdas

- A disponibilidade adequada de água pode favorecer o desenvolvimento da planta
- Calor, déficit hídrico ou umidade prolongada podem afetar a floração, o desenvolvimento dos frutos, a incidência de ferrugem e a qualidade do café

10 CITROS [SUDESTE]

TENDÊNCIA: Ganhos e perdas

- A oferta adequada de água pode favorecer o desenvolvimento das plantas e dos frutos
- Temperaturas elevadas podem aumentar a queda de flores e frutos jovens. Chuvas repetidas durante a florada favorecem a podridão floral

11 PASTAGENS [SUL]

TENDÊNCIA: Possível benefício

- A maior disponibilidade de água pode favorecer o crescimento e a oferta de forragem

12 PASTAGENS E PECUÁRIA [NORTE E NORDESTE]

TENDÊNCIA: Maior risco de perda

- Menos chuva reduz a disponibilidade de água e o crescimento das pastagens

FONTE: Entrevistas com Carlos Eduardo Pellegrino Cerri (Esalq-USP/CCarbon), Marco Aurélio Takita (IAC/CCD), Fábio R. Marin (Esalq-USP), Mariângela Cristofani-Yaly (IAC/CCD-Crop) e Mário Eidi Sato (Instituto Biológico/Cemasu)

Infografia Ricardo Davino

do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) e coordenador do Centro de Inovação para Aumento da Resiliência Agrícola Frente aos Estresses do Clima, parte dos Centros de Ciência para o Desenvolvimento (CCD), da FAPESP. O núcleo pesquisa estratégias para relacionar clima, solo, manejo e genética e elevar a resiliência da produção.

Takita lembra que as previsões para o fim de 2026 indicam chuva acima da média no Centro-Sul e abaixo da média, principalmente, no Norte e no Nordeste, enquanto a temperatura tende a permanecer elevada em quase toda a América do Sul. "Esse padrão contrastante de chuva, somado às temperaturas acima da média, permite antecipar um quadro de redistribuição regional, e não de perda ou de ganho generalizado", afirma.

A distribuição dos efeitos dá uma ideia do delicado equilíbrio que condiciona o benefício a uma determinada cultura. Na região Sul do país, no sul de São Paulo e em Mato Grosso do Sul, a maior oferta de água na primavera e no verão tende a favorecer soja, milho e pastagens de sequeiro. No Rio Grande do Sul, o arroz irrigado pode se beneficiar da recomposição dos reservatórios.

O benefício, porém, não é automático. No Sul, o efeito depende da estação e da cultura. No verão, soja e milho de sequeiro tendem a ganhar com mais água, e a perda, quando ocorre, se manifesta menos como quebra de produtividade e mais como redução de qualidade e de dias úteis de operação, salvo quando o excesso de chuva cai na maturação e na colheita. No inverno é o contrário: trigo e aveia têm quebra de produtividade documentada.

Fábio Marin, professor da Esalq-USP e coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, reforça essa análise. Ele, que pesquisa séries históricas,

NÃO EXISTE HOJE UMA CANA-DE-AÇÚCAR IMUNE A UM SUPER EL NIÑO. NÃO HÁ UMA SOLUÇÃO GENÉTICA DISPONÍVEL CONTRA ENCHARCAMENTO PROLONGADO OU CONTRA A REDUÇÃO DE RADIAÇÃO PROVOCADA POR LONGOS PERÍODOS NUBLADOS

indicadores agrometeorológicos, efeitos das mudanças climáticas na agricultura e modelos que simulam o desenvolvimento das culturas, diz que o "El Niño não adiciona nem subtrai produtividade de forma uniforme pelo país". "Ele redistribui água e energia, e o sinal do efeito em cada lavoura depende de qual era o fator limitante naquele sistema."

Os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná estão na faixa do país em que a relação entre o fenômeno climático, a chuva de primavera e verão e a produtividade é mais bem documentada. "No Sul, vale uma leitura honesta do que é esse ganho: boa parte dele é perda evitada", diz Marin.

É uma constatação da importância da ciência para o setor. Para a soja, por exemplo, a chuva em excesso durante a germinação e o surgimento das plantas pode reduzir o número de plantas que se estabelecem na lavoura. Durante a maturação e a colheita, a umidade favorece a deterioração dos grãos e o aparecimento de doenças. A avaliação do volume total de chuva, isoladamente, esconde diferenças. Para o milho, um veranico de 10 a 15 dias durante a fase reprodutiva pode causar mais dano do que um déficit hídrico maior, distribuído em outros momentos. O calor em torno de 35 °C ameaça o pólen do milho e pode provocar abortamento de flores e vagens na soja. Com evaporação elevada, a planta fecha os estômatos e perde produtividade mesmo quando ainda existe água no solo.

No caso do arroz irrigado gaúcho, as chuvas podem garantir os reservatórios que serão utilizados, mas os períodos nublados reduzem a radiação solar e limitam o enchimento dos grãos. O trigo também pode perder no ambiente úmido: chuva no florescimento favorece a giberela, uma doença causada por fungos. Além disso, perto da colheita, pode provocar germinação na espiga e queda da qualidade comercial. O produtor pode ter mais volume de colheita e receber menos pelo produto.

Os efeitos se espalham pelo país. Nas regiões Norte e Nordeste, menos chuva aumenta os riscos para milho e feijão de sequeiro e para a pecuária. É fato, mas não certeza, que vá acontecer. Marin explica que a temperatura do oceano Atlântico na região tropical sul, por exemplo, pode amenizar ou até anular parte dos efeitos negativos no Nordeste.

As variáveis valem também para o Centro-Oeste, uma zona de transição. Isso pode levar a mais dificuldade na interpretação e prognóstico. O problema pode começar no calendário: se a estação chuvosa atrasa, a soja é semeada e colhida mais tarde, diminuindo a janela do milho de segunda safra. O El Niño pode, assim, comprometer uma cultura meses antes de seu plantio. O norte de Mato Grosso e o entorno da região do Matopiba (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) também ficam expostos à combinação entre chuvas tardias e veranicos.

A resposta vem dos genes

A genética também é uma variável que ajuda a definir benefícios ou prejuízos às culturas agrícolas. Mariângela Cristofani-Yaly, pesquisadora do IAC e do CCD-Crop (Citrus, Coffee and Cane Research Organization for Innovative Products), estuda citros, café e cana-de-açúcar por meio de avaliações fisiológicas, genéticas e biotecnológicas. O núcleo identifica materiais mais tolerantes aos estresses e investiga como diferentes genótipos respondem à seca, às altas temperaturas e à disponibilidade de água.

A cana-de-açúcar também mostra por que uma cultura pode ser favorecida e prejudicada na mesma safra. Chuvas bem distribuídas favorecem folhas, colmos e biomassa. "A cana-de-açúcar pode ser particularmente beneficiada pelo El Niño quando há maior disponibilidade hídrica durante as fases de estabelecimento, perfilhamento e, principalmente, de crescimento vegetativo intenso, período em que a cultura apresenta elevada demanda por água", afirma Cristofani-Yaly.

Na maturação, a necessidade muda. Um período seco interrompe o crescimento vegetativo e favorece o acúmulo de açúcar. Chuva abundante pode atrasar esse processo, reduzir a concentração de sacarose e diminuir os dias disponíveis para a colheita e o processo de moagem. "Para a cana, não é apenas a quantidade de chuva que importa, mas a regularidade de uma oferta hídrica adequada nos

períodos de maior crescimento e a escassez de chuvas no período de maturação", diz a pesquisadora.

O Crop busca formas de reduzir as vulnerabilidades da cana. Nos últimos cinco anos, a equipe investigou genes relacionados à tolerância à seca, comparou genótipos, estudou sua expressão gênica e avaliou a alteração genética. Os resultados foram plantas que mantiveram o crescimento sob estresse hídrico e acumularam mais biomassa. Parte das tecnologias está protegida por propriedade intelectual.

Isso não significa uma cana imune a um super El Niño. Segundo Silvana Creste, pesquisadora da Divisão Avançada de Pesquisa e Desenvolvimento de Cana, do IAC, não existe hoje solução genética disponível contra encharcamento prolongado ou contra a redução de radiação provocada por longos períodos nublados. "O melhoramento confere proteção consistente contra estresses de intensidade moderada, e atua sobretudo reduzindo a perda em anos desfavoráveis, mais do que elevando o teto produtivo em anos favoráveis", diz.

Nos citros, o programa de porta-enxertos teve resultados mais imediatos. Ensaios com diferentes combinações de copa e porta-enxerto mostram que o material escolhido altera a capacidade de manter o sistema radicular ativo e fixar frutos sob altas temperaturas e evaporação elevada. Cristofani-Yaly cita três porta-enxertos mais tolerantes à seca, IAC 3152 Itajobi, IAC 3299 Muriti e IAC 3222. Os dois primeiros já estão disponíveis para os produtores.

No café, floração, pegamento e desenvolvimento inicial dos frutos também são períodos sensíveis. A floração responde à distribuição das chuvas. Déficits prolongados ou umidade excessiva podem afetar o desenvolvimento reprodutivo. Em anos chuvosos, as perdas de qualidade também podem ocorrer na colheita, na secagem e na pós-colheita.

Equilíbrio delicado

A sanidade completa o quadro. Condições favoráveis ao crescimento das plantas podem ser benéficas, ao mesmo tempo, para organismos que reduzem a produção. "Os efeitos sobre o crescimento da planta e sobre sua sanidade acontecem ao mesmo tempo", afirma Mário Eidi Sato, pesquisador do Instituto Biológico e responsável pelo Centro de Manejo Sustentável de Pragas, Doenças e Plantas Daninhas (Cemasu), outro CCD da FAPESP.

Para que uma doença se instale na planta é preciso que exista uma "condição ideal", ou seja, a coincidência entre patógeno, planta suscetível e ambiente favorável. Mais do que o volume mensal de chuva, importa o tempo em que folhas, flores e frutos permanecem molhados. Chuvas repetidas prolongam as oportunidades de infecção.

Nos citros, as chuvas frequentes na florada favorecem a podridão floral por espécies de fungo *Colletotrichum* e a queda de frutos jovens. No café, o volume de água necessário ao desenvolvimento pode coincidir com condições favoráveis à ferrugem. Em hortaliças a céu aberto, a umidade prolongada das plantas e a drenagem deficiente favorecem doenças foliares e podridões. Na cana, solo úmido pode beneficiar a cigarrinha-das-raízes, mesmo quando a água favorece o crescimento dos colmos. As pragas, por sua vez, podem reagir no sentido oposto. Calor e tempo seco favorecem o bicho-mineiro do cafeeiro em determinadas regiões.

O clima interfere também nas ferramentas de controle. Temperatura, umidade e chuva alteram inimigos naturais, agentes biológicos e biopesticidas. O calor extremo pode comprometer parasitoides e a baixa umidade limita a eclosão dos ovos de alguns ácaros predadores. A previsão sazonal prepara a estratégia, mas a decisão operacional depende do microclima e do monitoramento da lavoura.

De acordo com o diretor-presidente executivo da Copercana, informação e planejamento são ferramentas das quais o produtor não pode abrir mão para enfrentar o fenômeno climático. "Os tratos culturais precisam ser feitos com mais planejamento. Os insumos precisam ser muito bem aplicados para não haver desperdício de produto já que teremos solos encharcados", afirma Francisco César Urenha. "O produtor precisa estar atento e bem informado para conduzir o seu canavial e evitar prejuízos."

Dados de um projeto da CNA e do Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Senar), chamado Campo Futuro, reforçam o alerta de Urenha. Os resultados do programa apontaram um aumento de até 400% no custo de aplicação de fungicidas em regiões do Rio Grande do Sul durante anos de El Niño.

A mitigação de impactos como esse, em um cenário de fenômeno climático muito forte, como se apresenta o El Niño neste ano com probabilidade cada vez maior, exige conservação do solo, planejamento climático e proteção financeira, diz Ana Lígia Lenat, coordenadora de Inteligência e Projetos da CNA. "Apesar do comprovado valor técnico dessas soluções, uma parcela expressiva dessas medidas de adaptação permanece fora do alcance da maioria dos pequenos e médios produtores rurais. O principal obstáculo está na elevada necessidade de capital intensivo para a implantação de infraestruturas de proteção", diz.

Um mapa do calcanhar de aquiles celeste

Novos instrumentos devem ajudar a entender o ponto mais fraco no campo magnético da Terra, localizado acima do território do Brasil

✻ Por **Sophia La Banca**



Pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) estão desenvolvendo instrumentos para satélites com o objetivo de estudar a Anomalia Magnética do Atlântico Sul (Sama, na sigla em inglês), uma região em que o campo magnético da Terra é significativamente mais fraco e que cobre parte da América do Sul, do Atlântico Sul e do continente africano. A anomalia tem efeitos que vão além das variações mais comuns no campo magnético terrestre, podendo trazer riscos para satélites e os serviços que dependem deles.

O planeta Terra é protegido por um campo magnético que desvia grande parte das partículas emitidas pelo Sol. A proteção proporcionada por esse campo é o que permite a existência de nossa atmosfera. "Se esse campo não existisse, o fluxo de partículas arrastaria consigo todas as moléculas dos gases que estão no ar. Sem gases atmosféricos, sem vida. Nosso planeta seria como Marte", resume Gelvam Hartmann, professor do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

Por causa da tecnologia contemporânea, esse escudo magnético se tornou ainda mais importante. Ele protege os delicados componentes eletrônicos dos satélites usados para telecomunicação e geolocalização, por exemplo. Mas fenômenos climáticos espaciais, como as tempestades geomagnéticas causadas por perturbações nos ventos solares, podem colocar esses equipamentos em risco ou atrapalhar seu funcionamento. Quando eventos assim ocorrem, partículas com carga elétrica podem chegar até a ionosfera, uma camada atmosférica ocupada por gases carregados eletricamente. "Isso altera as condições de propagação de ondas de rádio, e todos os sistemas baseados em satélites, que dependem de sinais atravessando a camada, sofrem efeitos negativos", explica Emília Correa, pesquisadora do Inpe, que conta com projeto apoiado pela FAPESP na linha de Auxílio à Pesquisa – Regular. Ela usa o GPS como um exemplo de um sistema que pode ser afetado. "Se forem muito fortes, as tempestades causam a perda da sintonia de comunicação do sistema GPS, prejudicando a precisão de navegação."

Nesse cenário, algumas ações ajudam a proteger os equipamentos. "Tem satélites que recolhem o painel solar, e outros desligam certos instrumentos internos", exemplifica Paulo Fagundes, professor adjunto na Universidade do Vale do Paraíba, que também tem projeto com financiamento da FAPESP na linha de Auxílio à Pesquisa – Temático. Medidas desse tipo são ainda mais necessárias em satélites que se encontram na região da Sama. Como o campo magnético nela é mais fraco, as partículas carregadas responsáveis pelo dano podem atingir camadas mais baixas da atmosfera. "Esses íons vão penetrar mais profundamente", diz Fagundes.

Previsão do clima espacial

Apesar da importância para a manutenção dos sistemas de satélite, ainda se sabe pouco sobre como essas partículas atravessam as camadas de nossa

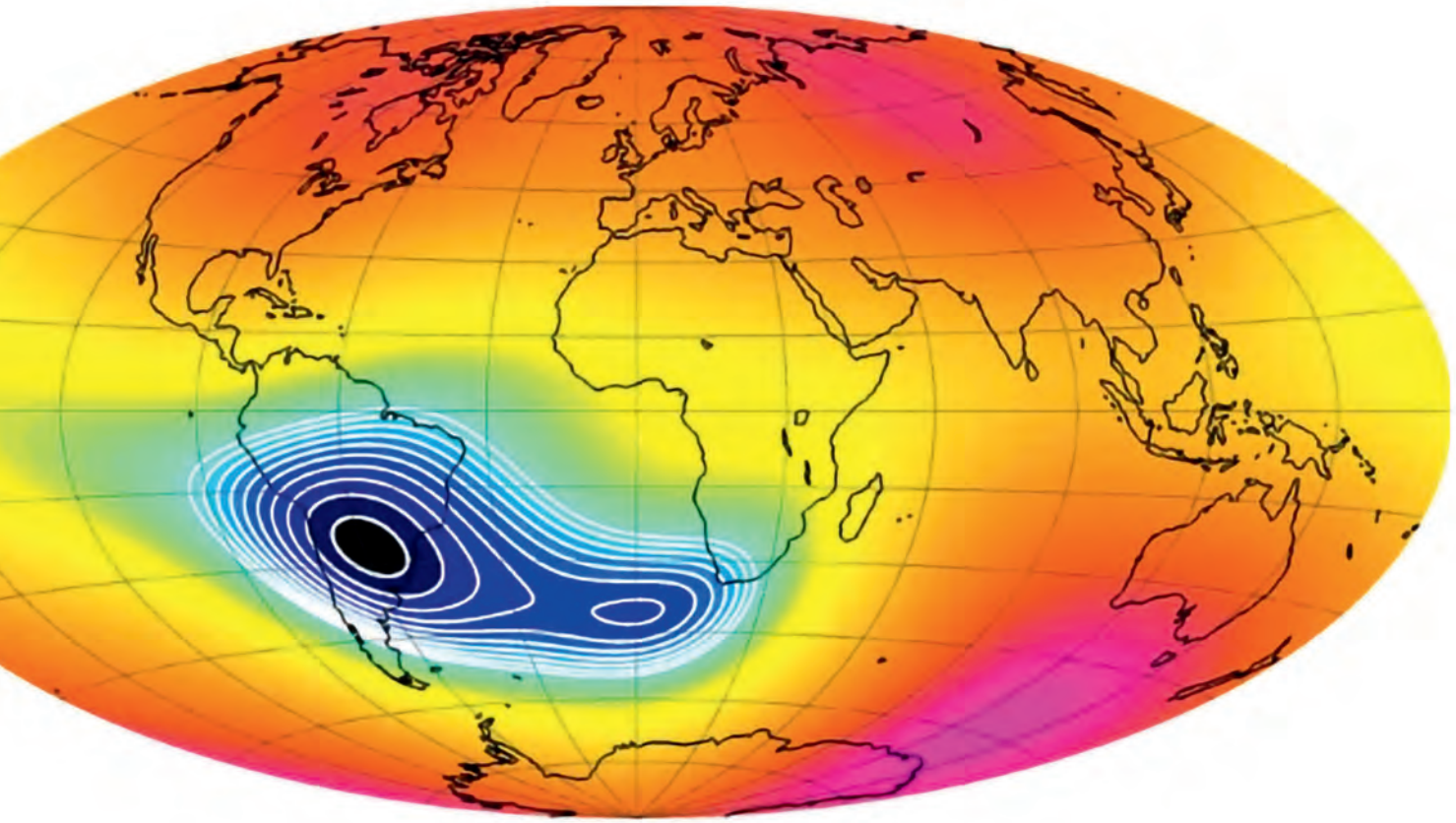


Imagem mostrando a força do campo magnético terrestre com escala em nanoteslas. A mancha azul representa a Anomalia Magnética do Atlântico Sul. No Brasil, seus efeitos abrangem sobretudo as regiões Sul e Sudeste, mas se estendem pela maior parte do território nacional ESA/DTU Space

atmosfera na região da Sama. Entender como isso ocorre pode levar ao desenvolvimento de novas estratégias para a proteção dos equipamentos. Livia Ribeiro Alves, pesquisadora do Inpe, compara isso à previsão das chuvas na superfície do planeta. "É como tentar impedir a chuva. Não tem como, ela vai acontecer. Mas, se soubermos qual vai ser o volume de água que cai e onde ela vai cair, podemos pensar em estratégias de proteção."

A equipe de Alves trabalha no desenvolvimento de equipamentos para a medição do fluxo de elétrons, uma das partículas carregadas que pode atravessar as camadas da atmosfera, com o objetivo de fazer essa previsão do clima espacial. "Pensamos em monitorar a recorrência da precipitação de partículas, a quantidade precipitada, as espécies [tipos de partículas] que se precipitam e onde", explica Alves. Além de estudar como isso se dá em contextos normais, entender como as condições espaciais mudam durante as tempestades geomagnéticas também faz parte do projeto. "E, quando eu tenho uma tempestade, como essa precipitação acontece? Existe alguma região que não é atingida e que vai passar a ser afetada quando isso acontecer? São essas as perguntas que queremos responder."

A precipitação das partículas não ocorre aleatoriamente. Elas ficam presas ao campo magnético da Terra em dois cinturões de radiação na parte externa da atmosfera, até que a interação com ondas de determinadas frequências cause a sua queda. "Elas estão lá girando, mas, quando interagem com uma onda, não conseguem mais ficar estabilizadas, então se precipitam e caem na região da anomalia magnética", explica Correa.

Entender como ocorre a interação entre as partículas e as ondas que causam sua precipitação é outro ponto importante do Sama-Suite. Em especial, as ondas whistler, que possuem a frequência necessária para causar a precipitação das partículas dos cinturões de radiação. "O que se sabe é que a única forma de haver essa precipitação é se houver a interação com as ondas whistler, que têm uma faixa de frequência próxima da frequência de giro dos elétrons", explica Alves.

Brechas na armadura

Como surge a Anomalia Magnética do Atlântico Sul

1 Nosso planeta é cercado por um **campo magnético,** produzido pelo movimento do ferro e níquel líquidos no núcleo da Terra

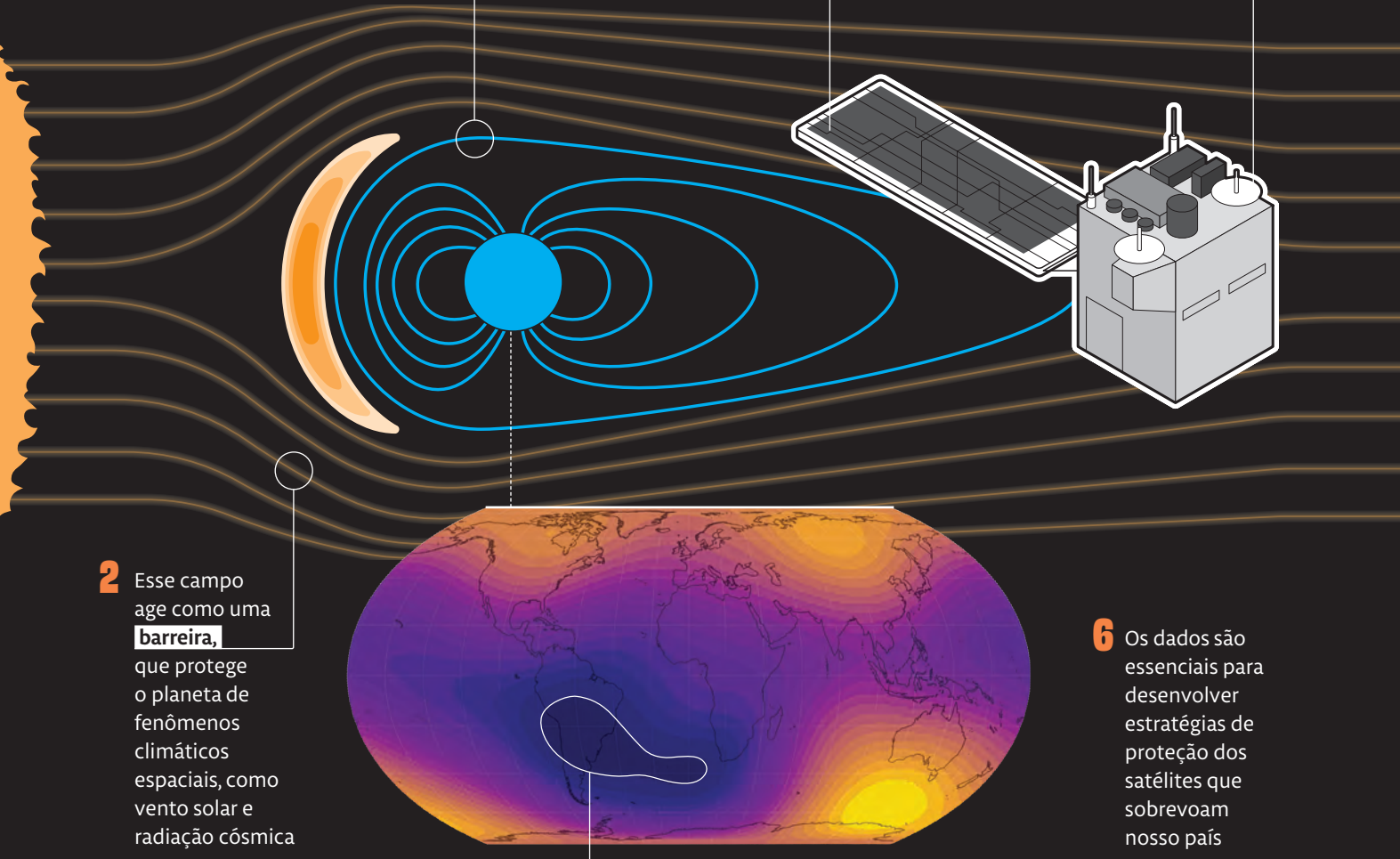
2 Esse campo age como uma **barreira,** que protege o planeta de fenômenos climáticos espaciais, como vento solar e radiação cósmica

3 Existe uma região onde a intensidade desse campo é menor. Ela fica sobre o sul do continente africano e da América do Sul, a **Anomalia Magnética do Atlântico Sul (Sama)**

4 Pesquisadores do Inpe estão desenvolvendo **instrumentos para satélites** para estudar a Sama

5 Como atuarão nessa região de menor proteção, eles contarão com proteções extras, além de **equipamentos especializados**

6 Os dados são essenciais para desenvolver estratégias de proteção dos satélites que sobrevoam nosso país





Fonte: ESA/DTU Space

Infografia Alexandre Affonso

Preparando os instrumentos

O Sama-Suite ainda se encontra nas fases iniciais de desenvolvimento. No momento, a equipe de Alves determina os requisitos que os instrumentos que serão levados nos satélites devem cumprir. Ainda não existem satélites capazes de fazer as medições necessárias para o projeto. Os que podem medir o fluxo de partículas carregadas costumam ser projetados para órbitas mais altas do que o necessário para estudar as partículas na Sama. Por outro lado, satélites de baixa órbita costumam carregar instrumentos para a medição do clima e o imageamento da vegetação. Isso significa que novos instrumentos terão de ser desenvolvidos especialmente para esse projeto. Além disso, como atuarão na Sama, os aparelhos precisam ser capazes de resistir mesmo com uma menor proteção do campo magnético.

Além dos cálculos e simulações, a equipe de Alves realizará testes em ambientes controlados para garantir que os equipamentos estejam preparados uma vez lançados. "Faremos testes como os de detecção, do comportamento da eletrônica, de temperatura e de radiação", diz ela.

Já existem missões espaciais que são candidatas para levar os instrumentos desenvolvidos, como o CBERS, um programa de cooperação tecnológica entre China e Brasil, e a missão Galileo, que pretende lançar um telescópio espacial solar.

Alves destaca a importância do projeto para o país. "Ninguém é mais interessado nessa pesquisa do que o Brasil, certo? Afinal, a Sama está em cima das nossas cabeças. Precisamos ter condições de fazer as medidas não só com parceiros e colaboradores internacionais, mas também usando a tecnologia e o desenvolvimento experimental que temos nas instituições brasileiras."

De onde vem a Sama

O campo magnético da Terra é gerado pelo movimento do ferro líquido na camada externa do núcleo terrestre, a 2.900 quilômetros de profundidade. De maneira geral, ele funciona como um dipolo, ou seja, como um grande ímã de geladeira. Mas alguns pontos do planeta são exceções. "Se a gente pega a América do Sul, o Atlântico Sul, o sul da África, a gente pode dizer que o comportamento dipolar não funciona", exemplifica Hartmann.

O comportamento anômalo pode ser explicado pela polaridade do campo magnético no núcleo da Terra. Sob a Sama, o polo magnético do campo é o contrário do esperado. O professor Ricardo Trindade, do Departamento de Geofísica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP), explica que essa inversão é gerada por manchas magnéticas — pontos onde as linhas do campo magnético são voltadas para o interior do planeta, em vez de para o exterior. Elas existem na interface entre o núcleo externo e o manto, a camada que fica logo acima do núcleo na estrutura de nosso planeta. "São manchas grandes. Maiores do que o estado de Minas Gerais, maiores do que o sul do Brasil. É fácil imaginar que, se você tem um campo naquele local com uma polaridade invertida, ele vai reduzir a intensidade do campo magnético do planeta."

Trindade também explica que as manchas não são estáticas — elas se movem junto com a Sama em direção ao oeste, até desaparecer e reemergir no sul da África. Apesar disso, não dão sinal nenhum de que irão sumir. "Essas manchas e o efeito da anomalia devem estar aí por milhões de anos. Não é uma coisa recente. Então, como risco espacial, é algo que temos que contar como parte do contexto geomagnético terrestre. Não dá para pensar nisso como uma coisa pontual, que vai desaparecer", conclui o professor.

> **É como tentar impedir a chuva. Não tem como, ela vai acontecer. Mas, se soubermos qual vai ser o volume de água que cai e onde ela vai cair, podemos pensar em estratégias de proteção**
>
> Livia Ribeiro Alves, pesquisadora do Inpe

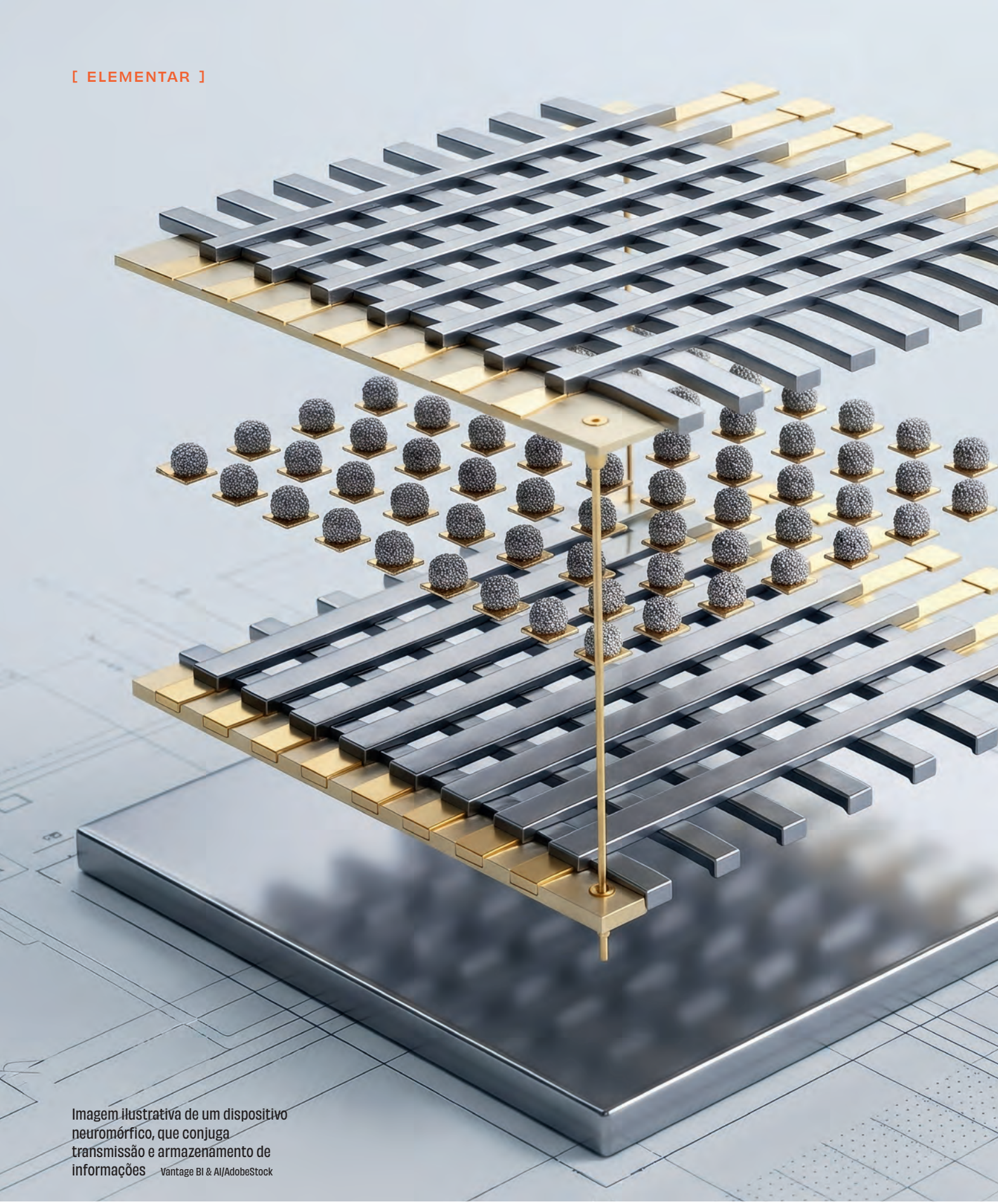


Imagem ilustrativa de um dispositivo neuromórfico, que conjuga transmissão e armazenamento de informações Vantage BI & AI/AdobeStock



Memristores: OS CHIPS QUE IMITAM O cérebro

Dispositivos inspirados na plasticidade sináptica unem memória, processamento e novos materiais para criar uma geração de sensores e sistemas de inteligência artificial de baixo consumo energético

✻ Por **Tiago Jokura**

Em 1971, o engenheiro eletricista filipino Leon Chua previu a existência de um componente eletrônico passivo, capaz de "lembrar" quanta corrente havia passado por ele mesmo após ser desligado. Ele o chamou de memristor, contração de *memory resistor*. Passaram-se 37 anos até que a Hewlett-Packard (HP) construísse o primeiro protótipo concreto, em 2008. Hoje, pesquisadores no Brasil transformam essa ideia em algo ainda mais ambicioso: chips que, além de processar informação, também "aprendem", imitando mecanismos de memória do cérebro humano em silício e em óxidos metálicos.

A chamada computação neuromórfica é promissora. Enquanto o cérebro humano consome cerca de 20 watts (W) — algo parecido com uma lâmpada comum — processando informações com eficiência que nenhum supercomputador atual replica, inteligências artificiais de última geração demandam a energia equivalente à de cidades inteiras e ocupam galpões com servidores refrigerados. Uma das principais diferenças é de arquitetura: enquanto computadores convencionais separam processamento de armazenamento, o cérebro faz as duas coisas no mesmo lugar, no nível das sinapses, onde os neurônios se conectam.

Os memristores prometem superar esse gargalo. "A vantagem genérica de dispositivos com memória é a capacidade de fazer operações lógicas e armazenar os resultados no mesmo espaço", explica o físico cubano Victor Lopez-Richard, do Departamento de Física da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). "Isso reduz a necessidade de interconectores. Diminui o tamanho do dispositivo e, consequentemente, o consumo de energia."

A vantagem genérica de dispositivos com memória é a capacidade de fazer operações lógicas e armazenar os resultados no mesmo espaço
Victor Lopez-Richard, físico cubano do Departamento de Física da UFSCar

A melanina faz essa conexão entre a eletrônica tradicional e o que a gente considera a 'eletrônica' do corpo humano
João Vitor Paulin, físico da Universidade Estadual Paulista (Unesp) de Rio Claro

Se desejamos avançar, devemos começar pelo ecodesign: selecionar materiais sustentáveis, produzi-los com o menor consumo possível de energia e assegurar que, no final, sejam totalmente recicláveis
Rodrigo Ferrão de Paiva Martins, engenheiro da Universidade Nova de Lisboa e presidente da Academia Europeia de Ciências

Imitando neurônios

A cada disparo de um neurônio, a conexão com o neurônio seguinte pode se fortalecer ou enfraquecer — fenômeno conhecido como plasticidade sináptica. Em um dos tipos mais estudados desse processo, conexões entre neurônios que disparam repetidamente em sequência tendem a se fortalecer, contribuindo para a formação de determinadas memórias e para o aprendizado. Os memristores replicam esse comportamento ao alterar sua resistência elétrica em resposta aos pulsos recebidos.

Para explicar esse funcionamento, o físico Marcio Peron Franco de Godoy, também da UFSCar, recorre ao cotidiano: "Quando fecho uma porta, dali a segundos posso esquecer se a tranquei ou não. Mas eu não esqueço o nome da minha mãe. Isso é uma memória de longa duração — algo que pode ser emulado com dispositivos memristores."

A analogia com a biologia, porém, tem limites que Lopez-Richard faz questão de demarcar. "Nossos dispositivos não reproduzem sinapses, propriamente, porque não transportam íons, mas elétrons que se armazenam em certos lugares. Em termos metafóricos, é um processo semelhante."

O resultado mais recente da pesquisa de Lopez-Richard, que conta com financiamento da FAPESP, vai além dos memristores convencionais: um transístor polimorfo que é capaz de assumir diferentes funções — transístor, capacitor ou memristor —, dependendo da configuração do circuito. Em artigo publicado na *Nature Communications* em abril, Lopez-Richard e colaboradores mostram que, na prática, o mesmo componente realiza cálculos e aprende com os padrões dos dados que processa. "A gente ensina o dispositivo a reconhecer um padrão e depois apresenta outros padrões que, em princípio, ele poderia ajudar a reconhecer", descreve. Outra vantagem: o dispositivo opera à temperatura ambiente. "A ideia é criar dispositivos que funcionem em condições normais, sem necessidade de criogenia e com baixo consumo de energia."

Quando o calor ajuda

Godoy relembra que chegou aos memristores por um caminho inesperado. Especialista em óxidos semicondutores — materiais cuja capacidade de conduzir eletricidade pode ser controlada —, ele trabalhava com sensores de gás à base de óxido de zinco quando descobriu que aquele material também era capaz de guardar memória.

"Quando o material era exposto a um ambiente com ozônio, mudava a resistência elétrica, o que indicava uma capacidade de memorização." Lopez-Richard chamou a atenção de Godoy para essa propriedade e, em colaboração, seus grupos de pesquisa passaram a investigar esses materiais como sensores para dispositivos neuromórficos, uma nova geração de eletrônicos inspirados nas conexões entre neurônios.

Em seguida, uma surpresa ampliou o potencial dos experimentos. Normalmente, efeitos de memória em semicondutores enfraquecem com a elevação da temperatura. No óxido de zinco, contudo, aconteceu o oposto. "Aumentamos a temperatura e ele ficou melhor. Em vez de medir a capacidade memristiva em 20 °C, passamos a medir em 30, 40 °C, e o desempenho cresceu", recorda Godoy. A implicação prática é significativa: "Observamos, com o avanço da IA, processadores cada vez mais rápidos e eficientes, mas que aquecem. Se viabilizarmos disposi-

tivos que trabalhem sem a necessidade de resfriamento, seria vantajoso", completa.

O grupo de Godoy introduziu também a luz como elemento capaz de acionar memristores, em pesquisa financiada pela FAPESP. "Estamos trabalhando com a luz para 'ensinar' o material, para imprimir memória nele", explica o físico. Outra inovação relevante é a escolha do óxido de zinco na composição dos dispositivos. Além do desempenho técnico, o material é abundante, barato e não tóxico. "O zinco é um material usado inclusive em cremes dentais. Mesmo na forma de óxido, o impacto ambiental dele é menor", detalha.

Curativo que sente

O físico João Vitor Paulin, da Universidade Estadual Paulista (Unesp) de Rio Claro, por sua vez, aposta em um material orgânico e biodegradável para desenvolver transístores eletroquímicos com comportamento memristivo, aliando objetivos médicos e ambientais: a melanina. Presente na pele, nos cabelos e nos olhos, essa molécula natural apresenta uma propriedade incomum, a capacidade de transportar tanto íons (átomos ou moléculas com carga elétrica) quanto elétrons. "A melanina faz essa conexão entre a eletrônica tradicional e o que a gente considera a 'eletrônica' do corpo humano", explica Paulin, cuja pesquisa também conta com o apoio da FAPESP.

O interesse começou quando Paulin percebeu a sensibilidade da melanina na faixa de pH (acidez) entre 5 e 8, crítica para o monitoramento de feridas. "Quando o pH está baixo, quer dizer que o processo de cicatrização está correndo bem. Quando está alto, pode ter proliferação de bactérias", explica. A proposta é um transístor integrado a um curativo comum, como um band-aid, para monitorar em tempo real ferimentos crônicos, como os de pacientes com diabetes.

Nessa e em qualquer outra aplicação prática de memristores, dois dos principais desafios são produzir os dispositivos em escala e integrá-los a sistemas de informação complexos. Uma das apostas para superar esses gargalos é o uso de materiais bidimensionais (2D), formados por camadas com apenas alguns átomos de espessura e propriedades incomuns — como flexibilidade mecânica, condutividade elétrica e térmica.

Luiz Gustavo Simão Albano, físico e pesquisador no Laboratório Nacional de Biociências (LNBio), do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), em Campinas (SP), explica que essas camadas podem crescer em wafers de silício de até 8 polegadas, aproximando a tecnologia de aplicações industriais. "Camadas extremamente finas demandam um campo elétrico menor para operar, o que reduz o consumo energético."

Segundo Albano, a precisão dessas estruturas também ajuda a controlar as características físicas e operacionais dos memristores, além de facilitar sua integração a sistemas eletrônicos convencionais. Entre as aplicações estudadas estão armazenamento de imagens, criptografia e radiofrequência — especialmente pensando nas redes 6G. Albano conta com financiamento da FAPESP para o desenvolvimento da pesquisa.

"Pretendemos estender esse projeto para aplicações voltadas à saúde, como biossensores com potencial para aplicações em diagnóstico e monitoramento médico — incluindo tecnologias voltadas ao SUS, acessíveis e aplicáveis à realidade da saúde pública brasileira", diz. O projeto

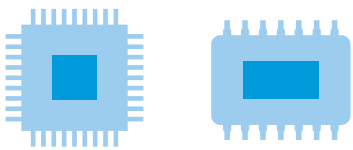
O CÉREBRO HUMANO CONSOME CERCA DE 20 WATTS — COMO UMA LÂMPADA COMUM —, ENQUANTO IAS DE ÚLTIMA GERAÇÃO DEMANDAM ENERGIA EQUIVALENTE À DE CIDADES INTEIRAS

Memristor: o chip que 'lembra'

Dispositivo muda sua resistência conforme os sinais que recebeu antes e pode unir memória e processamento no mesmo componente

1 O PROBLEMA DOS COMPUTADORES ATUAIS

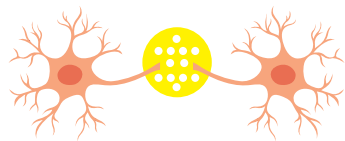
COMPUTADOR CONVENCIONAL



processador — memória

Processar e armazenar dados são tarefas separadas. Esse vai e vem consome energia e tempo

CÉREBRO HUMANO (SINAPSE)



Nas sinapses, memória e processamento acontecem no mesmo ponto. Conexões podem se fortalecer ou enfraquecer conforme o uso

2 O QUE É UM MEMRISTOR

Memristor vem de *memory resistor*: um resistor com memória

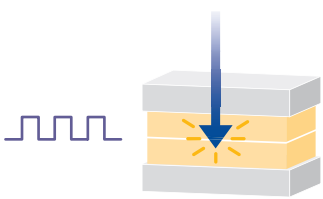


Ele muda sua resistência de acordo com a história da corrente (ou carga) que recebeu antes

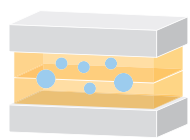
ALTA RESISTÊNCIA (baixa condução) — **RESISTÊNCIA VARIÁVEL** — **BAIXA RESISTÊNCIA** (alta condução)

3 COMO ELE "APRENDE"

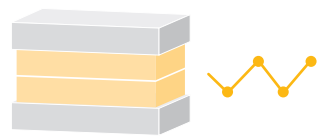
1 PULSO ELÉTRICO CHEGA
Um pulso de tensão é aplicado ao memristor



2 O MATERIAL MUDA
A estrutura interna do material se altera ou cargas se acumulam em certas regiões, modificando a passagem de corrente



3 A NOVA RESISTÊNCIA FICA REGISTRADA
O novo estado permanece, mesmo sem energia. O dispositivo "lembra" seu histórico



! A COMPARAÇÃO COM SINAPSES É FUNCIONAL, NÃO LITERAL

MUITOS MEMRISTORES NÃO TRANSPORTAM ÍONS COMO O CÉREBRO, MAS ELÉTRONS ARMAZENADOS EM MATERIAIS ESPECÍFICOS

4 POR QUE ISSO IMPORTA?

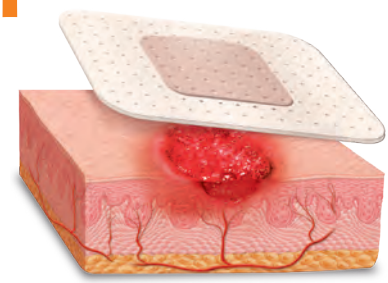
ARQUITETURA CONVENCIONAL	COM MEMRISTORES
• Memória separada do processamento	• Memória e processamento no mesmo componente
• Mais tráfego de dados	• Menos deslocamento de dados
• Maior consumo energético	• Potencial de menor consumo de energia
• Mais dependência de servidores grandes	• Possibilidade de sensores e IA mais eficientes

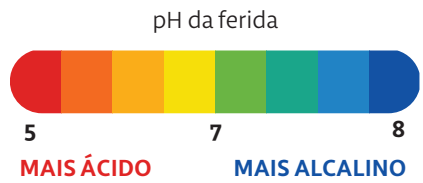
Infografia Glauco Lara

Como funciona o sensor de pH para feridas?

Um curativo inteligente com transístor eletroquímico orgânico (OECT, na sigla em inglês) e memória memristiva

1 A FERIDA MUDA DE PH

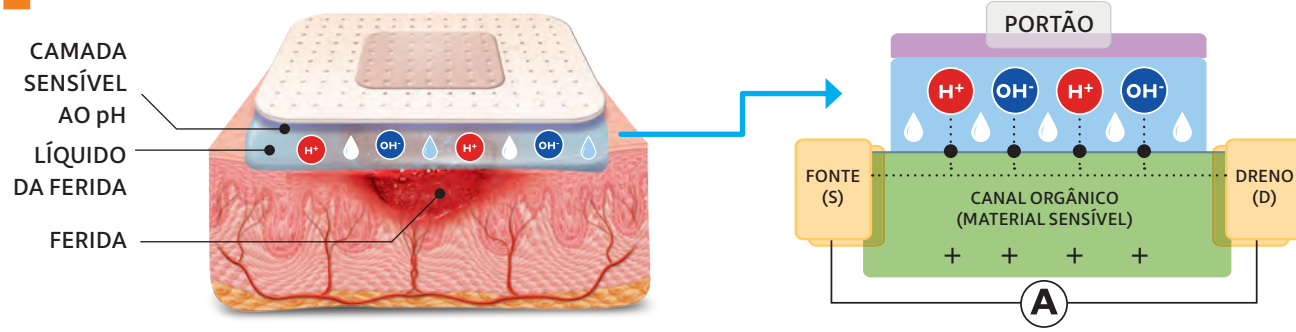




Durante a cicatrização, o pH da ferida pode mudar

Essas mudanças podem indicar melhora ou alerta de inflamação/infecção

2 O CURATIVO SENTE ESSA MUDANÇA: OECT TRANSFORMA QUÍMICA EM ELETRICIDADE



O sensor entra em contato com o líquido da ferida

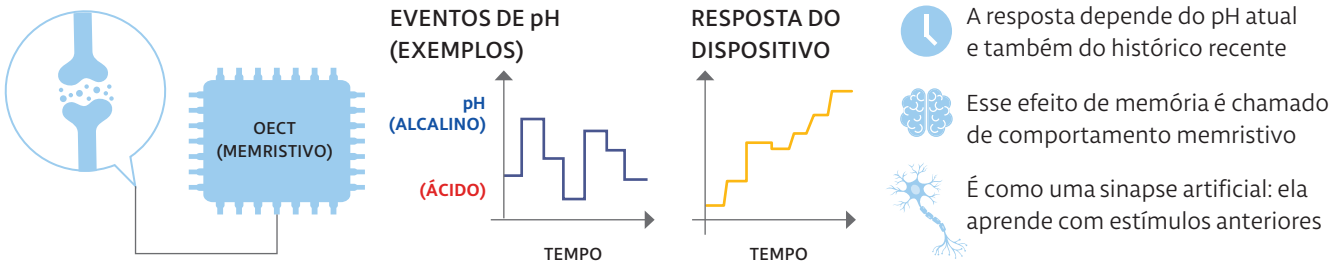
Quando o pH muda, os íons também mudam

Os íons alteram o material do transístor

Isso muda a corrente elétrica medida no dispositivo

Em outras palavras: o sensor traduz uma mudança química em um sinal elétrico

3 O DISPOSITIVO TAMBÉM "LEMBRA" O QUE ACONTECEU



A resposta depende do pH atual e também do histórico recente

Esse efeito de memória é chamado de comportamento memristivo

É como uma sinapse artificial: ela aprende com estímulos anteriores

Infografia Glauco Lara

Quando fecho uma porta, dali a segundos posso esquecer se a tranquei ou não. Mas eu não esqueço o nome da minha mãe. Isso é uma memória de longa duração — algo que pode ser emulado com dispositivos memristores

Marcio Peron Franco de Godoy, físico da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

mantém colaboração internacional com o grupo do físico Jiwoong Park, da Universidade de Chicago (EUA), parceiro frequente da empresa Samsung em pesquisas de materiais avançados e dispositivos nanoeletrônicos.

A distância entre protótipos e produtos comercializáveis, no entanto, ainda é considerável. Para Lopez-Richard, o principal gargalo técnico é a não linearidade dos dispositivos. "Estamos trabalhando com sistemas não lineares, fora do equilíbrio. Os modelos em física, por sua vez, normalmente são modelos de equilíbrio. Isso quer dizer que estamos abordando temas que ficam nos limites das ferramentas teóricas que temos disponíveis hoje", esclarece.

Conexões internacionais

Em Lisboa, o engenheiro Rodrigo Ferrão de Paiva Martins, da Universidade Nova de Lisboa e presidente da Academia Europeia de Ciências, lidera um dos grupos mais ativos do mundo no desenvolvimento de memristores. Sua trajetória nesse campo começou em 2008 com um transístor de papel que apresentou um comportamento de memória inesperado. "Em vez de tratar isso como falha, encaramos como uma descoberta inovadora", relembra.

Martins mantém parcerias com pesquisadores brasileiros na Unesp e na Unicamp. "Essas colaborações têm sido fundamentais e frutíferas", ressalta. Sobre o futuro, o pesquisador afirma que a meta é criar ideias disruptivas, desenvolvendo e produzindo dispositivos em nanoescala que façam mais e melhor, utilizando menos materiais. "Se desejamos avançar, devemos começar pelo ecodesign: selecionar materiais sustentáveis, produzi-los com o menor consumo possível de energia e assegurar que, no final, sejam totalmente recicláveis."

Embora ainda emergente, o campo da eletrônica neuromórfica no Brasil já dá sinais de que pode se tornar memorável, articulando centros de pesquisa de várias áreas — como física, engenharia e medicina. "No Brasil, a área não é totalmente integrada ainda, mas ganhamos maturidade para congregar pessoas e discutir futuros nessa linha", avalia Lopez-Richard. "Queremos criar um fórum internacional de discussões específicas sobre o efeito de memória, inclusive trazendo pessoas que estudam o cérebro."

Enquanto isso, em laboratórios do Brasil, Portugal e outras partes do mundo, componentes inspirados em neurônios, mais finos do que um fio de cabelo, aprendem a guardar memória graças ao trabalho de muitos cérebros humanos.



1 Larva de enguia (leptocéfala) 2 Peixe-lanterna 3 Medusa-lanterna-vermelha 4 Krill 5 Camarão-pelágico
6 Anfípode 7 Larva de peixe-baleia 8 Cubomedusa 9 Anfípode-barril

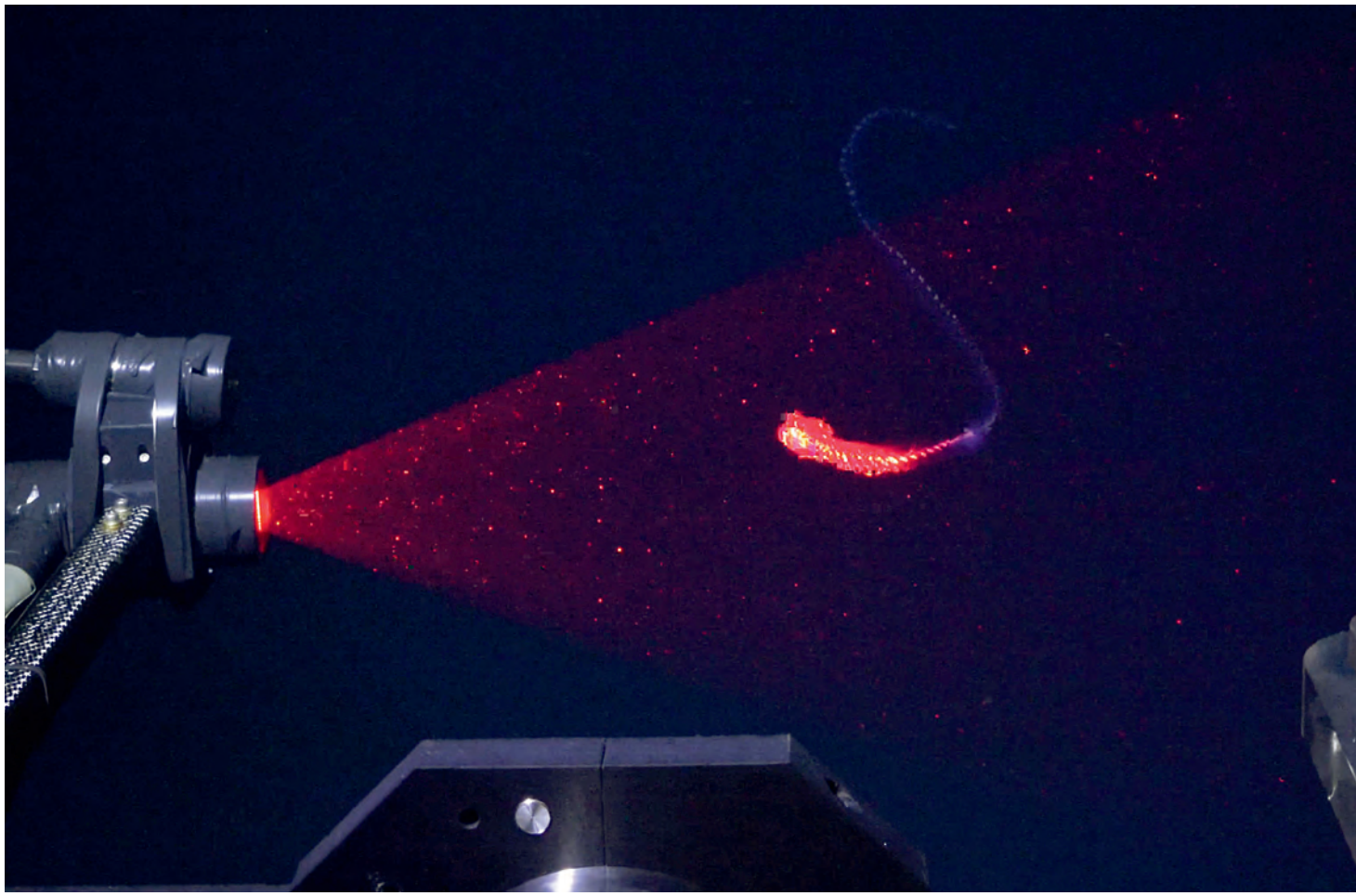


IGÃO

5 revela 31 espécies potencialmente novas no Atlântico Sul

10 Poliqueta-fada 11 Peixe-pescador 12 Medusa-coroa 13 Caravela-portuguesa 14 Larva de lula 15 Chaetognatha

Fotos Marcelo Melo/Instituto Oceanográfico da USP



Um sifonóforo — invertebrado marinho aparentado com a venenosa caravela-portuguesa. Espécie ainda não havia sido descrita e é, provavelmente, nova para a ciência ROV SuBastian/Schmidt Ocean Institute

Missão Designing the Future 3 mergulhou fundo ao largo do litoral nordestino em busca de formas de vida pouco — ou nada — conhecidas

✻ Por **Christiane Cardoso**

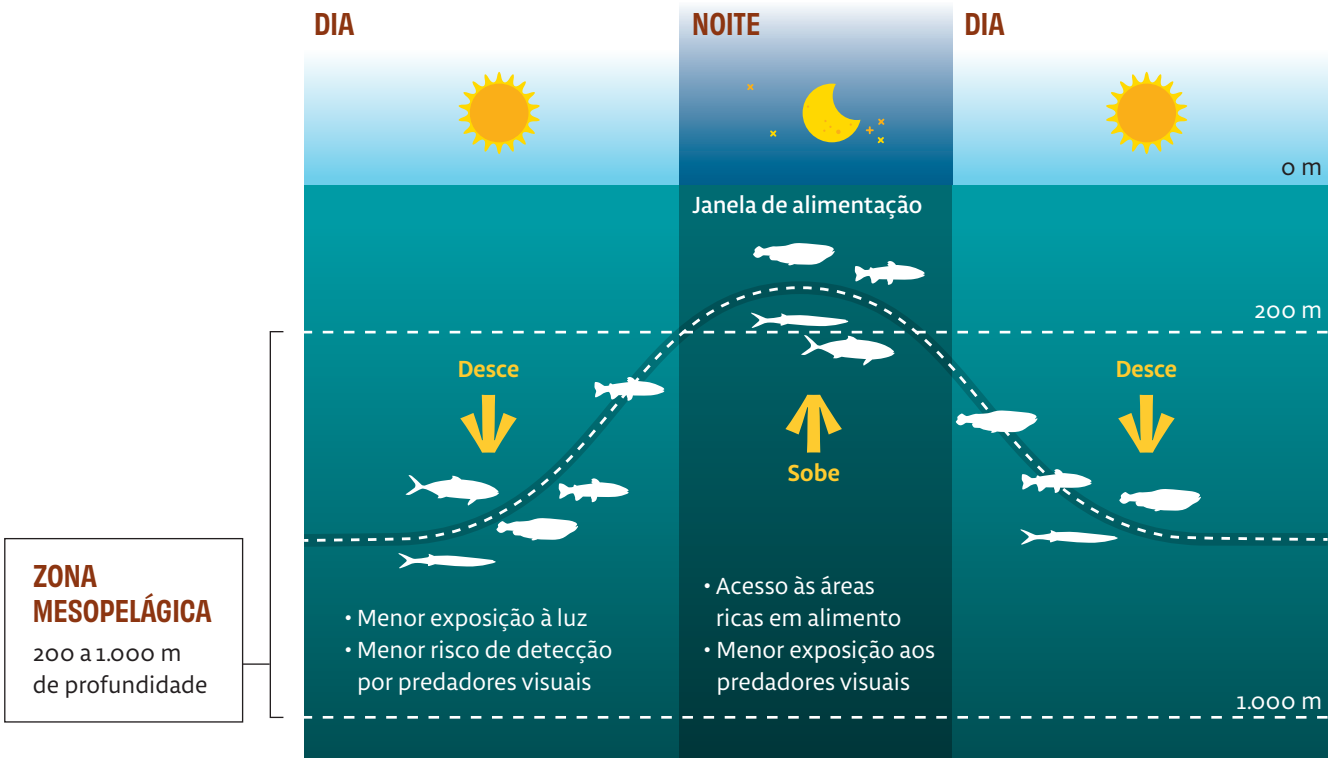
Em apenas duas semanas, a expedição Designing the Future 3, realizada pelo Schmidt Ocean Institute, uma fundação privada sem fins lucrativos dos Estados Unidos, a bordo do navio de pesquisa Falkor (too), identificou 31 novas espécies ainda não descritas ao largo da costa brasileira. A equipe — formada por 37 tripulantes (incluindo oficiais, técnicos navais e engenheiros), além de cerca de 30 cientistas de diversas áreas — utilizou tecnologias de ponta, como lasers, sistemas de escaneamento óptico em 3D e sequenciamento genético realizado a bordo, para caracterizar os organismos e acelerar sua identificação.

A missão, ocorrida em abril de 2026, entre Salvador e Fortaleza, foi coordenada por Karen Osborn, curadora do Museu Nacional de História Natural do Smithsonian Institution (EUA), e teve como objetivo investigar a fauna que vive entre 200 e 1.200 metros de profundidade, nas zonas mesopelágica e batipelágica do Atlântico Sul tropical.

Essa faixa do oceano é palco da chamada migração vertical diária (MVD), considerada o maior movimento sincronizado de biomassa animal do planeta (confira no infográfico). Todas as noites — quando as águas da superfície estão escuras, dificultando a vida dos predadores —, bilhões de organismos deixam as profundezas e sobem para se alimentar. Ao amanhecer, fazem o caminho de volta. Nesse vaivém, ajudam a levar carbono das águas superficiais para o oceano

Migração vertical diária (MVD)

Diariamente, uma enorme quantidade de organismos marinhos realiza uma viagem vertical de ida e volta, considerada o maior movimento sincronizado de biomassa animal do planeta. Esse deslocamento em busca de alimento e segurança transforma a coluna d'água em um pêndulo biológico, transportando organismos, matéria orgânica e nutrientes entre diferentes profundidades



Infografia Alexandre Affonso

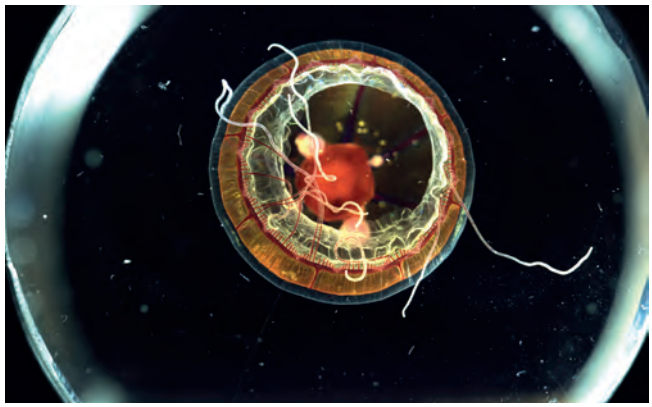
profundo, contribuindo para regular o clima do planeta. É como se formassem um "elevador biológico" de carbono: ao se alimentar na superfície, esses animais incorporam carbono e, ao retornar às profundezas, o levam consigo, liberando-o pela respiração e pela excreção ou transferindo-o para outros organismos por meio da cadeia alimentar. Estudar esse processo, porém, não é tarefa fácil: essas regiões são de difícil acesso, e muitos dos organismos que vivem ali são extremamente frágeis.

Apesar dos avanços da oceanografia, o Atlântico Sul continua entre as regiões menos exploradas do planeta. "Nossa motivação foi estudar a diversidade desses organismos, suas adaptações e teias tróficas em uma área de águas internacionais ao largo do Nordeste brasileiro [entre Salvador e Fortaleza numa faixa distante entre 160 e 480 quilômetros da costa], onde o fundo do oceano está a 4.500 metros", explica Marcelo Melo, professor do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP) e integrante da expedição, cuja pesquisa conta com apoio da FAPESP.

Os resultados revelam o quanto ainda há para descobrir em águas abertas. "As grandes expedições dedicadas ao estudo da biodiversidade em mar aberto ocorreram ao longo do século 19, há cerca de dois séculos. Mesmo assim, seguimos encontrando novas espécies. Isso mostra que ainda existem vastas áreas dos oceanos que nunca foram exploradas cientificamente e guardam uma enorme diversidade desconhecida", afirma Renato Nagata, professor do Instituto de Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande (Furg).

De acordo com Michela Borges, coordenadora do Museu de Diversidade Biológica do Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), cuja

pesquisa é apoiada pela FAPESP, cada nova espécie descrita amplia o conhecimento sobre a biodiversidade e sobre a própria história da vida na Terra. "Embora as pessoas imaginem que a maior parte das espécies já tenha sido descrita, a realidade é que ainda conhecemos apenas uma pequena parcela da vida, especialmente quando falamos de invertebrados e de ambientes de difícil acesso, como o oceano profundo", afirma. Para ela, essas descobertas ajudam a compreender a evolução dos organismos, o funcionamento dos ecossistemas e a orientar estudos em ecologia, biogeografia e conservação.



Animal gelatinoso coletado a 1.157 m de profundidade pelo ROV SuBastian e fotografado a bordo do navio Falkor (too)
Emily Clark/MBARI via Schmidt Ocean Institute

AO TODO FORAM COLETADAS NOVAS ESPÉCIES DOS SEGUINTES TIPOS E QUANTIDADES

- **1 Anfípode** Pequeno crustáceo aparentado com caranguejos e lagostas
- **1 Poliqueta-fada** Poliqueta pelágica de movimentos rápidos
- **9 Águas-vivas** Cnidários também conhecidos como medusas
- **7 Sifonóforos** Hidrozoários coloniais formados por milhares de pequenos animais chamados zooides
- **7 Ctenóforos** Carambolas-do-mar, de corpo gelatinoso e transparente
- **4 Larváceos** Cordados transparentes que vivem em delicados casulos de muco
- **2 Rizárias-gigantes** Organismos unicelulares visíveis a olho nu

Para Nagata, compreender a vida na zona mesopelágica exige considerar essas condições extremas. "É um ambiente frio, escuro, sob alta pressão e com pouco alimento disponível. Mesmo assim, abriga uma enorme diversidade de organismos que desenvolveram adaptações extraordinárias ao longo da evolução", afirma.

Enxergando o invisível

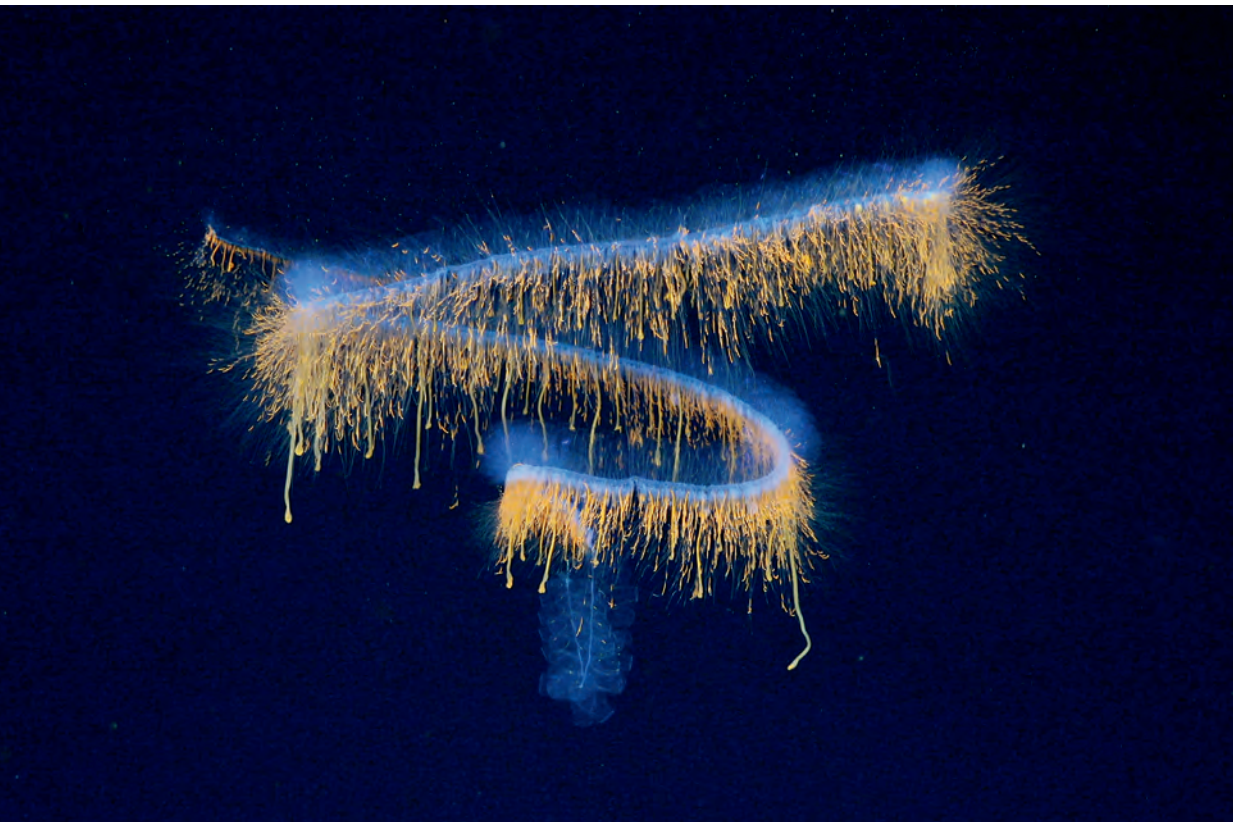
A expedição mostrou como novas tecnologias estão transformando a exploração dos oceanos. Equipamentos que observam organismos delicados em seu ambiente natural permitiram registrar estruturas e comportamentos que dificilmente seriam preservados pelos métodos tradicionais de coleta.

Instalados no ROV SuBastian — veículo subaquático não tripulado operado remotamente que estava a bordo do Falkor (too) —, os sistemas de imageamento tridimensional DeepPIV e EyeRIS, desenvolvidos pelo Laboratório de Bioinspiração do Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI), centro privado e sem fins lucrativos de pesquisa oceanográfica localizado na Califórnia (EUA), utilizam lasers para gerar modelos digitais detalhados de organismos transparentes e opacos.

Enquanto o DeepPIV permite observar estruturas internas e o movimento de fluidos — usando uma folha de luz laser e câmeras de alta definição —, o EyeRIS registra a parte externa dos organismos em detalhes. O sistema utiliza uma câmera 3D de campo de luz, capaz de acompanhar, em tempo real, animais opacos e seus movimentos na superfície. Outra tecnologia de ponta embarcada na missão é o microscópio Squid, desenvolvido pelo Prakash Lab da Universidade Stanford (EUA), que permite obter imagens tridimensionais de estruturas celulares de organismos vivos ainda a bordo, revelando detalhes inéditos de uma rizária-gigante, por exemplo.

A investigação genética também ficou mais ágil. O DNA dos organismos coletados foi extraído e sequenciado em tempo real por pesquisadores da Universidade de Tohoku, do Japão. Para garantir a qualidade das análises, as amostras eram preservadas imediatamente após chegarem ao convés, evitando alterações provocadas por temperatura ou contaminação.

Para Melo, a integração entre observação, imageamento tridimensional e genética representa uma mudança na forma de estudar a biodiversidade marinha. "Imagine reconhecer uma espécie potencialmente nova antes mesmo de ela ser coletada e, logo em seguida, obter seu genoma ainda a bordo do RV Falkor (too). Isso gera um



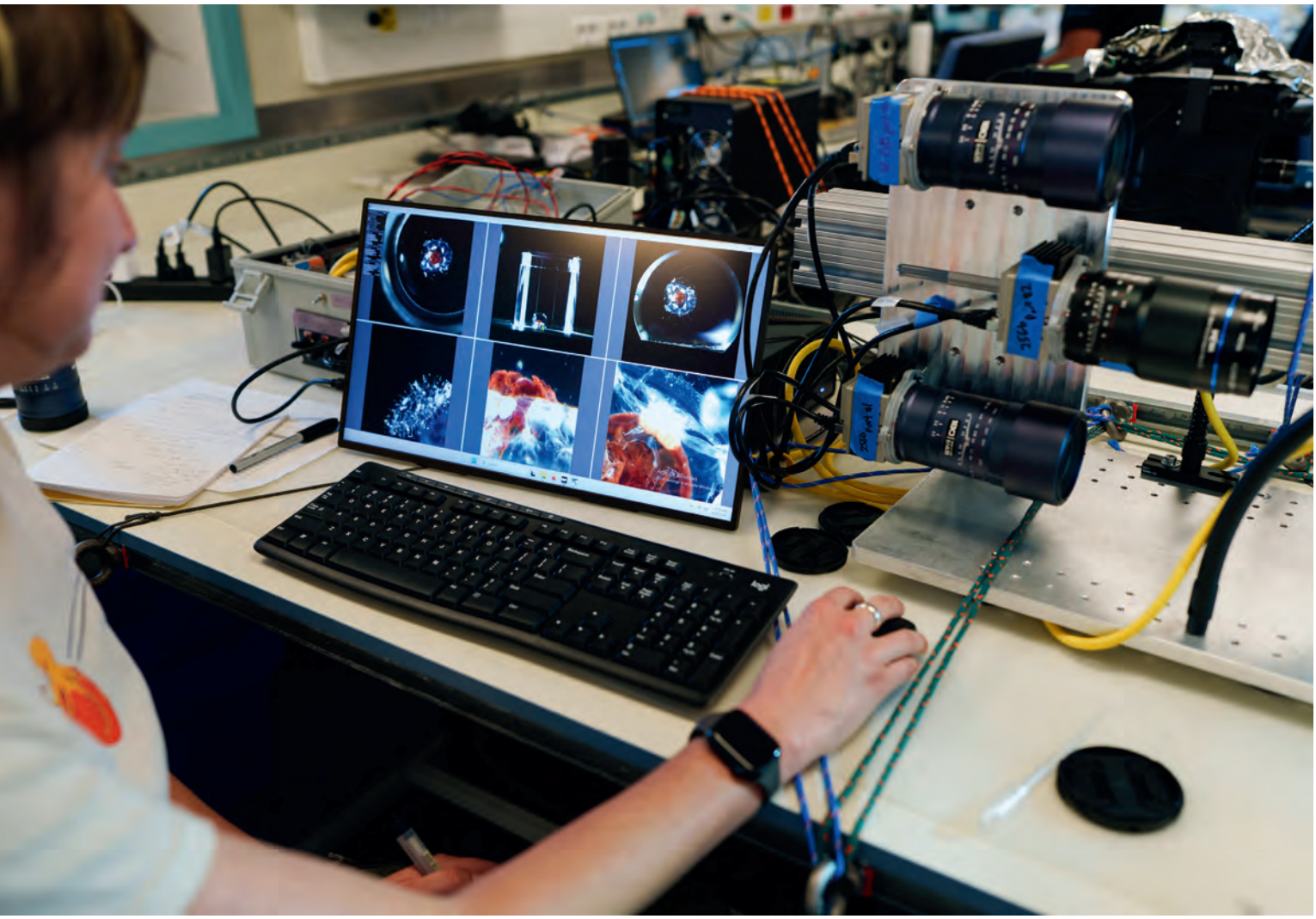
As imagens deste sifonóforo foram capturadas a 552 metros de profundidade. Trata-se de um gênero ainda não descrito — talvez até mesmo de uma nova família do grupo Physonectae

ROV SuBastian/Schmidt Ocean Institute



Nova espécie do gênero *Tomopteris*, conhecidos como vermes-teia. Pouco se sabe sobre a vida desses animais além de alguns estudos sobre sua bioluminescência amarela brilhante

ROV SuBastian/Schmidt Ocean Institute



volume extraordinário de informações e acelera enormemente o conhecimento sobre esses organismos e sobre essa região do oceano", destaca.

Missão internacional

A expedição reuniu pesquisadores de instituições de Brasil, Austrália, EUA e Japão, integrando especialistas em biologia, oceanografia, engenharia, genética e bioinformática para investigar os organismos sob diferentes perspectivas.

Segundo Melo, a cooperação internacional garante que o conhecimento produzido permaneça acessível. "O material coletado será depositado no Museu de Zoologia da USP, garantindo que permaneça no Brasil e fique disponível para futuros estudos por outros pesquisadores", destaca.

A missão também teve forte componente de divulgação científica. As operações do ROV SuBastian foram transmitidas ao vivo pelo Schmidt Ocean Institute, acompanhadas de encontros virtuais com estudantes de escolas e universidades brasileiras. Além disso, os modelos tridimensionais gerados pelos sistemas DeepPIV e EyeRIS estão disponíveis gratuitamente no site do Laboratório de Bioinspiração do MBARI para uso em aulas, pesquisas e atividades de divulgação científica. "Essa aproximação faz com que os resultados ultrapassem os artigos científicos, despertem o interesse pela biodiversidade marinha e incentivem novas gerações de cientistas", avalia.





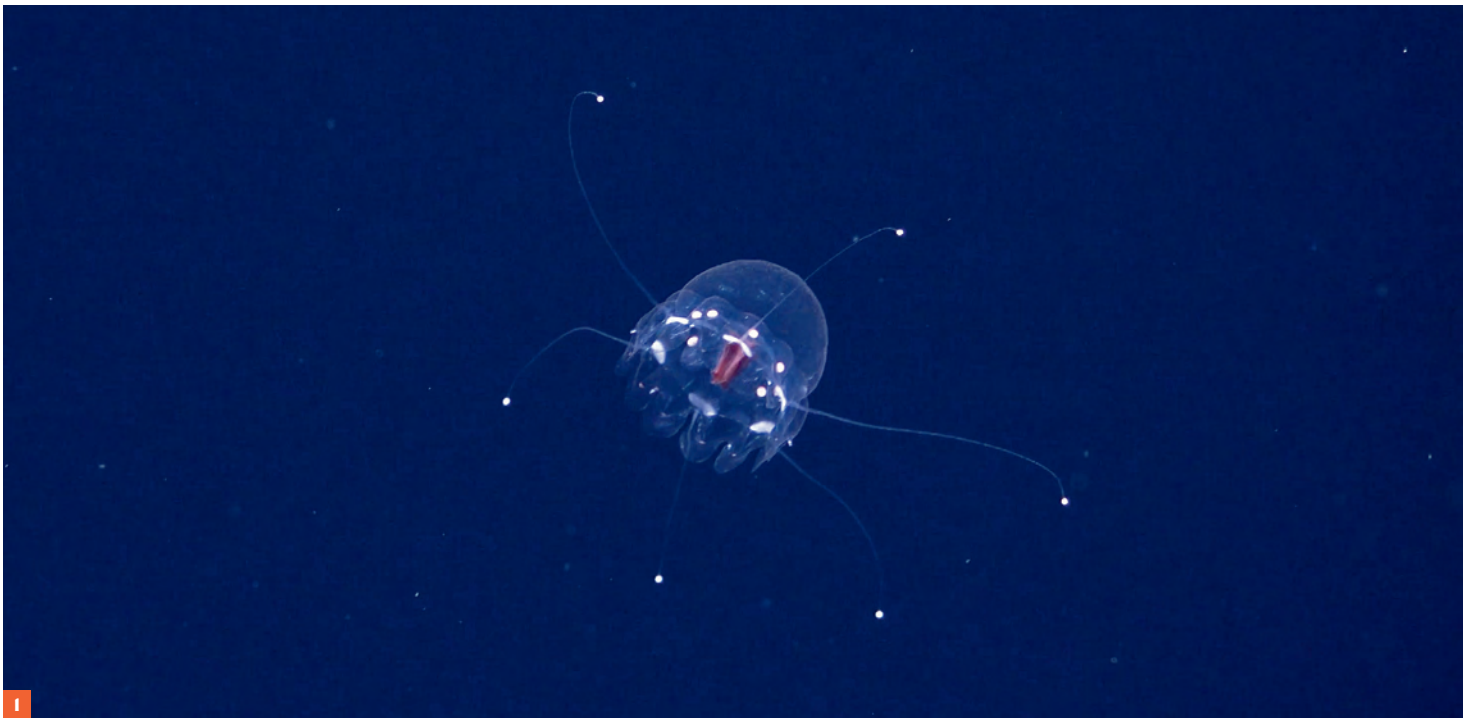
À esq., Emily Clark (MBARI) fotografa criaturas de águas intermediárias com câmeras multiângulo, parte do arsenal tecnológico usado na expedição; acima, Silvina Botta (Furg) coleta água do ROV SuBastian para análise de isótopos estáveis, que mostra como o carbono circula no oceano; à dir., equipe da expedição realiza a triagem do material coletado nas águas profundas do Atlântico Sul Fotos Alex Ingle/Schmidt Ocean Institute; Marcelo Melo/Arquivo pessoal

As descobertas da expedição podem ir além da ampliação do conhecimento. Muitos dos organismos estudados também podem inspirar avanços em áreas como engenharia e biotecnologia. De acordo com Nagata, cerca de um terço da equipe científica era formada por engenheiros dedicados à bioinspiração, área que busca desenvolver soluções tecnológicas a partir de mecanismos encontrados na natureza. "Estudamos como esses organismos nadam, se locomovem e interagem com a água para entender princípios eficientes do ponto de vista energético", explica. Essas informações podem orientar o desenvolvimento de robôs subaquáticos, veículos autônomos e novos sistemas de propulsão.

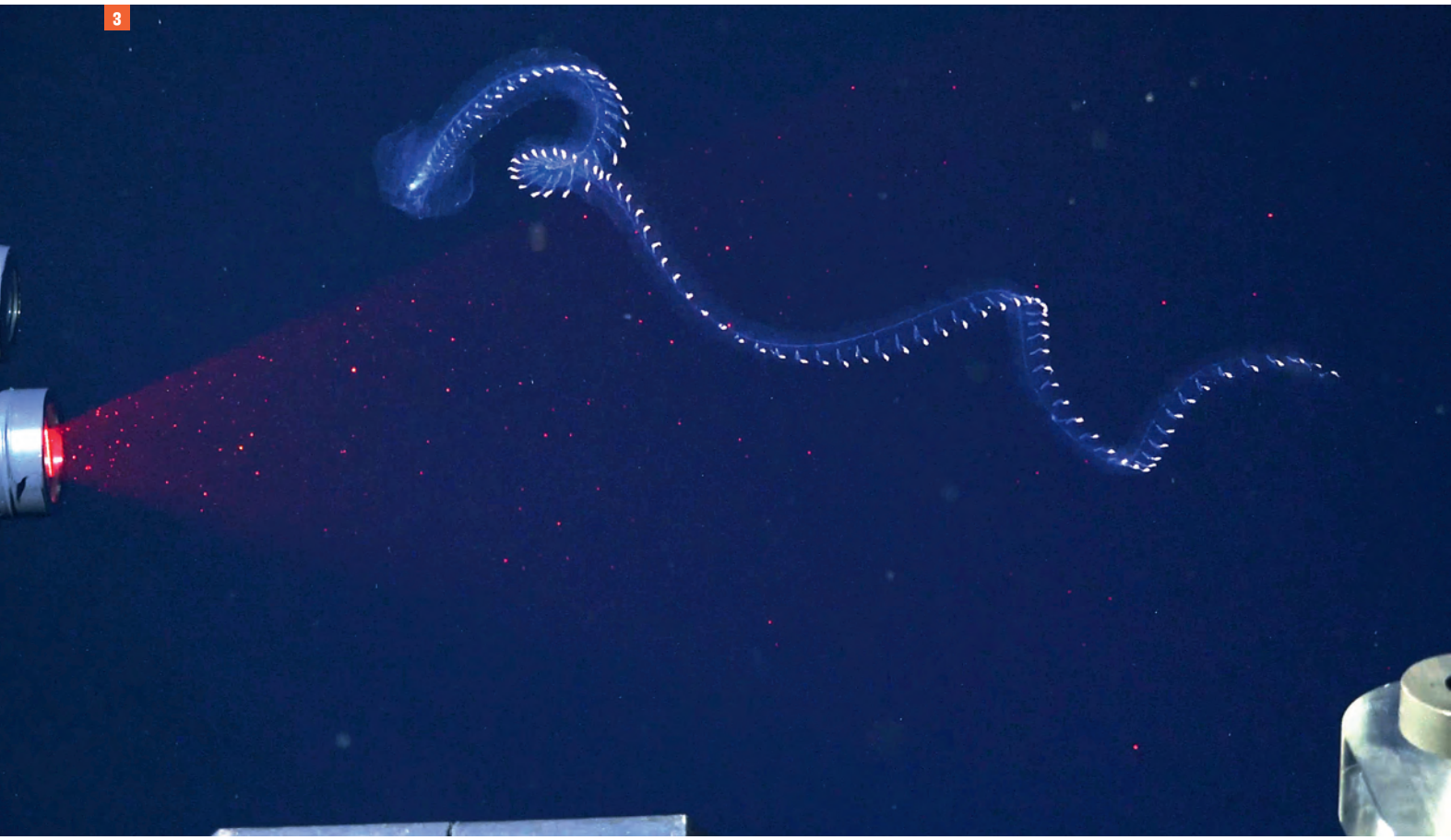
Nagata defende também que ampliar o conhecimento científico sobre essas regiões é condição indispensável para qualquer decisão sobre o uso de seus recursos. "Devemos adotar o princípio da precaução: aquilo que ainda não conhecemos precisa ser preservado." Para o pesquisador, grandes áreas do Atlântico Sul ainda podem abrigar espécies, funções ecológicas e processos ambientais inéditos, tornando indispensável ampliar sua investigação científica antes de qualquer forma de exploração.

Novas fronteiras

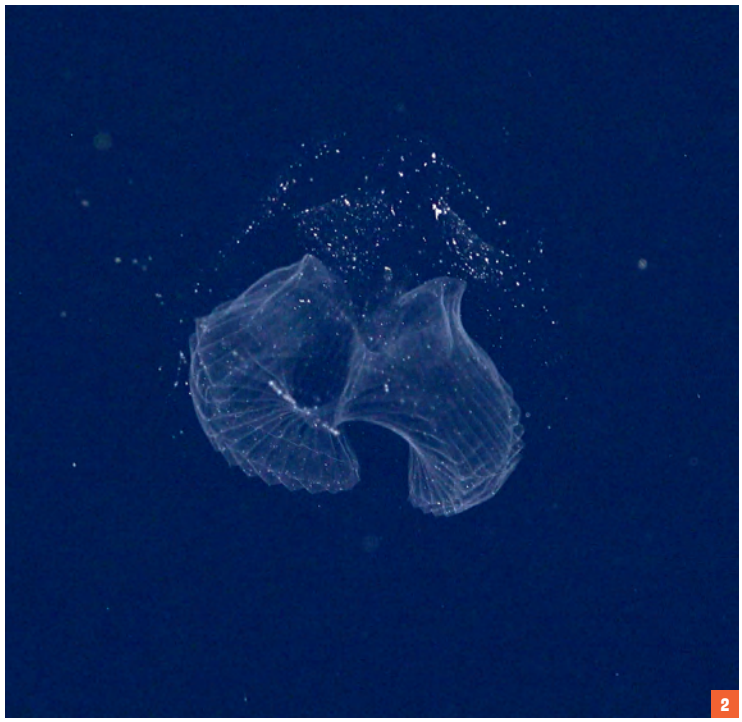
Outras missões realizadas em 2026 mostram que o esforço para mapear regiões pouco exploradas do Atlântico vai



1



3



2



4

1 Água-viva do gênero *Atorella* é nova espécie, achada a 845 m de profundidade
2 Novo sifonóforo escaneado pelo DeepPIV a 350 m de profundidade
3 Larváceo em 'casa' de muco; espécie nova para a ciência
4 Água-viva do gênero *Bathykorus*, encontrada a 950 m de profundidade
Fotos ROV SuBastian/Schmidt Ocean Institute

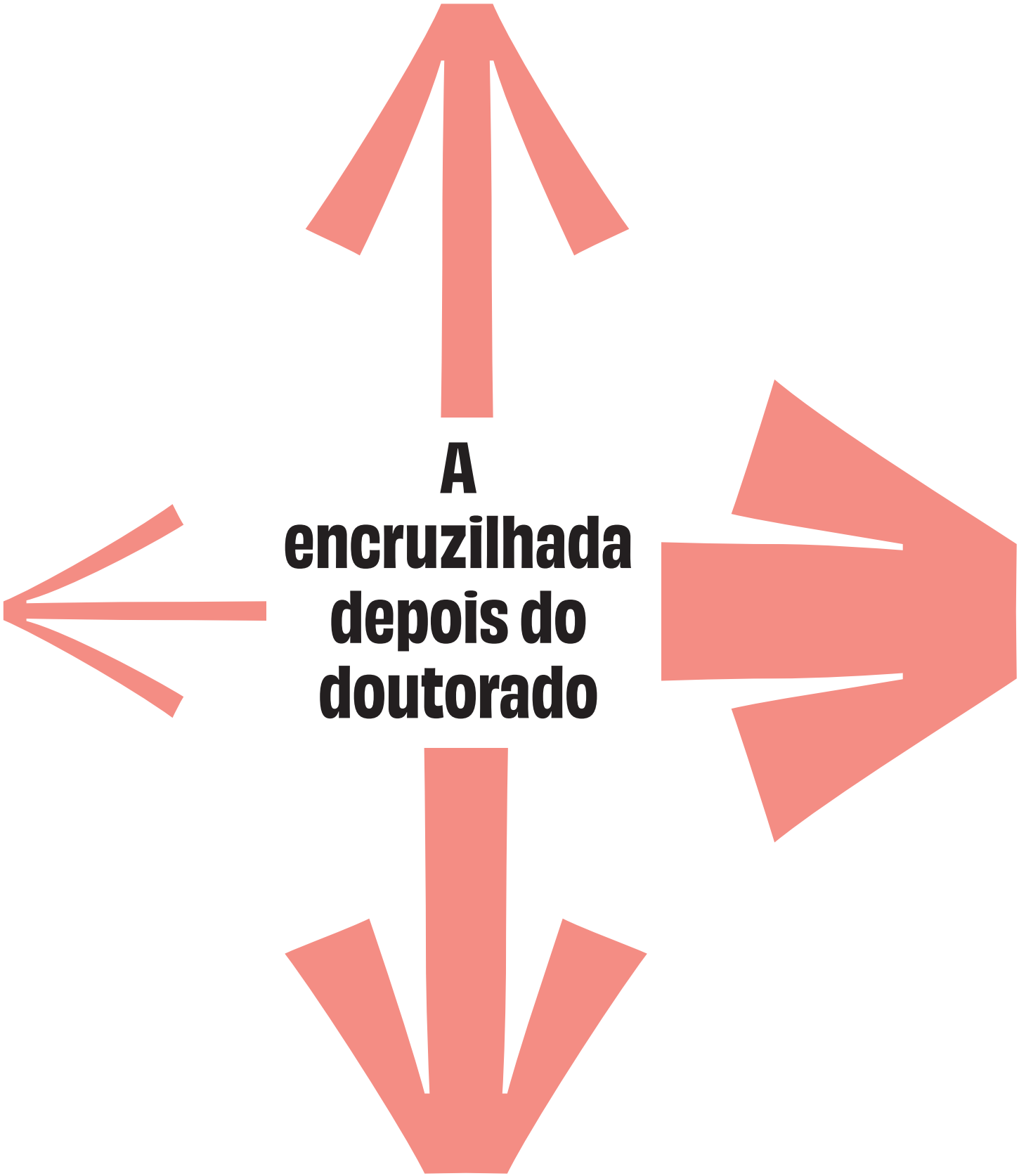
Navegue pelos modelos 3D de corais, animais, fósseis e até navios naufragados

além da biodiversidade da coluna d'água. Entre elas está a expedição Matrics, dedicada ao Sistema Megatransformante de Doldrums — uma extensa zona de fraturas da Cordilheira Mesoatlântica, onde o afastamento das placas tectônicas cria novos fundos oceânicos, com fumarolas que aquecem as águas e transportam minerais, sustentando ecossistemas pouco conhecidos. Essas expedições também ajudam a compreender regiões que despertam interesse pela presença de minerais estratégicos. "Antes de qualquer discussão sobre a exploração desses recursos, é fundamental entender como esses ambientes funcionam. Cada expedição mostra que o oceano profundo é mais complexo, diverso e dinâmico do que imaginávamos", afirma Vivian Pellizari, professora do IO-USP que integrou a Matrics, realizada entre maio e junho de 2026.

A mesma visão é compartilhada por Borges, da Unicamp. Para a pesquisadora, observar e descrever novas espécies é um passo essencial para orientar decisões sobre conservação e uso sustentável dos ecossistemas. "Não é possível proteger aquilo que não conhecemos", resume.

Embora pareça remoto, o oceano profundo também sofre os impactos das atividades humanas, como as mudanças climáticas, o aquecimento e a acidificação dos oceanos, além da poluição por plásticos e outros contaminantes. Borges alerta que esses ecossistemas continuam entre os menos estudados do planeta devido às dificuldades de acesso, ao alto custo das expedições e à escassez de especialistas capazes de identificar e descrever sua biodiversidade. "Em muitos casos, uma espécie pode desaparecer antes mesmo de ser descoberta e descrita."

Para a pesquisadora, investir em pesquisa é essencial para compreender o funcionamento desses ecossistemas e embasar políticas públicas de conservação. "Conhecer a biodiversidade do oceano profundo nos permite preservar um ambiente essencial para o equilíbrio do planeta", conclui.



A encruzilhada depois do doutorado

O dilema dos jovens pesquisadores, muitas vezes, fica entre caminhos instáveis e a fuga das universidades

✻ Por **Eduardo Geraque**

Um momento decisivo da vida acadêmica é quando o pesquisador termina o doutorado. Para um número crescente de jovens pesquisadores, a questão é achar um caminho factível depois dele. Nos últimos anos, quem é recém-doutor tem de lidar com opções escassas. De um lado, as vagas permanentes em universidades e institutos de pesquisa não são suficientes para absorver a todos. De outro, ao menos em países como o Brasil, há um relativo desinteresse do setor privado na formação dessas pessoas. Há ainda a chance de fazer um pós-doutorado, caminho que também é temporário, durando apenas alguns anos.

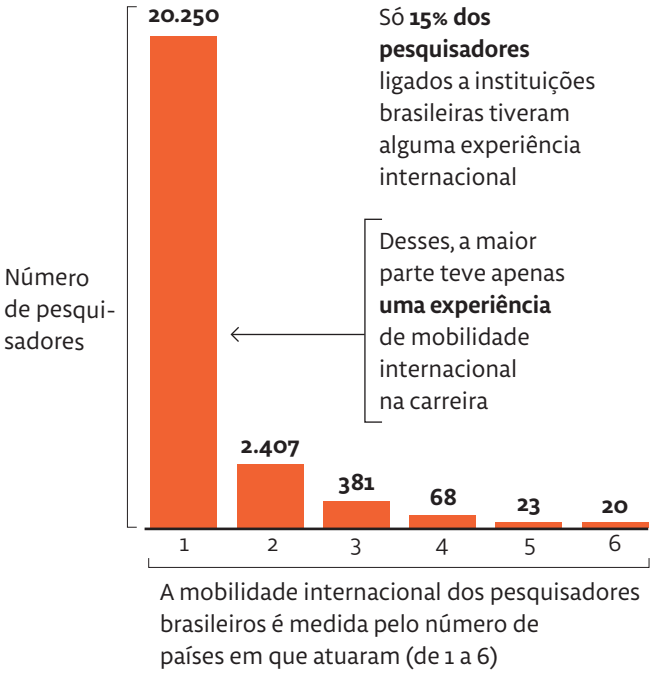
"O pós-doc não é exatamente uma alternativa à carreira acadêmica, mas faz parte dela", diz Stevens Rehen, professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e pesquisador do Instituto D'Or de Pesquisa e Ensino (Idor). O neurocientista tem décadas de experiência com projetos que unem os setores público e privado. "O que estamos vendo hoje, no Brasil e fora dele, é que esse período deixou de ser uma etapa de transição relativamente curta e passou a funcionar, muitas vezes, como um período prolongado e inevitável da formação, mas também de incerteza."

A consequência de todo esse processo é uma geração que vive entre bolsas temporárias, vínculos frágeis e decisões profissionais cada vez mais difíceis. É possível continuar procurando vagas de pós-doutorado em diferentes instituições, por exemplo, já que não há um limite para o número desses projetos de pesquisa, mas não se trata de uma solução de longo prazo. Para muitos jovens pesquisadores, a escolha tem sido entre permanecer nesse ciclo sem muita saída ou buscar caminhos fora da universidade — no setor privado, no empreendedorismo, no serviço público ou no exterior.

O fenômeno é global. Reportagem publicada em junho de 2025 na *Nature*, assinada por Diana Kwon, apontava que o número de doutores formados no mundo cresceu em ritmo muito superior à oferta de vagas na academia — cenário que vem pressionando universidades a repensar o modelo tradicional de formação de PhDs.

Voos tímidos

Pesquisadores brasileiros têm, em média, experiências internacionais modestas



Fonte: From brain drain to brain circulation: International researcher mobility in Brazilian health and life sciences (2005–2020). *Quantitative Science Studies* (2026) 7: 240–257

Infografia Alexandre Affonso

Países como China e Índia lideram essa expansão. No gigante asiático, por exemplo, o número de estudantes matriculados em programas de doutorado dobrou em uma década: passou de cerca de 300 mil, em 2013, para mais de 600 mil, em 2023. O crescimento é impulsionado pela ampliação do acesso ao ensino superior e pela percepção de que títulos acadêmicos aumentam as chances de ascensão social e econômica. A pergunta "Onde você estudou?" entre os chineses é, muitas vezes, fundamental.

O problema é que o mercado acadêmico não acompanhou esse avanço. O número de vagas em universidades e centros de pesquisa cresce em ritmo muito menor do que o contingente de doutores formados. Muitos estudantes ainda entram no doutorado pensando exclusivamente em uma carreira universitária, embora a realidade atual seja marcada por forte competição e poucas oportunidades permanentes na academia.

Nos Estados Unidos, no Reino Unido e na Austrália, a maior parte dos doutores já trabalha fora do ambiente acadêmico. Uma pesquisa feita no país europeu com mais de 4.500 doutores, ainda segundo a *Nature*, mostrou que mais de dois terços atuam em empregos não acadêmicos. Em muitos casos, esses profissionais acabam em funções pouco relacionadas à área de especialização desenvolvida durante o doutorado.

Na África do Sul, por exemplo, 18% dos doutores entrevistados em uma pesquisa afirmaram ter dificuldade para encontrar empregos ligados à própria área de expertise. Parte deles relata a sensação de sobrequalificação e subaproveitamento profissional.

Apesar disso, a satisfação geral com a carreira permanece relativamente alta: mais de 90% dos doutores britânicos disseram estar satisfeitos com o trabalho atual. A diferença aparece principalmente entre áreas. Formados em ciências e tecnologia tendem a encontrar mais posições ligadas à pesquisa e inovação, enquanto profissionais das áreas de humanas e artes enfrentam maior dificuldade de inserção em empregos diretamente conectados ao doutorado.

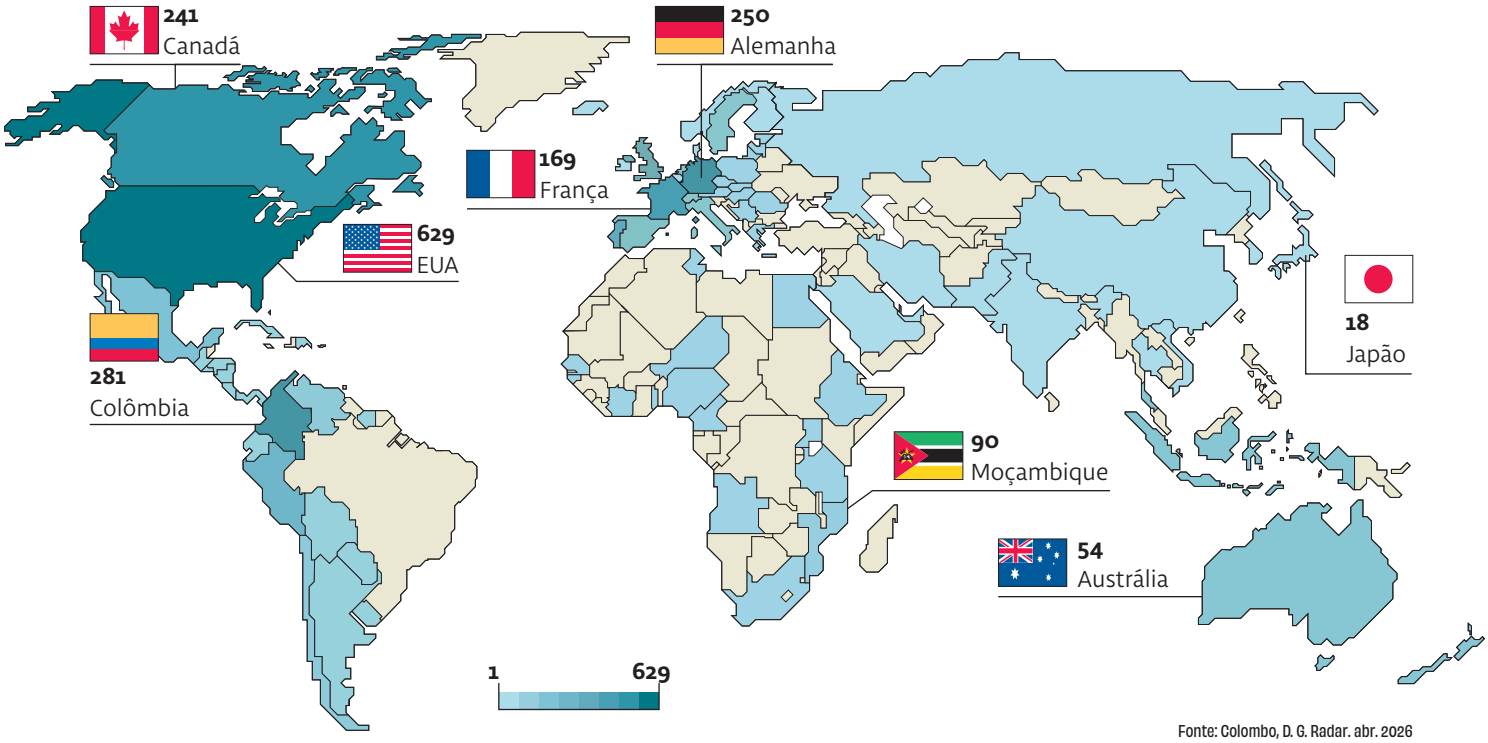
O texto também levanta uma questão cada vez mais presente no debate internacional: o doutorado ainda traz vantagens salariais claras em relação ao mestrado? Um estudo citado pela reportagem mostra que doutores britânicos, em média, ganham mais por hora do que mestres — mas isso não ocorre em todas as áreas. Em campos como direito, economia e gestão, doutores chegaram a receber ligeiramente menos do que profissionais que tenham apenas mestrado. Quando o tempo de experiência profissional é considerado, mestres passam a apresentar rendimento médio um pouco superior.

Diante desse cenário, pesquisadores e formuladores de políticas públicas defendem uma reformulação dos programas de doutorado. A ideia é que eles deixem de funcionar apenas como treinamento para a carreira universitária e passem a preparar estudantes para diferentes setores da economia. Países como Japão, Alemanha e Reino Unido já começaram a implementar mudanças, incluindo estágios remunerados em empresas e modelos de "doutorado industrial", realizados em parceria com o setor privado.

As habilidades desenvolvidas durante o doutorado — como pensamento crítico, capacidade analítica e inovação — continuam valiosas no mercado, mas as universidades precisam adaptar a formação à nova realidade profissional dos doutores. Inclusive no Brasil, como afirma Elizabeth Balbachevsky, especialista em políticas públicas e

Pelo mundo

País de destino dos pesquisadores que concluíram o doutorado no Brasil entre 2013 e 2024, incluindo estrangeiros



Fonte: Colombo, D. G. Radar. abr. 2026

Infografia Alexandre Affonso

ensino superior. "A pós-graduação brasileira ainda é muito calcada na lógica do produto acadêmico", afirma.

Segundo a cientista social da Universidade de São Paulo (USP), embora a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) tenha começado a demonstrar preocupação com o destino profissional dos egressos, o sistema continua fortemente orientado para a reprodução da própria carreira acadêmica. "Uma pós-graduação que só pensa na formação dos futuros acadêmicos é uma coisa do século passado. Não existe mais." Uma abordagem que busca enfrentar esse problema é a criação de mestrados e doutorados profissionais, os quais enfatizam, por exemplo, consultorias e estágios aplicados em empresas ou órgãos públicos.

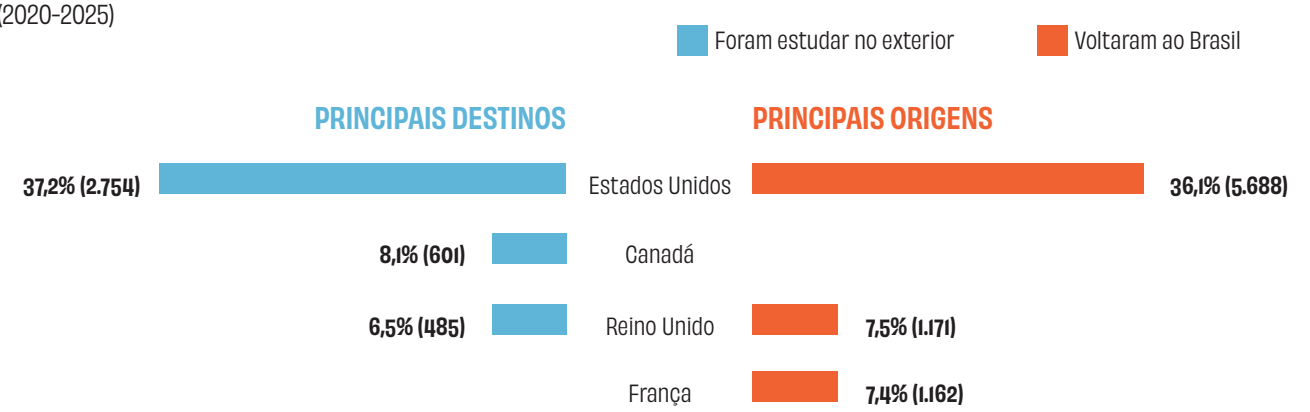
Para a pesquisadora, o problema não está apenas no número limitado de vagas universitárias, mas em uma lógica histórica, que formou doutores quase exclusivamente para permanecer dentro da própria universidade. "Você entra numa dinâmica autofágica do sistema", afirma.

O desafio se torna ainda mais evidente porque a pesquisa acadêmica é cara e, por definição, não consegue se expandir indefinidamente. Sem canais robustos de absorção em empresas, instituições públicas, terceiro setor ou ecossistemas de inovação, parte dos pesquisadores acaba presa em trajetórias profissionais precárias ou pouco conectadas à produção de conhecimento.

Balbachevsky avalia que o país avançou pouco em políticas voltadas à formação continuada e à integração entre pós-graduação e outros setores da sociedade. Em países europeus, por exemplo, universidades de ciências aplicadas e programas de requalificação profissional aproximam pesquisa, Estado e mercado de trabalho. No Brasil, esse espaço permanece fragmentado.

Os fluxos migratórios de pesquisadores brasileiros

(2020-2025)



Fonte: Biazoli et al. *Quantitative Science Studies*

O setor privado ainda pesquisa pouco

Toda a complexidade da vida de quem sai do doutorado também revela uma característica estrutural da economia brasileira: o baixo investimento privado em pesquisa e desenvolvimento. Em economias mais intensivas em inovação, deixar a universidade não significa necessariamente abandonar a ciência. Empresas de tecnologia, farmacêuticas, centros de pesquisa aplicada e startups absorvem parte importante dos doutores. No Brasil, essa ponte ainda é limitada, apesar de algumas áreas, como a do agronegócio, chegarem a encaminhar algumas soluções.

Isso ajuda a explicar por que muitos pesquisadores enxergam o exterior como alternativa mais atraente. Além de salários mais altos, universidades e centros internacionais oferecem infraestrutura mais robusta, redes globais de colaboração e maior previsibilidade institucional.

Mesmo assim, a chamada "fuga de cérebros" talvez não seja o conceito mais adequado para entender o fenômeno atual. Um estudo publicado na edição de 2 de abril deste ano da revista *Quantitative Science Studies* analisou mais de 1,3 milhão de publicações científicas de pesquisadores brasileiros das áreas de saúde e ciências da vida entre 2005 e 2020. O levantamento mostrou que 68% dos cientistas brasileiros que tiveram experiência internacional retornaram ao país.

Os dados ajudam a fortalecer uma ideia que vem ganhando espaço no debate internacional segundo o neurocientista Stevens Rehen: a da "circulação de cérebros". O problema não seria simplesmente sair do país, mas a capacidade — ou incapacidade — de transformar mobilidade internacional em ganho científico, tecnológico e econômico para o sistema nacional.

O estudo traz outro dado revelador: embora apenas 15% dos pesquisadores analisados tenham tido experiência internacional, eles responderam por 59% das publicações científicas.

"Isso sugere que a mobilidade é um ativo desde que exista um ecossistema doméstico capaz de capitalizar essas conexões", afirma Rehen. "Sem isso, a circulação tende a se converter, na prática, em perda."

Empreender com ciência profunda

Nesse cenário, o empreendedorismo científico passou a aparecer como alternativa possível para parte dos pesquisadores. O crescimento de startups de biotecnologia, de soluções para saúde e iniciativas de *deep tech* (que buscam transformar descobertas científicas relevantes em tecnologias que possam ser patenteadas) abriu novas perspectivas para doutores interessados em transformar pesquisa em produto. Mas o caminho está longe de ser simples.

"O empreendedorismo é um caminho possível, mas ainda bastante desafiador no contexto brasileiro, especialmente nas áreas biológica e biomédica", explica Rehen.

Segundo o cientista brasileiro, existe um desalinhamento estrutural entre o tempo da ciência e a lógica predominante do mercado financeiro. Enquanto investidores acostumados

SOBRE O ESTUDO

1,3 milhão

de publicações científicas analisadas

PUBLICADAS ENTRE

2005 e 2020

CIRCULAÇÃO, NÃO FUGA

Dos brasileiros com experiência internacional no exterior

68%

retornaram para o Brasil

POUCOS, MAS PRODUTIVOS

Só 15% dos pesquisadores tiveram experiência internacional, mas eles foram responsáveis por

59%

de toda a produção científica analisada

Acesse reportagem que aponta que número de doutores formados no mundo cresceu em ritmo muito superior à oferta de vagas na academia

ao universo digital esperam retornos rápidos, pesquisas científicas profundas exigem validação experimental, testes regulatórios e ciclos longos de maturação. "Isso torna o ambiente menos favorável para iniciativas de *deep tech* e acaba desestimulando parte dos pesquisadores", diz.

Na prática, muitos cientistas precisam aprender simultaneamente pesquisa, gestão, captação de recursos e desenvolvimento de negócios — em um ecossistema que ainda é marcado por burocracia, financiamento instável e baixa integração entre universidade e setor privado.

A decisão individual

Por trás dos indicadores, existe também uma dimensão pessoal difícil de medir em estatísticas.

A trajetória prolongada de formação frequentemente empurra decisões fundamentais da vida adulta para mais tarde. Estabilidade financeira, planejamento familiar e consolidação profissional acabam adiados por anos. "O ponto crítico costuma aparecer na transição entre o doutorado e os primeiros anos de pós-doc", diz Rehen. "A diferença entre permanecer ou sair do país deixa de ser apenas uma questão vocacional e passa a ser, cada vez mais, uma questão estrutural, de perspectiva de vida."

Balbachevsky concorda que a nova geração já avalia a pós-graduação de maneira diferente. "O jovem hoje olha para o mundo e pergunta: 'E aí? O que eu vou fazer?'."

Para ela, o próprio conceito de formação precisa mudar. Em vez de enxergar educação como uma etapa encerrada no início da vida adulta, países mais desenvolvidos passaram a tratá-la como um processo contínuo, capaz de acompanhar diferentes momentos profissionais. O pós-doc, hoje, ou mesmo o mestrado e o doutorado, voltou a ser opção para profissionais que deixaram a universidade há mais tempo. "O nosso departamento passou a receber, pouco tempo atrás, delegados da Polícia Federal e oficiais da polícia militar que fizeram mestrado em ciência política. É algo extremamente rico. É um item, inclusive, que precisa entrar na avaliação da Capes", pondera Balbachevsky.

Apesar das dificuldades, ambos os pesquisadores evitam uma visão totalmente pessimista. Há sinais de mudança dentro do sistema acadêmico brasileiro. Alguns programas de pós-graduação já tentam oferecer uma formação mais flexível, aproximando alunos do setor público, de empresas e de trajetórias profissionais diversas.

Do ponto de vista da sociedade, segundo Balbachevsky, o ganho existe em diferentes caminhos. "Uma pós-graduação polivalente, que produza pessoas para a vida acadêmica e também para a vida profissional, é muito importante para o país." O desafio brasileiro talvez já não seja apenas formar cérebros. O problema passou a ser criar condições para que eles consigam circular, permanecer, inovar e produzir conhecimento sem transformar a própria carreira em um exercício permanente de incerteza, em tempos em que o aprendizado se torna obsoleto em anos, mas o conhecimento e a experiência vão se acumulando ao longo da vida profissional. ●

O OLHAR MAIS AGUÇADO DAS **PESQUISAS QUALITATIVAS**

Com metodologias mais robustas e desenhos de pesquisa mais sofisticados, essas abordagens ajudam a estudar fenômenos que os números não decifram sozinhos

✻ Por **Fábio de Castro**
✻ Ilustrações **Ariel Severino**

Por décadas, a pesquisa qualitativa foi vista com desconfiança pela comunidade científica, ficando em segundo plano por ser considerada excessivamente subjetiva. Na última década, porém, as abordagens desse tipo têm passado por um processo de refinamento metodológico, tornando-se ferramentas importantes para buscar respostas a perguntas complexas. Em uma nova fronteira desse processo estão os métodos mistos, cada vez mais sofisticados, que buscam integrar abordagens qualitativas e quantitativas.

Esse modelo tem se mostrado útil para pesquisadores que investigam questões tão diversas como a experiência subjetiva de pacientes de esquizofrenia durante um tratamento de longo prazo, a redução da vacinação infantil ligada à desinformação, as transições socioambientais produzidas por iniciativas de desenvolvimento sustentável na Amazônia ou os diversos fatores associados à saúde mental de estudantes universitários.

Os métodos da pesquisa qualitativa, que envolvem abordagens como entrevistas aprofundadas ou grupos focais (ou seja, o acompanhamento das conversas sobre um tema que acontecem entre os membros de um grupo pequeno de pessoas), buscam investigar aspectos que não são fáceis de transformar em números. Eles ajudam a entender a percepção subjetiva das pessoas e os significados que elas atribuem aos fenômenos.

O avanço da abordagem é particularmente evidente na área da saúde. Nas últimas décadas, seu emprego cresceu em publicações de revistas científicas biomédicas, de saúde pública e das diversas profissões clínicas. Na plataforma PubMed, o número de artigos passou de pouco mais de 2 mil, em 1980, para mais de 26 mil, em 2000. Em 2020, já eram mais de 230 mil, e o número quase dobrou de lá para cá, chegando a 425 mil em 2026.

Para o psiquiatra Egberto Ribeiro Turato, professor da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), essa explosão está associada ao crescente interesse pela humanização das atividades clínicas, que passaram a exigir a compreensão das dimensões emocionais e sociais.

"Na área de saúde, os métodos quantitativos sempre foram muito valorizados, porque os resultados estatísticos explicam os nexos causais entre os fenômenos do adoecimento



e dos cuidados. Mas cada vez mais a comunidade científica sentia necessidade de métodos capazes de responder como pacientes, familiares e os próprios profissionais clínicos vivenciam os fenômenos humanos", afirma Turato.

Humanas na saúde

Conhecido como criador do método clínico-qualitativo, difundido em cursos de pós-graduação em todo o país nos últimos 30 anos, Turato define a pesquisa qualitativa em saúde como "a investigação das ciências humanas, ou simbólicas, aplicada às áreas da clínica e da saúde coletiva". Segundo ele, em vez das relações de causa e efeito, a abordagem busca nexos simbólicos, impulsionada por referências teóricas psicanalíticas, antropológicas e de escolas filosóficas.

"Quando um médico ou enfermeiro pesquisa por que o paciente não faz uso correto da medicação, a abordagem quantitativa seria capaz de mostrar o percentual dos que esquecem de tomar. Mas a razão que o leva a esquecer é de ordem subjetiva e exige outro tipo de avaliação. A pesquisa qualitativa vai mudar a relação emocional e cultural do profissional de saúde com o paciente", explica Turato.

Em uma de suas pesquisas mais recentes, ele orientou uma pesquisa sobre a experiência de pacientes com esquizofrenia no ambulatório especializado em psiquiatria da FCM-Unicamp. Eles participam de um protocolo de tratamento com clozapina (antipsicótico de alta eficácia para casos de esquizofrenia resistente a outras drogas). Mas o medicamento tem entre seus efeitos colaterais a alteração na produção de sangue na medula óssea, com a diminuição de glóbulos brancos e vermelhos, o que demanda um protocolo rígido.

"É preciso coletar sangue para um hemograma semanalmente, por 14 semanas. Nosso objetivo não era saber se o tratamento estava funcionando, mas sim o que sente o paciente ao ir à Unicamp com tanta frequência, já que isso poderia gerar impressões negativas, talvez prejudicando o tratamento. Foram

O que é o método clínico-qualitativo

MCQ aplica recursos das ciências humanas à saúde, buscando compreender significados, sentimentos e valores envolvidos nos processos de saúde e doença.





feitas entrevistas abertas em profundidade, exploradas com um método de análise de conteúdo clínico-qualitativa", explica Turato.

A conclusão foi que o tratamento não levava a simbolizações negativas — as visitas semanais faziam os pacientes se sentirem mais acolhidos. "Concluímos que o protocolo promove a percepção de segurança e favorece a adesão ao tratamento, além de mitigar o isolamento dos pacientes", resume ele. O trabalho gerou um artigo que foi publicado na revista *Brain and Behavior*, com apoio da FAPESP nas modalidades de Bolsa de Iniciação Científica e Publicações de Artigos.

Em sua tese de doutorado, concluída em 1988, com bolsa da FAPESP, Turato conduziu uma pesquisa inteiramente quantitativa. "Nem utilizávamos esse termo, porque o uso da estatística era simplesmente algo óbvio", recorda. Na década de 1990, o professor integrou, na Unicamp, a disciplina de psicologia médica, campo inaugurado na década de 1950 pelo húngaro Michael Balint, autor de *O médico, seu paciente e a doença*. "Eu ensinava a disciplina e comecei a usar intuitivamente entrevistas com pacientes", conta. Em 1993, orientou o primeiro artigo publicado usando o método clínico-psicológico qualitativo na Unicamp.

A partir daí, Turato se aprofundou na abordagem e teve contato com a autora da primeira obra de pesquisa qualitativa em saúde no Brasil, *O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde*, de Cecília Minayo, da Fiocruz. Em 2003, ele publicou o *Tratado da metodologia da pesquisa clínico-qualitativa*, que também se tornou referência no Brasil.

Em 2016, a resolução nº 510 do Conselho Nacional de Saúde estabeleceu as regras éticas para pesquisas em ciências humanas e sociais, e hoje as revistas científicas mais exigentes já estabeleceram checklists para garantir a qualidade metodológica e evitar análises superficiais dos dados. Mas o professor argumenta que, para manter o rigor necessário, as abordagens mistas podem trazer confusões conceituais e epistemológicas.

"As definições dos métodos qualitativos e quantitativos são rigorosas, e há uma grande diferença entre seus elementos constitutivos, como amostragens, instrumentos de coletas e análises. Por isso, acho que, para fazer

CRESCIMENTO NA ÁREA DA SAÚDE (PUBMED)

425 mil

artigos com abordagem qualitativa publicados em 2026 — eram pouco mais de 2 mil em 1980

TEMAS EM PESQUISA QUALITATIVA HOJE

- Saúde mental de universitários
- Desinformação sobre vacinas
- Transição socioambiental na Amazônia
- Adesão a tratamento na esquizofrenia

IMPACTO DA DESINFORMAÇÃO ANTIVACINA

Entre 2019 e 2021, as narrativas antivacina no Telegram cresceram

689 vezes

com base em 80 milhões de posts, analisados em 1.785 grupos

Nesse mesmo cenário, a vacinação no Brasil caiu de

mais de 90%

para menos de 68% dos bebês de até 12 meses vacinados (2013-2020). A análise qualitativa ajuda a entender por que essas narrativas se tornam convincentes

pesquisa 'quali-quanti', é preciso ter o dobro de conhecimento metodológico, mas também o dobro de tempo, de dinheiro e de energia mental."

Outra visão da saúde mental

Os métodos mistos, porém, são amplamente utilizados em outros tipos de pesquisa. Um exemplo é o trabalho da psicanalista Kelly Cristina Brandão da Silva, também da FCM-Unicamp. Ao contrário de Turato, ela teve sua carreira científica fundamentada em estudos qualitativos, mas decidiu agregar uma etapa quantitativa ao seu projeto de pesquisa sobre saúde mental e sofrimento psíquico dos alunos na universidade.

Iniciado em julho de 2024, com apoio da FAPESP na modalidade Auxílio à Pesquisa – Regular, o projeto nasceu apenas com abordagem qualitativa, baseada em grupos focais. "A abordagem qualitativa predomina entre os psicanalistas, mas cada vez entendemos mais que os dados brutos de uma etapa quantitativa ajudam a melhorar as nossas perguntas. As abordagens se iluminam de forma recíproca", diz ela.

A pesquisadora explica que a inclusão da etapa quantitativa exigiu mais recursos humanos — e para isso foram obtidas sete bolsas no âmbito do auxílio da FAPESP. Essa fase incluiu um questionário on-line, com 118 perguntas, que cobriu diversos dados sociodemográficos, com informações sobre permanência estudantil, questões de racismo, gênero, assédio na universidade e expectativas sobre o futuro profissional.

"Os dados mostraram que a universidade mudou muito. A Unicamp introduziu cotas para pessoas trans e com deficiências muito recentemente, e o perfil dos alunos é muito diferente. A grande maioria tem renda familiar entre um e três salários mínimos. As demandas estudantis também se transformaram. Houve uma inflação de diagnósticos psiquiátricos, e aumentou a demanda por assistência à saúde mental", afirma.

Segundo ela, esses dados refinaram as perguntas da etapa qualitativa. Os resultados apontaram que, apesar da ampliação das formas de ingresso na universidade, há uma percepção de que as políticas de permanência são insuficientes. "Os grupos focais também detectaram um

conflito de pertencimento: alunos pretos, pardos e indígenas começam a reivindicar uma mudança nas bibliografias, alheias a seus saberes e cosmovisões. Há um sofrimento específico dessa nova população universitária, com destaque para os refugiados."

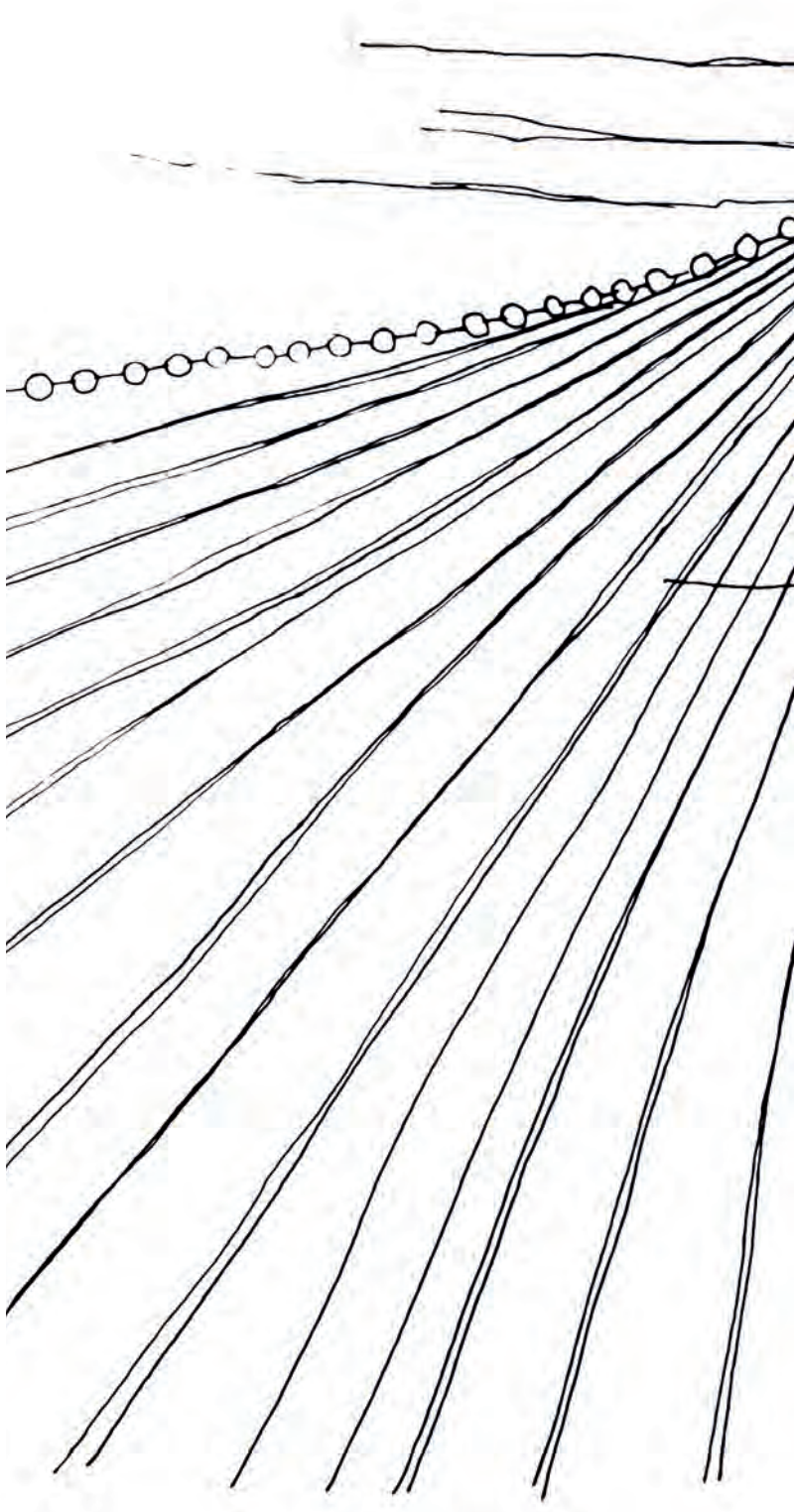
A temática do estudo nasceu em 2021, durante a pandemia de Covid-19, quando a pesquisadora verificou um aumento de ideação suicida entre os alunos do curso de fonoaudiologia, no qual leciona. A pesquisa foi inserida em um estudo multicêntrico, que já resultou na publicação de cinco artigos, um capítulo de livro e do *Guia para o bem-viver na universidade: psicanálise, saúde mental e políticas de cuidado*, lançado em 2025.

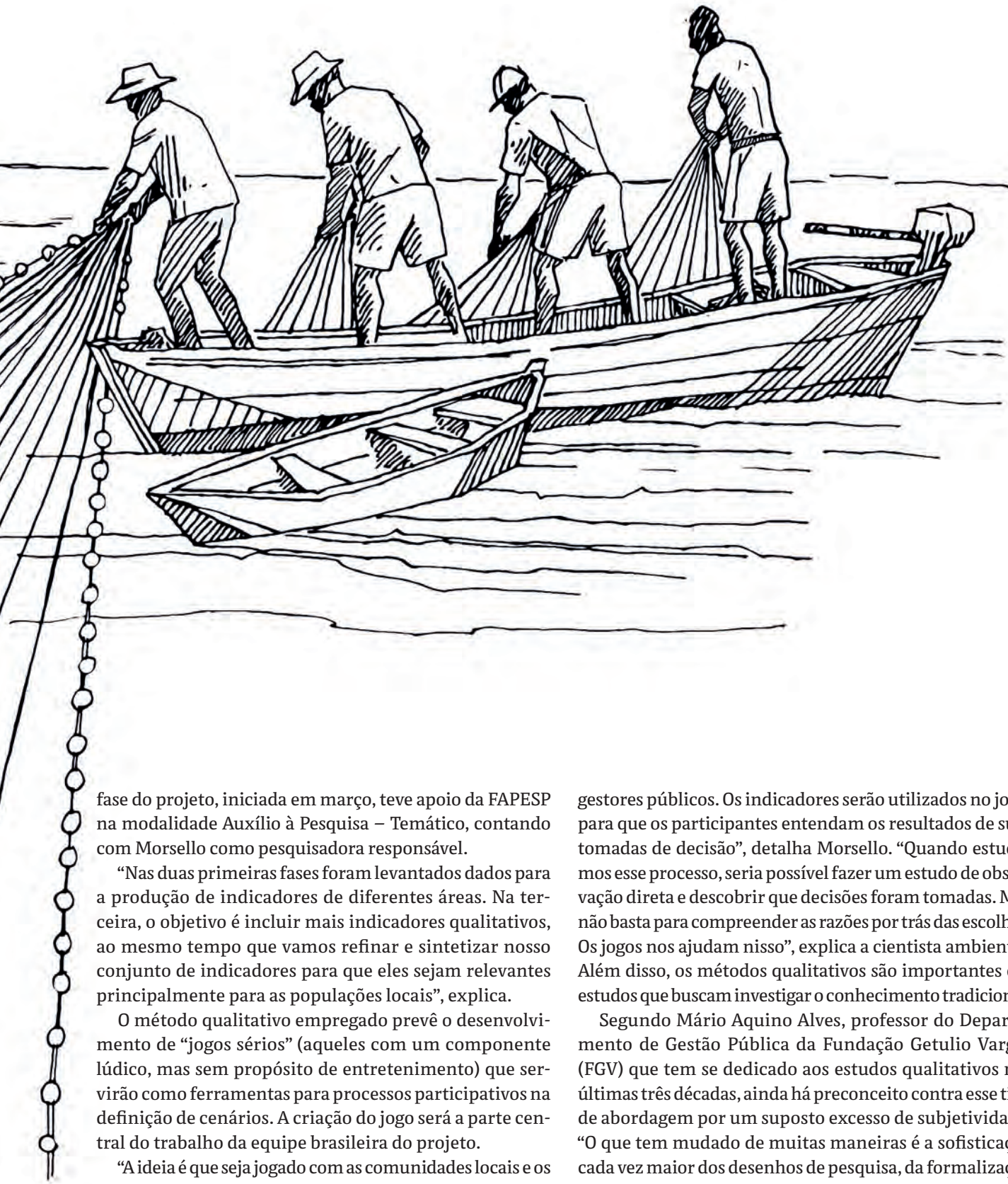
O objetivo da pesquisa era fazer um "diagnóstico clínico-político" sobre o sofrimento psíquico de estudantes, que poderá ajudar a Unicamp a aperfeiçoar suas políticas. A perspectiva clínico-política leva em conta que o sofrimento mental não é um problema puramente individual ou biológico, mas um produto das dinâmicas institucionais no contexto do neoliberalismo.

A metodologia mista permitiu identificar, por exemplo, o sofrimento produzido por uma ideia de que todos precisam ser empreendedores, ou pelas dificuldades de conciliação entre trabalho doméstico, maternidade e universidade.

A inclusão de uma abordagem quantitativa foi uma inovação para os psicanalistas da Unicamp, mas, em outros campos do conhecimento, como a área ambiental, há uma tendência ao pluralismo metodológico, e a abordagem mista é predominante. É o caso do Projeto Duramaz 3, que busca compreender como as mudanças produzidas em nível local por projetos de desenvolvimento sustentável podem impulsionar transformações socioambientais de grande escala na Amazônia. Parte de um programa internacional iniciado em 2007, que envolve diversas universidades do Brasil e da França, o projeto está em sua terceira fase.

"A iniciativa examina as transições socioambientais em 15 regiões da Amazônia. A ideia é compreender por que alguns territórios adotam uma trajetória de desenvolvimento sustentável e outros a de degradação", explica Carla Morsello, professora da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP). A terceira





fase do projeto, iniciada em março, teve apoio da FAPESP na modalidade Auxílio à Pesquisa – Temático, contando com Morsello como pesquisadora responsável.

"Nas duas primeiras fases foram levantados dados para a produção de indicadores de diferentes áreas. Na terceira, o objetivo é incluir mais indicadores qualitativos, ao mesmo tempo que vamos refinar e sintetizar nosso conjunto de indicadores para que eles sejam relevantes principalmente para as populações locais", explica.

O método qualitativo empregado prevê o desenvolvimento de "jogos sérios" (aqueles com um componente lúdico, mas sem propósito de entretenimento) que servirão como ferramentas para processos participativos na definição de cenários. A criação do jogo será a parte central do trabalho da equipe brasileira do projeto.

"A ideia é que seja jogado com as comunidades locais e os gestores públicos. Os indicadores serão utilizados no jogo, para que os participantes entendam os resultados de suas tomadas de decisão", detalha Morsello. "Quando estudamos esse processo, seria possível fazer um estudo de observação direta e descobrir que decisões foram tomadas. Mas não basta para compreender as razões por trás das escolhas. Os jogos nos ajudam nisso", explica a cientista ambiental. Além disso, os métodos qualitativos são importantes em estudos que buscam investigar o conhecimento tradicional.

Segundo Mário Aquino Alves, professor do Departamento de Gestão Pública da Fundação Getulio Vargas (FGV) que tem se dedicado aos estudos qualitativos nas últimas três décadas, ainda há preconceito contra esse tipo de abordagem por um suposto excesso de subjetividade. "O que tem mudado de muitas maneiras é a sofisticação cada vez maior dos desenhos de pesquisa, da formalização

dos procedimentos e da interpretação de dados. Temos protocolos muito mais específicos para todas as fases da pesquisa."

Todo trabalho científico tem um grau de subjetividade, segundo ele, já que envolve escolhas: que perguntas fazer, qual modelo será usado, como será montada a base de dados. Na pesquisa qualitativa, porém, isso é mais visível porque há a necessidade de interpretar as evidências. "Só que interpretar não significa que haja arbitrariedade. Há um rigor em tornar o processo transparente", explica.

Teias da desinformação

Um exemplo desse rigor é o estudo atualmente conduzido por Alves sobre a associação entre a desinformação sobre vacinas e a redução da cobertura vacinal nos últimos anos no Brasil. Parte de uma pesquisa feita pelo Laboratório de Estudos sobre Desordem Informacional e Políticas Públicas da FGV, com apoio do CNPq, o projeto também teve apoio da FAPESP na modalidade Auxílio à Pesquisa – Pesquisador Visitante Internacional, para garantir a participação do psicólogo social Lupicínio Iniguez Reda, da Universidade Autônoma de Barcelona, que é especialista em análise do discurso.

"Montamos o projeto para tentar entender como emergem esses discursos antivacina em grupos de teorias conspiratórias, com dados obtidos no Telegram. Esse aplicativo tem uma característica interessante, a presença de grupos abertos públicos, totalmente rastreáveis", diz o pesquisador. O grupo desenvolveu um mecanismo capaz de rastrear as comunidades e identificar conteúdos antivacina. "Uma análise quantitativa pode mostrar que tipo de discurso está crescendo, mas a qualitativa nos ajuda a entender por que essas narrativas se tornam convincentes", explica Alves.

A pandemia de Covid-19 foi acompanhada de uma queda drástica da vacinação infantil, que só começou a ser revertida a partir de 2024. Mas, mesmo antes da pandemia, entre 2013 e 2020, o percentual de bebês brasileiros de até 12 meses vacinados caiu de mais de 90% para menos de 68%. Esse fenômeno também foi acompanhado de um aumento da desinformação. Só entre 2019 e 2021, os posts com narrativas antivacina aumentaram 689 vezes, de acordo com os estudos dos pesquisadores da FGV que



O EMPREGO DA IA TAMBÉM FACILITA A PESQUISA QUALITATIVA AO PERMITIR O TRABALHO COM VOLUME MAIOR DE TEXTOS, VÍDEOS E ÁUDIOS

> “O que tem mudado de muitas maneiras é a sofisticação cada vez maior dos desenhos de pesquisa, da formalização dos procedimentos e da interpretação de dados”
>
> **Mário Aquino Alves**
> professor do Departamento de Gestão Pública da Fundação Getulio Vargas (FGV)

> “Quando estudamos esse processo, seria possível fazer um estudo de observação direta e descobrir que decisões foram tomadas. Mas não basta para compreender as razões”
>
> **Carla Morsello**
> professora da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP)

analisaram mais de 80 milhões de postagens, feitas em 1.785 grupos no Telegram.

O estudo atual também busca entender o efeito dessas narrativas sobre pessoas em situação vulnerável. Para isso foram montados dois grupos de controle: um em Guapiruvu, bairro rural do município paulista de Sete Barras, no Vale do Ribeira, e o outro numa comunidade em situação vulnerável na zona Sul da cidade de São Paulo. “No grupo de Guapiruvu, todos têm celular, mas não têm acesso à internet, porque não há cobertura. Já o grupo da zona Sul tem total conectividade”, conta Alves. Com a ajuda do professor da Universidade Autônoma de Barcelona, os pesquisadores usam a análise do discurso para interpretar qualitativamente os conteúdos que circulam.

“A cobertura vacinal em Guapiruvu é muito alta. Em uma área com fortes laços comunitários, por ser muito dependente de políticas públicas, o discurso de descrença no Estado parece que não faz sucesso. Já na zona Sul, apesar da situação vulnerável, há menos laços comunitários, e as teorias conspiratórias tendem a penetrar mais”, explica Alves.

“Outro achado é que os interesses em jogo por trás da desinformação não são necessariamente homogêneos. Há interesses econômicos, conexões religiosas ou ideológicas. Não há um único elemento que seja preponderante”, diz o pesquisador, que também faz parte do núcleo de Cidades do Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão (CEPID) da FAPESP sobre Governança de Mudanças Ambientais Globais.

Para Alves, nem toda pesquisa precisa de métodos qualitativos ou mistos, mas eles têm permitido que os pesquisadores trabalhem com perguntas mais complexas, que há poucos anos nem poderiam ser propostas. Segundo ele, mais recentemente, os pesquisadores têm integrado a inteligência artificial (IA) a essas abordagens.

“A IA está mudando muito a pesquisa qualitativa, e para melhor. Hoje conseguimos trabalhar não apenas com volumes de texto imensos, mas com vários tipos de documentos e outras formas de interação digital, incluindo vídeo e áudio, cuja análise seria totalmente impossível cinco anos atrás.” ●

As origens e a lógica do grupo-controle

O caso da polilaminina traz à tona o debate sobre as regras que governam os testes de medicamentos e em que contextos eles podem ser flexibilizados

✻ Por **Letícia Naísa** e **Sofia Moutinho**

Em fevereiro deste ano, na estreia do jornalista Ernesto Paglia à frente do programa *Roda Viva*, da TV Cultura, os holofotes recaíram sobre a cientista Tatiana Sampaio. A especialista da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) estava em destaque desde meados de 2025, quando começaram a circular reportagens sobre sua pesquisa com a polilaminina, uma molécula que, em estudos iniciais, mostrou indícios de que poderia ser usada para tratar lesões medulares. Na berlinda, Sampaio foi questionada sobre a necessidade de submeter a substância a estudos clínicos controlados. "Vamos supor que esses 30 pacientes todos voltem a andar. Você teria coragem de fazer um estudo clínico controlado?", rebateu a pesquisadora.

As declarações reacenderam um debate que atravessa a história da ciência: quando é possível (ou aceitável) dispensar um estudo nesse formato? Atualmente, pesquisas clínicas randomizadas com grupo-controle são consideradas uma metodologia padrão-ouro, ou seja, a mais confiável para descobrir se um tratamento é realmente eficaz, mesmo com os dilemas éticos que a rondam. Mas nem sempre foi assim.

"Existe a impressão de que se trata de uma metodologia atemporal. Mas, na verdade, é algo muito recente", aponta Luiz Alves Araújo Neto, pesquisador da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e professor de história da medicina na Casa de Oswaldo Cruz. "Até o século 19, o processo de introdução de novas tecnologias e medicamentos era essencialmente clínico: as terapias eram testadas caso a caso", explica o historiador.

Foi no século 20 que esse jeito de fazer as coisas passou a ser questionado e uma nova forma de produção de conhecimento na medicina começou a ser aplicada, a do ensaio clínico como o conhecemos hoje, no qual é possível destacar três características: o grupo-controle, a randomização e a ideia de duplo-cego.

Segundo o historiador da Fiocruz, a primeira testagem em massa de que se tem notícia aconteceu em 1910, com o objetivo de avaliar um medicamento contra a sífilis chamado Salvarsan. O teste foi feito em milhares de pessoas, e o remédio funcionou para muitas delas. Mas causava uma série de efeitos colaterais e, em altas doses, era tóxico. Anos depois, foi substituído pela penicilina, que também nunca passou pelo escrutínio de um estudo clínico com grupo-controle, mas foi avaliada em testes com soldados durante a Segunda Guerra Mundial. Nessa época, já se instalava a ideia de que um tratamento precisa funcionar em muitas pessoas para ser validado.

O que era o Salvarsan

Composto orgânico à base de arsênico, foi desenvolvido pelo cientista alemão Paul Ehrlich em colaboração com o bacteriologista japonês Sahachiro Hata. Antes dele, a sífilis era tratada com compostos tóxicos de mercúrio e apresentava altas taxas de mortalidade.

Rota do ensaio clínico

Tratamentos medicamentosos e vacinas devem passar por quatro fases de teste

FASE 1

É testada a segurança do tratamento – poucas pessoas o recebem e são avaliados os efeitos colaterais e as doses toleradas.

FASE 2

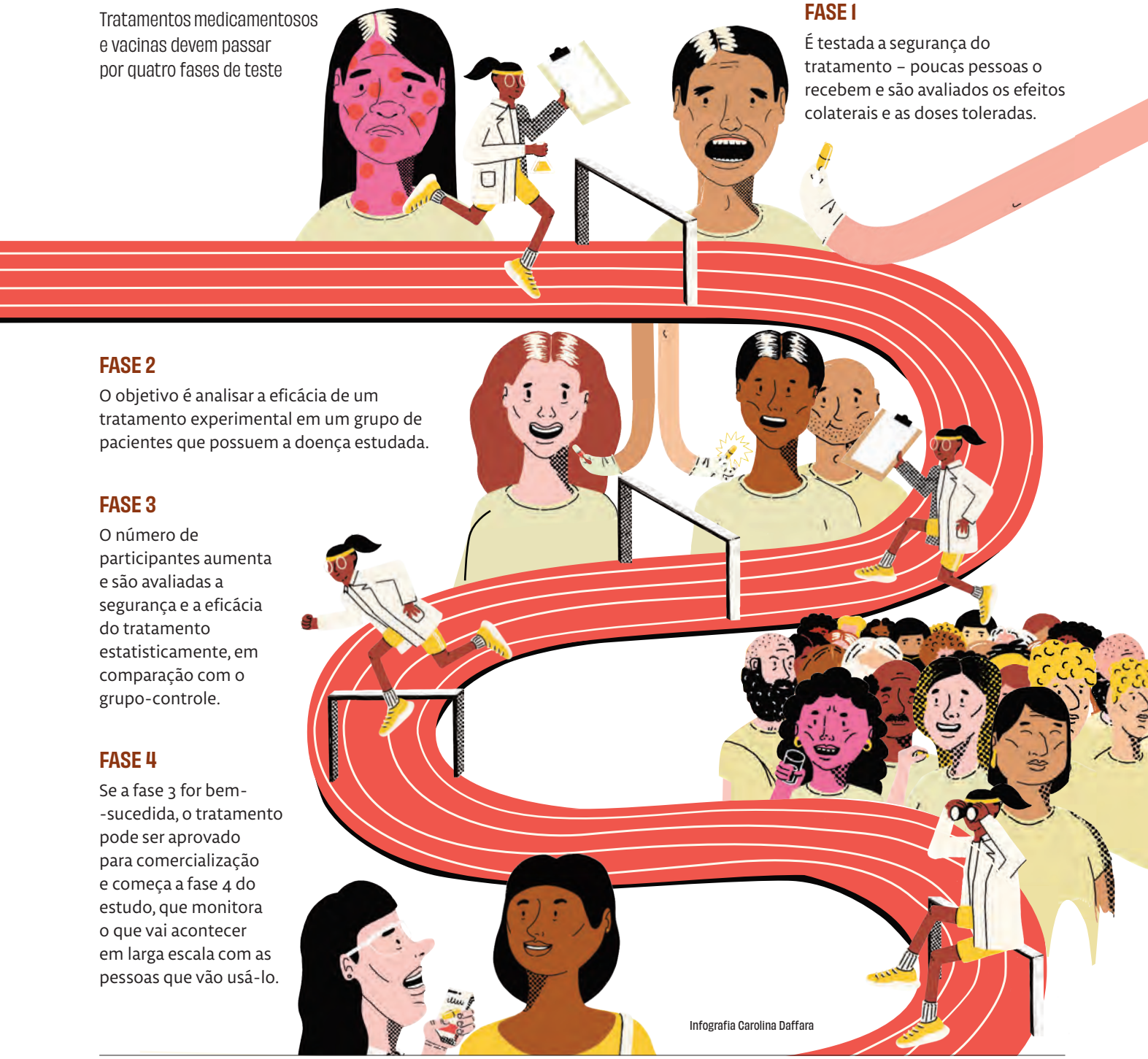
O objetivo é analisar a eficácia de um tratamento experimental em um grupo de pacientes que possuem a doença estudada.

FASE 3

O número de participantes aumenta e são avaliadas a segurança e a eficácia do tratamento estatisticamente, em comparação com o grupo-controle.

FASE 4

Se a fase 3 for bem-sucedida, o tratamento pode ser aprovado para comercialização e começa a fase 4 do estudo, que monitora o que vai acontecer em larga escala com as pessoas que vão usá-lo.



Infografia Carolina Daffara

Pirâmide das evidências científicas

Diferentes formas de buscar conclusões de pesquisa confiáveis

1 METANÁLISES

Compilam e combinam os dados de múltiplos estudos independentes para gerar uma conclusão única e com alto poder estatístico.

2 REVISÕES SISTEMÁTICAS

Mapeiam e avaliam criticamente toda a literatura científica disponível sobre uma pergunta específica, seguindo um método rigoroso e reprodutível.

3 ENSAIOS CLÍNICOS RANDOMIZADOS

Testam intervenções ao dividir os participantes aleatoriamente entre grupos para comparar a eficácia de tratamentos com o mínimo de viés.

4 COORTE/CASO-CONTROLE

Acompanham grupos ao longo do tempo (coorte) ou comparam indivíduos com e sem uma condição específica (caso-controle) para identificar fatores de risco e associações epidemiológicas.

5 ESTUDO TRANSVERSAL/ RELATO DE CASO

Analisam dados de uma população em um único ponto no tempo ou descrevem detalhadamente a experiência clínica de poucos pacientes, sendo ideais para levantar hipóteses iniciais.



Infografia Carolina Daffara

Marco inicial

O marco de nascimento dos ensaios clínicos randomizados modernos é um estudo britânico dos anos 1940 sobre a estreptomicina, um medicamento para tratar a tuberculose, conduzido, entre outros pesquisadores, pelo epidemiologista e estatístico Austin Bradford Hill. Desde 1937, o britânico defendia o método da randomização e de grupos-controle no estudo de tratamentos.

No artigo sobre o ensaio clínico da estreptomicina, Hill e sua equipe justificam a abordagem destacando que, apesar dos resultados animadores da droga no laboratório e em testes com porcos, ainda não se tinha certeza de que o medicamento seria seguro e benéfico para humanos. "O uso de uma nova droga em alguns poucos casos não pode ser aceito como prova de seu efeito", escreveram os cientistas, em 1948, no *British Medical Journal*.

Assim, eles reuniram 107 pacientes e os dividiram em dois grupos: 55 pessoas receberam a estreptomicina, e outras 52, o tratamento vigente até então (repouso absoluto). Foi aplicada a metodologia da randomização, ou seja, os pacientes foram escolhidos aleatoriamente para tomar o remédio (mas não a técnica de duplo-cego). O primeiro grupo recebeu a droga, enquanto ao segundo coube só o tratamento-padrão da época. A avaliação dos resultados foi feita por profissionais que não participaram da aplicação do tratamento e não sabiam quem tinha recebido a estreptomicina.

Seis meses depois, 28 pacientes tratados com o medicamento apresentaram melhora considerável, enquanto quatro do grupo-controle tiveram o mesmo progresso. A taxa de mortalidade no grupo que recebeu a estreptomicina também foi menor. A conclusão dos pesquisadores foi que a droga realmente funcionava e que a metodologia do estudo servia para provar sua eficácia.

"O grupo-controle é uma tentativa de resolver uma questão chamada de problema fundamental da inferência causal", explica o epidemiologista Guilherme Werneck, professor associado do Departamento de Epidemiologia do Instituto de Medicina Social da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Uerj) e professor adjunto do Instituto de Estudos de Saúde Coletiva da UFRJ. Para estabelecer uma relação de causa e efeito entre a aplicação de um medicamento e a cura de uma doença, seria necessário testar a mesma pessoa em condições opostas simultaneamente. Ou seja, em um cenário ela receberia o tratamento e no outro não.

"Obviamente, isso é impossível. Não existe um 'mundo paralelo' em que se possa testar duas coisas na mesma pessoa", aponta Werneck. A opção possível é comparar essa pessoa com outra muito parecida com ela, exceto pelo fato de não ter recebido o tratamento. "Claro que não podemos fazer isso na proporção de uma para um. Tem de ser feito com grupos maiores", diz o epidemiologista. Por isso, os participantes são separados em grupos, um que recebe o tratamento e outro que não o recebe, sendo chamado de grupo-controle.

Poder comparar os dois resultados é fundamental, já que existem três razões principais para a melhora de um paciente, de acordo com o epidemiologista Fredi A. Diaz Quijano,

> **Até o século 19, o processo de introdução de novas tecnologias e medicamentos era essencialmente clínico: as terapias eram testadas caso a caso**
> Luiz Alves Araújo Neto, historiador e pesquisador da Fiocruz

professor associado do Departamento de Epidemiologia da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo e diretor do Laboratório de Inferência Causal em Epidemiologia (Lince-USP).

A primeira delas é a história natural da doença. "Muitas pessoas melhoram espontaneamente", diz Quijano. "Por exemplo, em diversas moléstias infecciosas o corpo tem mecanismos para controlar e reverter a doença. Até em alguns tipos de traumas há mecanismos que fazem com que muitas pessoas melhorem sem a necessidade de nenhuma intervenção", afirma. A segunda abrange fatores inespecíficos, como o efeito placebo ou o impacto psicológico do cuidado e acompanhamento do paciente por uma equipe médica. A terceira razão é o efeito específico de uma intervenção, como um medicamento.

É justamente para separar essa terceira razão das outras que o grupo-controle se faz necessário, já que ele permite isolar e quantificar o mérito de um tratamento. "Sem isso, a hipótese contrária, a de que um medicamento é capaz de fazer mal, também pode ser defendida", diz Werneck. "Sem ele, ficamos sem mecanismo para contrapor as hipóteses."

Padrão-ouro

Ao longo do tempo, a possibilidade de confrontar dados sobre dois grupos de pessoas em condições muito parecidas se transformou na maneira mais confiável de se fazer ciência. Segundo Araújo Neto, o contexto do pós-guerra, no final dos anos 1940, foi marcado pelo avanço dos investimentos em pesquisas biomédicas, especialmente nos EUA, na Inglaterra e na França. Além da discussão mais rigorosa sobre causalidade, havia a preocupação crescente com segurança e regulação de substâncias.

"Nesse momento da história, o debate bioético surge com força, muito associado aos crimes de guerra e ao nazismo", aponta o historiador.

Um dos pontos de virada nos marcos regulatórios foi o desastre da talidomida no final dos anos 1950. A droga foi criada para o tratamento de hanseníase e lúpus, mas passou a ser receitada para tratar enjoos em grávidas. Com o tempo, viu-se que ela estava causando más-formações congênitas em milhares de bebês. A empresa alemã responsável pelo medicamento foi processada, assim como governos que disponibilizaram o medicamento.

Por causa disso, em 1962, uma emenda à legislação norte-americana foi aprovada e passou a exigir a comprovação de eficácia por meio de estudos controlados antes da aprovação de qualquer novo medicamento. O modelo regulatório se espalhou pelo mundo, inclusive para o Brasil. Hoje, órgãos como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) só autorizam a circulação de um novo fármaco após estudos clínicos randomizados com grupo-controle.

"Os ensaios clínicos mudaram a lógica de autoridade dentro da medicina, que sempre foi do médico", aponta Araújo Neto. A produção de dados e a atuação de outros profissionais quanto à segurança e eficácia de tratamento deslocam essa autoridade para outras disciplinas biomédicas, estruturando a medicina baseada em evidências.

UM DOS PONTOS DE VIRADA NOS MARCOS REGULATÓRIOS FOI O DESASTRE DA TALIDOMIDA NO FINAL DOS ANOS 1950. A DROGA CRIADA PARA TRATAR HANSENÍASE E LÚPUS PASSOU A SER RECEITADA PARA ENJOOS EM GRÁVIDAS. CAUSOU MÁS-FORMAÇÕES CONGÊNITAS EM MILHARES DE BEBÊS

Tensões pandêmicas

Transformar o ensaio clínico em metodologia-padrão não foi um processo livre de tensões, especialmente em momentos de crise, como a da Aids. Nos anos 1980, a comunidade LGBTQIAP+ nos EUA pressionou

MARCO INICIAL
Estudo britânico da estreptomicina para tratamento da tuberculose (1948)

107 pacientes
divididos em dois grupos: 55 receberam o medicamento, e 52 seguiram apenas o tratamento-padrão da época (repouso absoluto)

28 x 4
pacientes com melhora considerável — no grupo tratado contra o grupo-controle, seis meses depois

OS TRÊS PILARES DO ENSAIO CLÍNICO MODERNO
- Grupo-controle
- Randomização
- Duplo-cego

as autoridades para acelerar os protocolos de testagem do AZT, primeiro antirretroviral aprovado contra o HIV. O tempo exigido pela ciência não acompanhava a velocidade com que a doença matava. "Surge um confronto entre a racionalidade da produção de conhecimento e a urgência de quem está morrendo", explica Araújo Neto.

Em 2020, a pandemia de Covid-19 criou dilemas parecidos. O caso da hidroxicloroquina evidenciou o custo de abrir mão do rigor metodológico em nome da urgência. Estudos iniciais em laboratório apontaram que a droga poderia inibir o coronavírus, mas foram os estudos clínicos randomizados de grande porte que produziram evidências robustas de que não havia benefícios do medicamento nesses casos. Ainda assim, o uso do fármaco foi politizado, e experimentos feitos in vitro estimularam a desinformação.

Mesmo sob pressão do tempo e da ética, os estudos com grupo-controle foram mantidos, ainda que sofrendo modificações. Uma vez comprovada a eficácia das vacinas em análises preliminares, as empresas farmacêuticas deveriam oferecê-las aos voluntários do grupo placebo, que seriam informados sobre ter recebido substâncias inócuas por questões éticas — o que não acontece em um estudo clínico observacional. "Em meio à ausência de opções, foi muito tentador abandonar o rigor em nome de uma ação imediata, mas houve persistência da comunidade científica, o que permitiu definir o que funcionava ou não", avalia o epidemiologista Fredi Quijano, da USP.

Para resolver certos problemas metodológicos da comparação de grupos de tratamento, os ensaios clínicos incorporaram alguns procedimentos. O primeiro é a randomização: os grupos são separados de forma aleatória, não se escolhe quem vai receber uma intervenção e quem não vai. O segundo é o método do duplo-cego. Nem o paciente nem o profissional de saúde sabem quem está recebendo remédio ou placebo. A ideia é que os dois princípios garantam a comparabilidade e a avaliação imparcial.

São também cada vez menos comuns os casos em que pessoas que fazem parte de grupos-controle fiquem totalmente sem tratamento. "Para doenças em que já existe alguma opção, o grupo-controle vai receber o melhor disponível naquele momento", afirma Werneck. Esse tipo de exigência está formalizado na Declaração de Helsinque, adotada pela Associação Médica Mundial em 1964 e emendada dez vezes desde então. A garantia do melhor tratamento a todo participante, inclusive do grupo-controle, é de 1975, e a palavra placebo só entrou em 1996. Desde 2008, o texto admite o placebo por razões metodológicas sólidas e apenas quando não houver risco de dano sério ou irreversível. O Código de Ética Médica brasileiro é ainda mais restritivo: proíbe qualquer vínculo de médicos com estudos que usem placebo como única intervenção sempre que houver medida terapêutica eficaz disponível.

Ao incorporar um novo tratamento, é preciso que o ensaio clínico também avalie possíveis consequências prejudiciais aos pacientes e, em alguns casos, o estudo pode ser interrompido. "Nos casos de HIV, os primeiros antivirais eram muito menos eficazes e muito mais traumáticos. O paciente podia não morrer de HIV, mas poderia ficar cego, por exemplo", lembra Werneck. "Os ensaios têm um tempo de duração e um comitê externo que acompanha e pode sugerir a interrupção, seja pela demonstração da eficácia, seja por efeitos colaterais maiores."

O fim de um ensaio clínico também não significa o fim da avaliação do tratamento. É para isso que existem os estudos clínicos de fase 4 ou pós-comercialização, nos quais grandes números de pacientes são monitorados para analisar os efeitos de um fármaco usado em massa. Nesse caso, os pesquisadores geralmente recorrem a estudos observacionais, que

Declaração de Helsinque

Foi criada em 1964 pela Associação Médica Mundial (WMA) para determinar princípios éticos na prática da medicina e da pesquisa clínica. Veja alguns destaques das mudanças ao longo do tempo

1964

- Distingue "pesquisa clínica" (finalidade terapêutica) de "pesquisa não terapêutica" (puramente científica)
- Permite combinar pesquisa e cuidado clínico, se houver valor terapêutico justificável para o paciente
- Consentimento deve ser obtido, de preferência por escrito. Em incapacidade legal, do responsável
- Não faz nenhuma menção a placebo ou grupo-controle
- Pesquisa deve ser interrompida se houver risco de dano ao indivíduo, a critério do investigador

1975

- Separa "pesquisa médica combinada com cuidado profissional" de "pesquisa biomédica não terapêutica"
- Exige submissão do protocolo a um comitê independente, para comentário e orientação. Todo paciente de um estudo – "incluindo os do grupo-controle" – deve ter acesso ao melhor método comprovado até o momento
- Ainda não cita placebo
- Consentimento passa a ser chamado de "informed consent"

1983

- Mantém a estrutura e a cláusula de grupo-controle de 1975, sem alteração substantiva

1989

- Reforça a independência do comitê: deve estar em conformidade com leis do país da pesquisa
- Mantém a cláusula de 1975 sobre acesso do grupo-controle ao melhor método comprovado
- Ainda sem menção a placebo; sem mudanças estruturais relevantes ao desenho do ensaio

1996

- Primeira aparição da palavra "placebo" no texto
- Mantém a garantia de melhor método ao grupo-controle, mas permite "placebo inerte" quando não há método comprovado
- Distingue pesquisa com finalidade terapêutica para o paciente de pesquisa puramente científica
- Consentimento exige informar o direito de recusar ou se retirar do estudo a qualquer momento

2000

- O placebo só é aceitável quando não existe método comprovado; o novo método deve ser testado contra o melhor já comprovado
- Amplia o escopo da "pesquisa médica" para incluir material humano identificável e dados
- Ao final do estudo, todo paciente deve ter acesso ao melhor método identificado como benéfico

2002

- Anexa nota reafirmando que ensaios com placebo exigem extremo cuidado. Placebo é aceitável mesmo havendo terapia comprovada por razões metodológicas sólidas, ou em condição menor, sem risco adicional de dano grave/irreversível

2004

- Adiciona nota sobre acesso pós-estudo: reafirma que o protocolo deve prever, desde o planejamento, o acesso dos participantes aos métodos benéficos após o fim do ensaio

2008

- Exige que todo ensaio clínico seja registrado em banco de dados público antes do recrutamento do primeiro sujeito
- Incorpora a nota de 2002 ao corpo principal (§32), mudando o conector de "ou" para "e", tornando a exceção de placebo mais rígida
- Fortalece a publicação de resultados negativos e inconclusivos, não só positivos

2013

- Remove a palavra "corrente" da condição de ausência de método comprovado; especifica que o risco a evitar é de dano grave ou irreversível
- Reforça o poder do comitê de ética de monitorar estudos e exigir informações sobre eventos adversos graves
- Mantém o registro público antes do recrutamento e adiciona compensação a participantes prejudicados

2024

- Comitês de ética passam a exigir recursos suficientes, familiaridade local e ao menos um membro leigo; pesquisa internacional exige aprovação do país patrocinador e do anfitrião
- Fortalece o registro público: mantém a exigência antes do recrutamento, agora falando em "medical research", não só "clinical trial"

ajudam a identificar efeitos colaterais raros ou benefícios adicionais que não foram percebidos nos ensaios clínicos menores.

Exceções à regra

Existem algumas circunstâncias em que pode ser aplicado o chamado uso compassivo de uma substância ainda sem evidências robustas. É algo que acontece em tratamentos experimentais, fora de um estudo clínico. São situações em que os pacientes não podem esperar o tempo necessário para a conclusão de um estudo mais rigoroso e não há outras opções terapêuticas disponíveis. Nesses casos, protocolos experimentais podem ser aplicados fora do desenho de um ensaio clínico randomizado.

Outro cenário de exceção é quando uma doença é rara demais para reunir participantes suficientes para um ensaio clínico. Foi o que aconteceu com a molécula larotrectinibe, aprovada pela Anvisa em 2019 para uso em tumores que carregam fusões do gene *NTRK*, bastante raros, sem estudo com braço controle.

Um caminho intermediário acontece na oncologia. Nos EUA, a FDA, a agência reguladora de medicamentos, faz aprovações aceleradas baseadas em estudos de fase 2 quando resultados preliminares se mostram promissores. Um levantamento publicado na revista científica *Journal of the American Medical Association (Jama)* em 2022 mostra que, entre 176 medicamentos de hematologia e oncologia aprovados pela FDA por esse modelo, 38% tiveram o benefício confirmado posteriormente, mais da metade ainda aguardava confirmação e 9% acabaram retirados do mercado depois que o estudo controlado revelou que o efeito inicial não se sustentava. "No Brasil, a Anvisa costuma ser mais conservadora nesse ponto, aguardando os estudos confirmatórios antes de liberar o uso amplo", diz o oncologista Gilberto de Castro Junior, do Instituto do Câncer do Estado de São Paulo (Icesp).

No Brasil, a Anvisa costuma ser mais conservadora nesse ponto, aguardando os estudos confirmatórios antes de liberar o uso amplo
Gilberto de Castro Junior, do Instituto do Câncer do Estado de São Paulo (Icesp)

Fora da medicina

A ideia de comparar dois mundos paralelos para encontrar relações de causalidade nunca ficou restrita ao campo biomédico. Ao longo do século 20, as ciências sociais também passaram a aplicar a metodologia. "Em educação, saúde e demais políticas públicas, é basicamente o que diferencia uma avaliação bem feita de uma pouco confiável", afirma Naercio Menezes Filho, professor titular da Cátedra Ruth Cardoso, no Insper, e professor associado da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da USP. Sem um grupo para comparação, é impossível distinguir os efeitos de uma política de outros fatores que afetam uma população.

A metodologia também é aplicada de maneira randomizada e enfrenta dilemas éticos similares, principalmente em situações de urgência, como a pandemia. A política do auxílio emergencial adotada no Brasil, por exemplo, não passou por experimentos com grupo-controle, já que não seria ético fazer as pessoas esperarem pelo benefício naquele contexto.

Seja no uso da polilaminina, seja na aplicação de uma política pública, a pergunta que ronda os estudos com grupo-controle é sempre a mesma: a melhora se deve à intervenção aplicada ou ela teria acontecido de qualquer forma? A resposta raramente é simples. Nos anos 1960, o filósofo da ciência Thomas Kuhn defendeu que um paradigma científico só cai por terra quando surge outro capaz de explicar melhor uma anomalia. É por isso que o grupo-controle resiste: não porque seja perfeito, mas porque, até agora, ninguém propôs um substituto à altura.

O triunfo da VIOLA no campo e na cidade

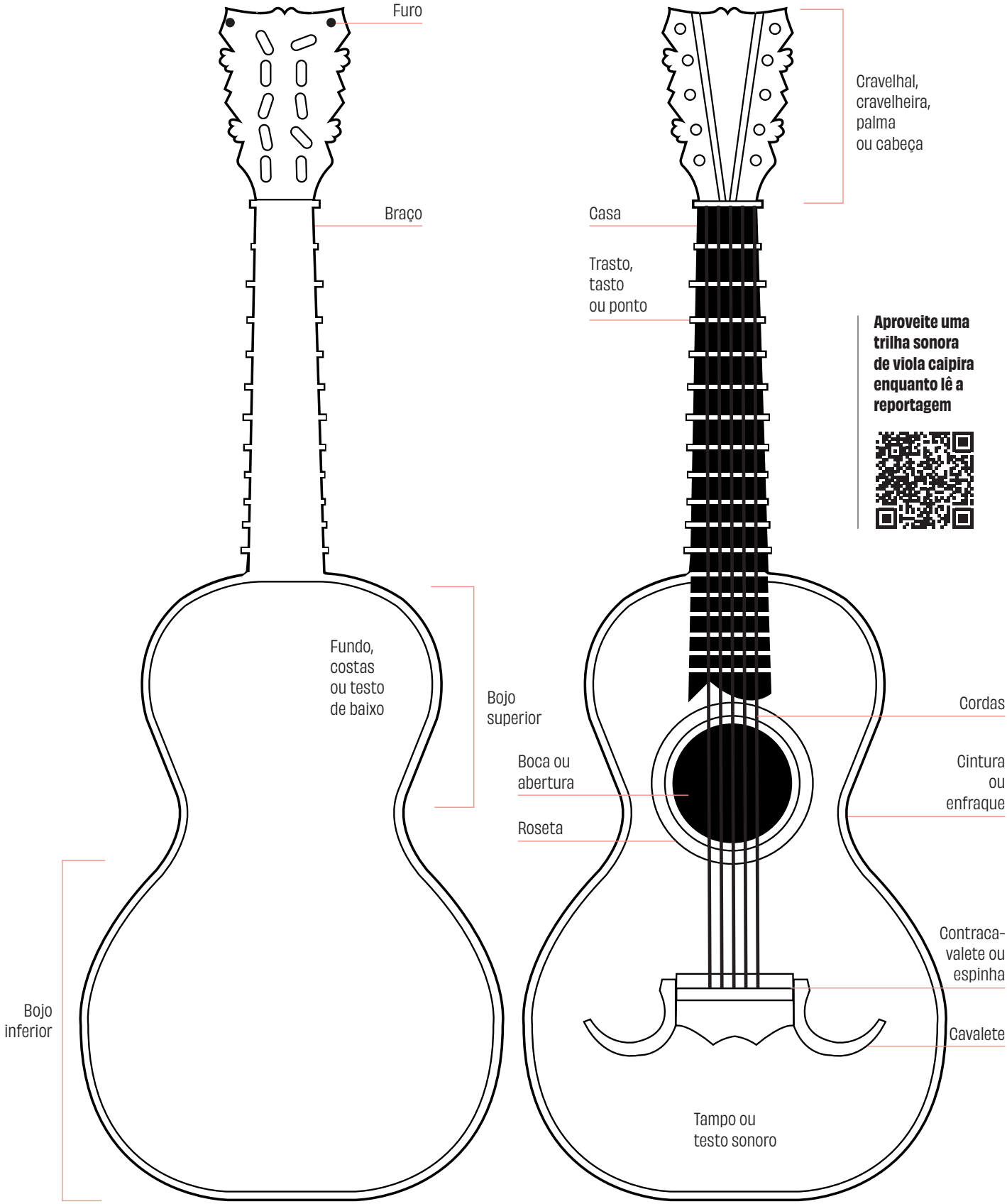
Livro oriundo de tese de doutorado multipremiada conta como o instrumento se confunde com as transformações da história brasileira, dos jesuítas e poetas às celebridades atuais

✻ Por **Eduardo Magossi**
✻ Ilustrações **William Mur**

O que os jesuítas, os bandeirantes, o poeta barroco Gregório de Matos (1636-1696) e o cantor sertanejo e celebridade Gusttavo Lima têm em comum? Mesmo separados por séculos, todos tiveram uma viola em suas mãos. Mais que um simples instrumento, a viola é uma chave para compreender a formação social do Brasil, principalmente no interior do país.

Introduzida por missionários jesuítas vindos de Portugal logo após o descobrimento, no século 16, ela começou sua trajetória na colônia, sendo utilizada na catequese dos povos originários. Depois, foi adotada pela população das nascentes áreas urbanas e dedilhada em festas populares e religiosas. Aos poucos, foi se embrenhando território adentro, acompanhando bandeirantes e tropeiros, tornando-se um símbolo da identidade do Brasil rural que vem se transformando e se expandindo ao longo do tempo, sem perder seu caráter de organizadora das relações sociais, do modo de vida e das formas de pertencimento das comunidades rurais.

"Desde sua chegada com os portugueses, a viola se ambientou bem no solo brasileiro, foi se acaipirando, até se tornar símbolo de uma sociedade, de uma matriz cultural. E, com as primeiras gravações, a partir de 1929, ela deu origem a um gênero, a música caipira, que sobrevive até



Aproveite uma trilha sonora de viola caipira enquanto lê a reportagem

A música popular ainda é a grande cronista dos povos que não tiveram outra maneira de registrar a sua história, como os caipiras, os sambistas favelados do início do século 20, os retirantes nordestinos. O que saberíamos de sua vida se não fossem suas músicas? E, na maioria dos casos, a viola está inserida nesse cenário

Ivan Vilela, violeiro e professor livre-docente da Escola de Comunicações e Artes da USP

hoje", resume Luiz Antonio Guerra, violeiro, sociólogo, cientista político e professor da Universidade Federal de Goiás (UFG), que acaba de lançar o livro *Uma sociologia da viola caipira* (Edusp, 2026), baseado em sua tese de doutorado. Defendida em 2021, a tese ganhou o Prêmio Silvio Romero de melhor monografia sobre cultura popular, o Prêmio Capes 2022 e o Prêmio Destaque USP 2022.

Com subtítulo *Os mestres de ontem e de hoje*, o livro é dividido em duas partes. Na primeira, Guerra apresenta o alicerce histórico da introdução da viola no Brasil pelos colonizadores e narra sua transição de instrumento de centros urbanos para o mundo rural em meio às transformações socioeconômicas.

"Quando as violas chegaram aqui com os navegadores e jesuítas, elas não eram padronizadas pela fabricação industrial. Essa variabilidade continuou existindo no Brasil. Como o instrumento seguiu o caminho da colonização, a viola de cada região tem uma forma específica de fabricação, afinação e repertório. Era comum o próprio violeiro construir seu instrumento artesanalmente", diz Guerra.

Aquela que acompanhou os bandeirantes e tropeiros para o interior de São Paulo, Minas Gerais e Goiás ficou conhecida como viola caipira, objeto de estudo do sociólogo. Já no Recôncavo Baiano, por exemplo, a viola machete é instrumento importante no samba de roda, sendo considerada patrimônio cultural pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan). "É uma violinha pequena, tocada de forma totalmente diferente da caipira", explica o pesquisador. No fim dessa fase inicial, surgem as primeiras fábricas brasileiras de violas padronizadas, a Del Vecchio e a Giannini, fundadas em São Paulo na virada do século 19 para o 20, na esteira do aumento da imigração de italianos, conta Guerra.

Na segunda parte do livro, o autor demonstra como a trajetória da viola acompanha transformações sociais mais amplas, especialmente o êxodo rural que marcou o Brasil ao longo do século 20. A migração de populações interioranas para grandes cidades levou consigo práticas culturais, entre elas a viola caipira, que passou a ocupar novos espaços e adquirir novos significados.

"Já na cidade, os migrantes do campo usavam a música caipira para expressar sua nostalgia e saudade da vida de outrora", diz ele. Se antes era um símbolo quase exclusivo da vida rural, a viola passou a ecoar em um novo ambiente, formado por palcos urbanos, universidades, festivais contemporâneos e produções fonográficas que misturam tradição e experimentação. Para montar esse cenário, Guerra entrevistou mais de 60 violeiros, que preservam técnicas tradicionais de afinação, toques e repertório, ao mesmo tempo que dialogam com outras linguagens musicais, como a MPB, o rock e a música instrumental.

Nesse diálogo, segundo o pesquisador, a música caipira passa a ser chamada de sertaneja. Nessa fase, ela se

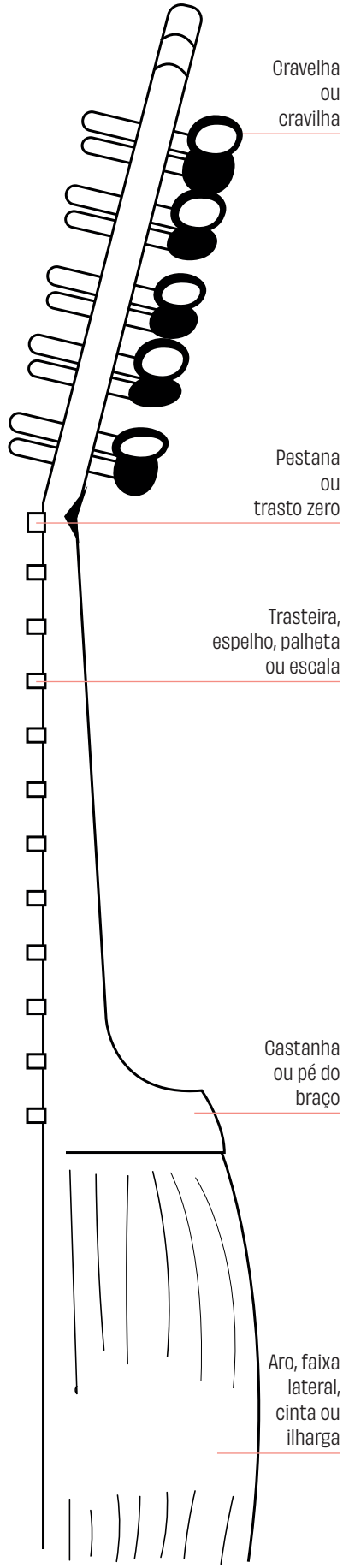
diferencia da caipira por absorver instrumentos e arranjos urbanos e tratar de temas mais universais, longe do universo rural. "Os violeiros contemporâneos também são mediadores entre mundos, o rural e o urbano, o tradicional e o moderno, o oral e o acadêmico", explica.

Lima e a viola

Um exemplo é o cantor e celebridade Gusttavo Lima, um dos entrevistados do livro. Nascido em família pobre, acompanhava seu pai na Folia de Reis e mais tarde tocou viola caipira em um trio com seus irmãos. A partir de 2010, tornou-se símbolo do sucesso da música sertaneja nas baladas urbanas. Embora não utilize o instrumento tradicional em suas gravações, Lima afirmou que ele é a base de sua formação musical e costuma tocá-la pontualmente em suas apresentações ao vivo.

"Ele se considera um herdeiro do Tião Carreiro [1934-1993], um dos principais expoentes da viola caipira", conta o autor. Com base nisso, Guerra conclui que mesmo os principais artistas sertanejos, que protagonizam as grandes transformações estéticas no gênero com inclusão de novas sonoridades e elementos culturais urbanos, têm sido um dos principais vetores de difusão da prática da viola caipira.

O livro é prefaciado por Ivan Vilela, também violeiro e professor livre-docente da Escola de Comunicações e Artes da USP. Compositor com 20 discos gravados, Vilela foi ainda o responsável pela criação do bacharelado em Viola Caipira na universidade, a partir de 2005. "Um instrumento com mais de 800 anos de idade só foi ter um curso superior dedicado a ele no século 21", observa.



Segundo Vilela, a viola é uma moderadora do surgimento das relações dentro das culturas populares no Brasil. "A música popular ainda é a grande cronista dos povos que não tiveram outra maneira de registrar a sua história, como os caipiras, os sambistas favelados do início do século 20, os retirantes nordestinos. O que saberíamos de sua vida se não fossem suas músicas? E, na maioria dos casos, a viola está inserida nesse cenário."

O músico destaca o fato de que gravuras de viajantes e quadros de pintores do século 19 retratam apenas pessoas do povo tocando viola, as quais aparecem nas pinturas de violeiros de Almeida Júnior (1850-1899) e Oscar Pereira da Silva (1867-1939). Vilela nota que, quando é uma pessoa branca que está se apresentando nas imagens, ela não toca viola, e sim bandola, um instrumento cuja porção inferior é arredondada, quase circular — está presente nas gravuras de Johann Moritz Rugendas (1802-1858) e Jean-Baptiste Debret (1768-1848). "Quando o personagem é pobre ou negro, é uma viola que ele está tocando. Assim, a viola acaba trazendo junto com ela um traço cultural e étnico dos locais onde está ligada a esses grupos", afirma.

Até meados do século 19, a viola era o principal acompanhamento dos cantores. "Ela cumpria o papel que o violão tem hoje. E eu sempre vi a viola como um instrumento de



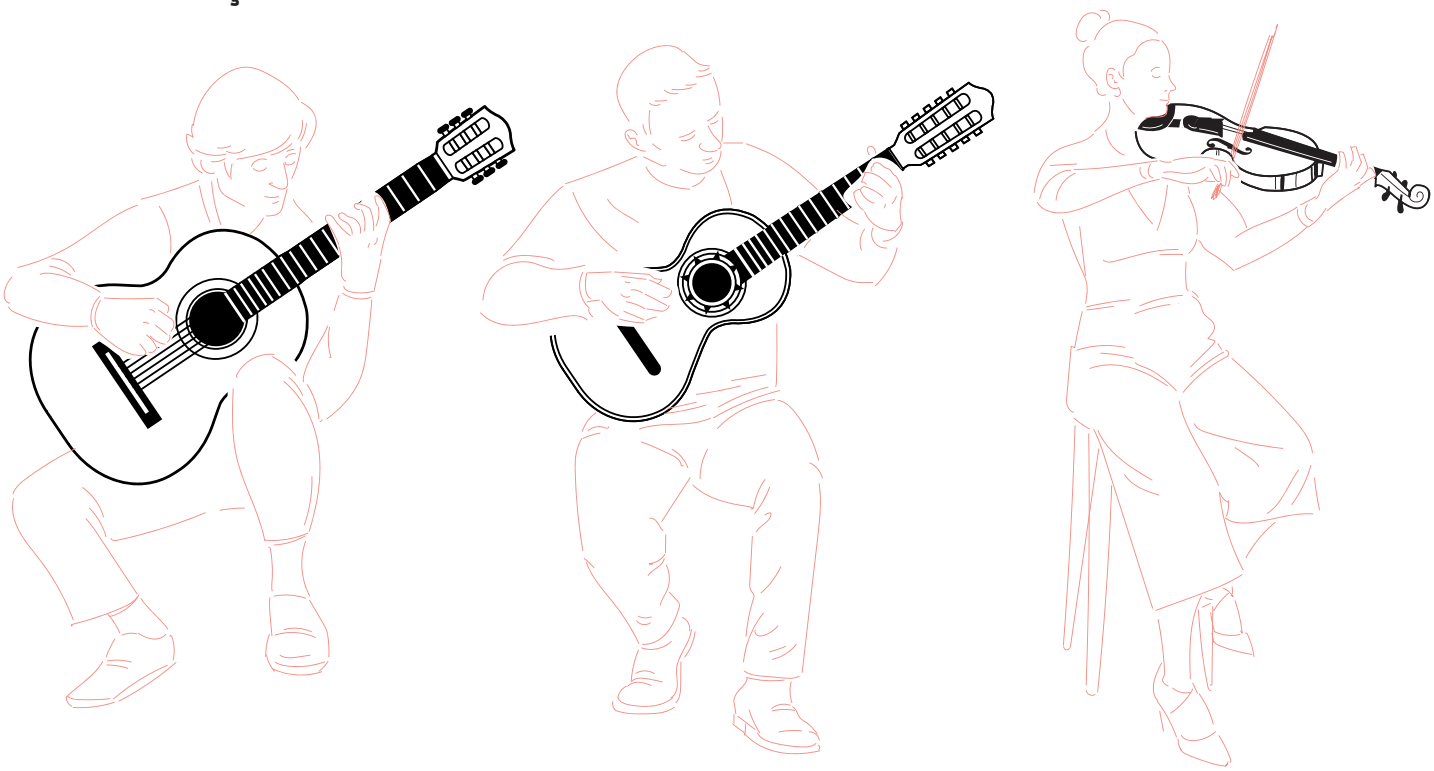
Cornélio Pires, pioneiro na gravação de viola caipira, em apresentação no início do século 20 Acervo Pedro Massa/Instituto Cornélio Pires

uma difusão bastante democrática, permeando todas as classes sociais. A historiadora Isabel Lustosa comenta que dom Pedro 1º [1798-1834] tocava viola. O padre José Maurício Nunes Garcia [1767-1830] a usava em suas aulas de música porque não tinha um cravo [instrumento semelhante a um piano]. O biógrafo do poeta Gregório de Matos afirma que ele próprio tinha feito a viola que tocava", conta Marcia Taborda, violonista e professora da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Já o violão chega ao Brasil trazido pela família real portuguesa, que foge para o Rio de Janeiro em 1808 para escapar das forças invasoras do imperador francês Napoleão Bonaparte (1769-1821). Chamado de "guitarra francesa", o instrumento aos poucos foi ocupando o lugar que a viola tinha nas cidades. Mais fácil de afinar e tocar, acaba se popularizando. Enquanto o violão apresenta um corpo maior, seis cordas simples e uma afinação universal, a viola caipira possui cinco cordas duplas (totalizando dez), várias afinações e um corpo menor e mais estreito. É a partir daí que ela vai ficando mais associada às regiões interioranas.

Para Guerra, a modernização dos ritos da Igreja Católica também contribuiu para o desaparecimento da viola nos centros urbanos. Segundo o pesquisador, era um instrumento muito usado em festejos religiosos, como Folia de Reis e Cururus. "A Igreja acaba desestimulando esses folguedos para controlar as formas de

A diferença entre violão e viola



VIOLÃO

Mais fácil para afinar e tocar, o violão apresenta um corpo maior, seis cordas simples e uma afinação universal

VIOLA

A viola caipira possui cinco cordas duplas (totalizando dez), várias afinações e um corpo menor e mais estreito

VIOLA CLÁSSICA

Possui quatro cordas. Apesar de parecer um violino, a viola é maior e apresenta um som mais grave

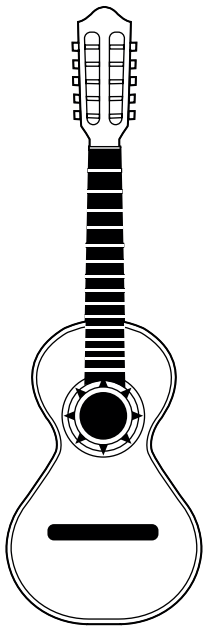
culto. Essas festas e danças vão sobrevivendo no interior, onde a fiscalização do Estado e a doutrinação religiosa eram menores, e a viola sobrevive com elas, tornando-se um importante elemento sociocultural dessas comunidades", afirma. Nesse contexto, a viola se torna símbolo de pertencimento dentro da cultura da oralidade, em que saberes são transmitidos por convivência, prática e memória. "O violeiro não é apenas músico. Ele é guardião da memória, narrador e mediador cultural", resume.

Nas ondas do rádio

No início do século 20, a viola caipira faz o caminho inverso e amplia seu alcance por meio da nascente indústria fonográfica e do rádio. Em 1929, o folclorista e pesquisador Cornélio Pires (1884-1958) foi pioneiro na gravação do que ficou conhecido como "música caipira" ao financiar o registro de violeiros e duplas.

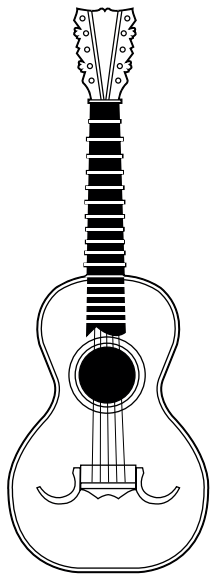
Foi a primeira vez que uma viola caipira entrou em um estúdio de gravação. Pires anunciou o lançamento de *Moda de viola*, em outubro de 1929, com a seguinte declaração: "Esse é o canto popular do caipira paulista em que se percebe bem a tristeza do índio escravizado, a melancolia profunda do africano no cativeiro e a saudade enorme do português da sua pátria distante".

"Havia uma demanda por repertórios que representassem a cultura rural, e a própria elite paulista também tinha interesse no resgate de suas tradições", avalia Guerra. Segundo ele, a iniciativa de Pires levou à consolidação de um novo gênero musical,



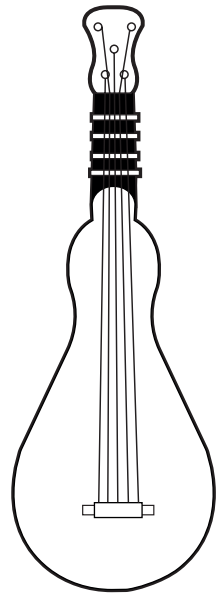
VIOLA DE ARAME (VIOLA DA MADEIRA)

Possui cinco cordas duplas. As cordas são de aço. A diferença em relação à viola caipira está na afinação



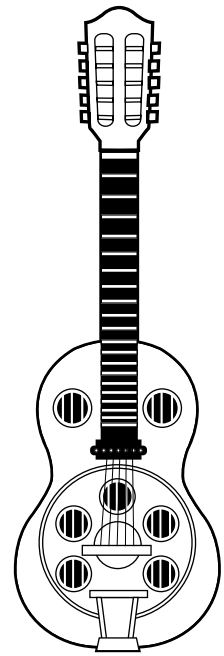
VIOLA CAIPIRA (VIOLA CABOCLA OU VIOLA SERTANEJA)

Comum principalmente no interior do Sudeste e do Centro-Oeste. Presente em manifestações culturais, como Folia de Reis e Festa do Divino. Com cinco pares de cordas, é menor que o violão



VIOLA DE COCHO

Patrimônio imaterial brasileiro. Típica do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Pantanal). Esculpida em um único tronco de madeira inteiriça (o "cocho"), usa cordas de linha de pesca. Comum em Cururus e Siriris



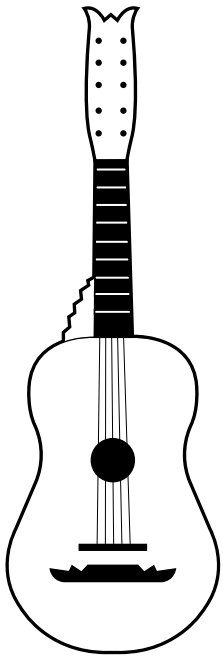
VIOLA DINÂMICA OU NORDESTINA

Tipo tradicional de viola do Nordeste, semelhante à caipira. Possui várias aberturas em seu tampo, cobertas por telas que guardam amplificadores feitos com cones de alumínio, que aumentam o som e modificam seu timbre, deixando-o mais metálico

ampliada pela difusão no rádio. "Ele não padronizou apenas um estilo, mas também um jeito de tocar viola, uma afinação específica", afirma, ressaltando que, por outro lado, a indústria fonográfica acabou por dar uma forma menos variável à música caipira, eliminando os improvisos existentes do meio rural.

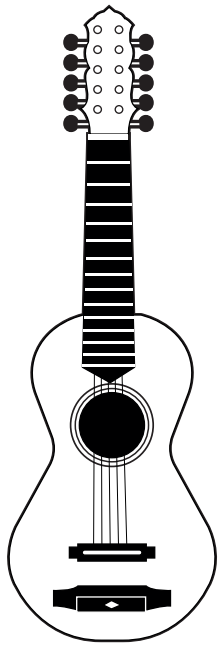
Martha Tupinambá de Ulhôa, professora da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (Unirio), observa que, à medida que o país vai se transformando, as músicas que representam o Brasil rural do centro-sul também mudam. Nos anos 1950, por exemplo, a influência da música paraguaia, com as guarânias, foi forte e, a partir dos anos 1960, a música caipira absorve sonoridades mexicanas, da Jovem Guarda e até dos Beatles. "Então, na música caipira, vai haver sempre uma tensão entre o que se inova e o que é tradicional, mas a viola mantém sua identidade mesmo quando se reinventa", afirma.

Vilela avalia que, embora a urbanização tenha mudado as narrativas, a identidade da viola continua a mesma. "A viola é uma cronista social de seu tempo", diz. "Quando Cornélio Pires grava músicas falando da Revolução de 1930, ou Alvarenga e Ranchinho cantam a falta de gasolina durante a Segunda Guerra Mundial, eles estão narrando exatamente o tempo em que estavam vivendo. Da mesma forma, músicas como 'Menino da porteira' e 'Saudade da minha terra' narram a nostalgia de quem abandonou o campo e migrou para a cidade, mas foram compostas anacronicamente por pessoas que já estavam no meio urbano", conta. Para o violeiro, a manutenção



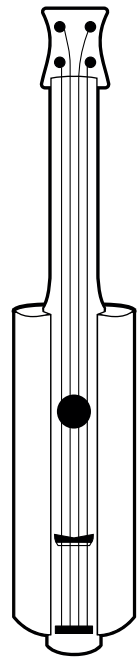
VIOLA CAIÇARA

Origem no leste de Portugal, mas presente no litoral sul de São Paulo e no Paraná. É a viola tocada nos fandangos. Possui geralmente oito cordas. Uma ou duas das cordas são mais curtas e não correm no braço, apenas no tampo do instrumento



VIOLA MACHETE

Muito presente no Recôncavo Baiano, de provável origem na ilha da Madeira. Deu origem ao ukelelê. Com cinco cordas de aço, é a base rítmica do samba de roda e do samba-chula



VIOLA DE BURITI

Típica do Jalapão, em Tocantins. Fabricada com o pecíolo da folha do buriti (uma palmeira), tem formato peculiar e é utilizada em manifestações culturais locais

da identidade do instrumento explica a existência de mais de 250 orquestras de viola no estado de São Paulo.

Com 29 anos de estrada, a Orquestra Paulistana de Viola Caipira é comandada desde sua fundação pelo maestro Rui Torneze. Com formação em violão clássico, ele se apaixonou pela viola em suas andanças pelo interior paulista como auditor contábil. Aos 30 anos, decidiu trocar a contabilidade pela música.

"Comecei a dar aulas de viola na Universidade Livre de Música, hoje Escola de Música do Estado de São Paulo Tom Jobim, e outras escolas de viola caipira. E os alunos desses cursos queriam também a prática do instrumento. A criação da orquestra foi um desdobramento das aulas", conta.

Com 54 integrantes, a orquestra tem um CD de viola caipira indicado ao Grammy Latino e acumula apresentações na Europa. Segundo Torneze, um diferencial é que todos os músicos leem partitura. "Ela funciona como uma orquestra sinfônica", diz. O repertório é variado, unindo clássicos da música da roça com MPB e rock. "Tocamos de Vivaldi a Tonico e Tinoco, de Michael Jackson a Guns N' Roses", diz. Torneze define o repertório como dedicado à "formação de público". "Tocamos as músicas mais conhecidas e depois partimos para os clássicos da viola."

Também com repertório que vai muito além das músicas caipiras, a Orquestra Filarmônica de Viola completou 25 anos. Fundada por Ivan Vilela em 2001 na cidade de Campinas (SP), a filarmônica é dirigida por João Paulo Amaral desde 2011. "A ideia inicial era criar um grupo a partir da socialização, dos violeiros e das violeiras que se encontravam para aprender e tocar viola. Depois o grupo naturalmente foi se profissionalizando e se aprimorando. O Vilela viu a possibilidade de tocar música caipira, mas também outros repertórios na viola. Ele teve a ideia de separar os violeiros como se fossem naipes de uma orquestra convencional", afirma Amaral, ou seja, como os diferentes tipos de instrumentos musicais — cordas, percussão etc.

No repertório, clássicos da música caipira se mesclam a obras de nomes da música popular brasileira, como Milton Nascimento, Gilberto Gil e Tom Jobim (1927-1994), chegando até a Villa-Lobos (1887-1959) e à banda de rock britânica Led Zeppelin. Sem apoio institucional, a orquestra, de 15 componentes, sobrevive com cachê de shows e de recursos de outros trabalhos. Recentemente a orquestra se apresentou na Sala São Paulo e no Festival de Inverno de Campos do Jordão. "É um marco importante para a viola ter esse reconhecimento e tocar em um festival internacional, que é mais dedicado à música clássica e música de concerto", diz ele. ●

Gente da pesquisa
Tradição e bom humor

✻ Por **Marcelo Soares**

Nos primórdios do Instituto Butantan, dizem as histórias, Vital Brazil e sua equipe pioneira chegaram a aplicar em si mesmos doses controladas de venenos ou do soro experimental que criavam. Não havia os protocolos éticos atuais, e foi em parte com essas pesquisas que o Brasil ganhou uma instituição científica mundialmente reconhecida.

Hoje, pisar em jararacas pela ciência é considerado algo tão exótico que nos traz um troféu Ig Nobel, como veremos nesta edição. Em seus melhores momentos, o prêmio da revista *Annals of Improbable Research* celebra com humor a criatividade metodológica. (O artigo foi retratado porque, segundo o comitê de ética, eles pisaram em cobras recém-nascidas. A equipe discorda.)

Neste mês, trazemos também as homenagens mais tradicionais, como os ganhadores do Prêmio Fundação Conrado Wessel, e os livros lançados por pesquisadores brasileiros. E vai ter moda de viola em Barão Geraldo!

Prêmio Wessel

Mario Murakami, engenheiro de alimentos e doutor em física nuclear pela Unesp, foi reconhecido com o Prêmio Fundação Conrado Wessel de Ciência. Diretor do Laboratório Nacional de Biorrenováveis do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais e coordenador do Programa FAPESP de Pesquisa em Transição Energética, ele pesquisa os desafios da bioenergia, bioeconomia e biorrenováveis.

O prêmio de Cultura foi para o padre **Júlio Lancellotti**, reconhecido nacional e internacionalmente por seu trabalho de acolhimento e atenção à fatia mais excluída da população de São Paulo. Cada um receberá um prêmio de R$ 500 mil em dinheiro, numa cerimônia que ocorrerá em outubro.

"São escolhas que reafirmam o propósito do Prêmio FCW de reconhecer trajetórias de excelência, impacto social e compromisso ético", disse Carlos Vogt, diretor-presidente da fundação e ex-presidente da FAPESP.



Pesquisadores brasileiros pisaram em jararacas, com botas de segurança, para estudar a reação dos animais

João Miguel Alves Nunes/Arquivo pessoal

Ig Nobel

O bem-humorado prêmio a pesquisas científicas pouco ortodoxas foi concedido, na categoria Biologia, a um grupo de pesquisadores brasileiros e foi representado por **João Miguel Alves Nunes**, atualmente estudante de doutorado no IB-USP. Eles avaliaram o que faz com que uma jararaca-da-mata (*Bothrops jararaca*) dê o bote quando é pisada — e descobriram que não é sequer preciso tocar na cobra para que ela reaja. No Brasil, estima-se que mordidas dessa jararaca correspondem a 90% dos acidentes registrados envolvendo humanos e cobras.

A metodologia foi o que chamou a atenção da banca: em ambiente controlado, com botas de segurança, os autores pisaram perto e sobre diversas partes do corpo de 75 cobras peçonhentas, com várias intensidades, registrando em relação aos cientistas o tamanho do corpo, sexo, temperatura do corpo, temperatura ambiental e hora do dia em que a interação ocorria. À imprensa, Nunes disse que descobriu no experimento ser alérgico ao veneno.

ANOTE NA AGENDA

30.set a 2.fev.

FICA-SP (Fixação e Incentivo à Carreira Acadêmica em São Paulo)
Doutores em início de carreira com alto potencial acadêmico e sem vínculo empregatício, com base em São Paulo, podem se inscrever na segunda chamada do FICA-SP. Serão selecionados até 100 projetos, em várias áreas acadêmicas. O programa é uma parceria da FAPESP com o CNPq e a Capes.

5 e 6.nov.

1º Congresso Acadêmico Brasileiro de Cannabis Medicinal
Estão abertas as inscrições para o Cabcann-FCF/USP, que ocorrerá no campus USP Butantã. Criado por Paulo Chanel Deodato de Freitas, o evento tem apoio da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), que regulamentou o cultivo, a pesquisa, a fabricação e a comercialização de cannabis para fins medicinais e científicos no Brasil.

Confira os próximos eventos da FAPESP

Residência artística

Ivan Vilela, violeiro, professor da USP e pesquisador de cultura popular, iniciou em setembro uma residência artística no Instituto de Estudos Avançados da Unicamp (IdEA). Até dezembro, ele dará palestras e minicursos sobre temas que capturam sua atenção, como as tradições culturais orais e o Clube da Esquina. De 5 a 9 de outubro, ele oferece uma oficina para os estudantes de música do Instituto de Artes da universidade.

Comunicação da ciência

Em 26 e 27 de outubro, o Centro Alemão de Ciência e Inovação (DWIH) realiza no Goethe-Institut São Paulo o encontro "Science Communication in Transition: Strategies, Responsibilities and Emerging Challenges in Germany and Brazil".

Os palestrantes alemães incluem os pesquisadores **Benedikt Fecher**, diretor da Wissenschaft im Dialog (WiD), **Jeanne Rubner**, da Universidade Técnica de Munique, e **Monika Taddicken**, da Universidade Técnica de Braunschweig, além do jornalista **Markus Lehmkuhl**. Do Brasil, participam os jornalistas **Bruno de Pierro**, **Daniel Dieb, Luiza Caires**, **Meghie Rodrigues** e **Karina Toledo**, editora da *Agência FAPESP,* além dos pesquisadores **Juri Castelfranchi** e **Mariana Rodrigues Pezzo**. Mais informações e inscrições estão no site do DWIH-São Paulo: tinyurl.com/2s3rntat.

Estante

A ciência do universo: (quase) tudo o que você sempre quis saber sobre o cosmos, mas nunca perguntou
Rogério Rosenfeld (Companhia das Letras)
O professor de física teórica da Unesp explica as descobertas da área que ajudaram a entender o mundo desde os primeiros modelos cosmológicos baseados na Teoria da Relatividade Geral.

Matemática para seres humanos (e alguns robôs)
Marcelo Viana (Tinta-da-China)
O diretor-geral do Instituto de Matemática Pura e Aplicada (Impa) organiza textos seus publicados no jornal *Folha de S.Paulo*, mostrando como a matemática se manifesta em diversos aspectos do cotidiano.

Estrela do novo rumo: literatura negra e os sentidos da modernidade periférica
Mário Augusto Medeiros da Silva (Zahar)
O sociólogo, professor da Unicamp e pesquisador da cultura produzida pelos negros no Brasil analisa a luta pela abertura dos espaços culturais de São Paulo a autores, de Carolina Maria de Jesus aos Racionais MCs.

Presença indígena no Brasil
Mércio Pereira Gomes (Contexto)
Um dos mais longevos presidentes da Funai (2003-2007), o professor de antropologia da UFRJ analisa a demografia indígena no Brasil, mostrando que a população dos povos originários tem aumentado.

Ecologias de crise: uma teoria cibernética da radicalização
Leticia Cesarino (Ubu)
A pesquisadora da UFSC investigou como a participação em ambientes digitais pode levar usuários a aderir ao extremismo e cometer atos de violência extrema, de cunho político ou não.

Boas práticas

O milagre da multiplicação de referências bibliográficas (fantasmas)

✻ Por **Theo Ruprecht**
✻ Ilustração **Ariel Severino**

Em 2023, cerca de 4 em cada 10 mil artigos biomédicos continham ao menos uma referência bibliográfica fabricada. Nem parece tanto em um primeiro momento, mas repare no ritmo de crescimento: no último trimestre de 2025, a proporção já tinha pulado para 51,3 por 10 mil e, no começo de 2026, chegou a 56,9 — cerca de 14 vezes mais. A constatação vem de uma auditoria publicada na seção de correspondências do periódico *The Lancet*, que reuniu 2,5 milhões de estudos publicados de 2023 a fevereiro deste ano. Esse calhamaço de manuscritos somou incríveis 125.615.773 referências (sim, mais de 125 milhões). Como verificar a procedência de cada uma? Em vez de acessar "manualmente" todos os links, o que implicaria mais de 25 milhões de cliques de cada um dos cinco autores e prováveis diagnósticos de lesão por esforço repetitivo, foi desenvolvido um sistema automatizado que comparava os registros bibliográficos com artigos de verdade disponíveis na rede.

Os dados mostram a aceleração dessa tendência no meio de 2024. Por quê? "A inflexão [...] coincide com o atraso esperado entre a adoção disseminada de LLMs [modelos de inteligência artificial de linguagem de grande escala] e a publicação dos artigos, embora o aumento da atividade de paper mills [pesquisas falsas feitas sob encomenda] e mudanças nas práticas de indexação dos periódicos também possam ter contribuído", escrevem os autores. A cronologia é a seguinte: entre o fim de 2023 e o início de 2024, inicia-se a massificação do uso de ChatGPT, Claude e afins. De 100 a 200 dias depois (tempo médio da submissão à publicação de um artigo, segundo os pesquisadores), o gráfico com a taxa de referências manipuladas começa a tomar a forma de uma montanha digna de teleférico.

Após a exposição do cenário, a carta parte para as recomendações, como as de que as editoras deveriam integrar processos de verificação automatizada das referências, antes da revisão por pares, e fazer triagens retrospectivas dos periódicos para, quando necessário, emitir correções. Hoje, não existe um padrão bem estabelecido do que fazer com estudos com referências manipuladas. Na seção de comentários da revista *The Lancet*, Howard Bauchner, da Universidade de Boston, e Frederick Rivara, da Universidade de Washington, propõem a lógica da punição exemplar: "Acreditamos que um manuscrito publicado no qual apareça uma referência falsa deve ser retratado. [...] A retratação pode levar ao maior escrutínio das referências por autores de manuscritos".

Um detalhe irônico da auditoria é que a principal suspeita de fomentar a multiplicação de referências-fantasmas foi utilizada para diferenciar erros de padronização, uma falha menos grave, das referências que realmente não existem. Sim, os autores recorreram à IA — no caso, o Claude — para identificar se as menções a outros documentos só não batiam por estarem com erros de digitação, abreviações etc.

Fogo contra fogo?

A IA generativa polariza debates tanto na produção dos artigos quanto nas etapas de revisão por pares. Uma reportagem da revista *Science* esclarece como essa disputa não ocorre no vácuo. Vale ler na íntegra **tinyurl.com/npax4fbb**, mas dois pontos chamam a atenção logo de cara: alguns levantamentos sugerem que mais da metade dos revisores recorrem à inteligência artificial em alguma etapa do processo. E as editoras já estão testando as águas. Para ficar em um episódio descrito, a *NEJM AI*, afiliada do prestigiado periódico *The New England Journal of Medicine*, iniciou um projeto-piloto que oferece um modelo rápido de aprovação baseado em uma análise de IA do manuscrito, seguida da revisão de um editor (humano, só para constar). O atalho estaria disponível apenas para artigos com alta chance de aprovação.

"O uso da IA na revisão é uma questão tanto subestimada como superestimada", confidenciou-me o sociólogo Luiz Augusto Campos, editor-chefe da revista científica *Dados* e professor do Instituto de Estudos Sociais e Políticos da Universidade do Estado do Rio de



Janeiro. Para quem mal enxerga os riscos, ele destaca que o próprio termo "inteligência artificial" não descreve muito bem o que essas ferramentas realizam: "Eu brinco que ela é uma máquina de produzir senso comum". Isso pode significar que pesquisas mais ousadas saiam perdendo — ou mesmo que subespecialidades pouco estudadas recebam análises simplistas.

Há também o receio de que as IAs intensifiquem processos de exclusão. Um estudo em pré-print (ainda não publicado) botou uma ferramenta de LLM para aprovar ou rejeitar vários artigos idênticos, exceto pela autoria. Finja estar surpreso com o resultado: pesquisadores de instituições renomadas apresentaram maior taxa de aprovação. "A IA pode reforçar uma geopolítica desigual do conhecimento", resume Campos.

Já para os que propõem tirar as máquinas da tomada, a reportagem da *Science* enumera pesquisas que apontam áreas onde a IA se sai melhor do que os atarefados revisores humanos. Detecção de plágio e erros, validação de métodos estatísticos e contas matemáticas e avaliação das já mencionadas referências bibliográficas estão entre elas.

Por enquanto, cada periódico e revisor têm adotado uma postura. A Política de Integridade na Atividade Científica do CNPq faz uma única menção mais direta ao tema: "É vedada a inserção de projetos de pesquisa de terceiros em ferramentas de inteligência artificial generativa para elaboração de pareceres científicos".

A restrição também decorre do temor de que dados ainda não publicados sejam, de alguma forma, processados e integrados pelos algoritmos. Já o SciELO vem solicitando aos periódicos da sua rede que estabeleçam critérios e, no passado, fez algumas recomendações gerais em um guia sobre a IA na comunicação científica. Ele reconhece que determinados recursos podem auxiliar os revisores e pede que eles estejam atualizados sobre como utilizá-los adequadamente (e sobre como analisar materiais produzidos com IA).

Considerando que o número de artigos publicados dobrou nos últimos cinco anos, o que pode ter a ver com a IA e certamente sobrecarrega os revisores, vem a pergunta: estaria a inteligência artificial ganhando espaço no mercado editorial da ciência apenas para apagar o incêndio que ela mesma alastrou?

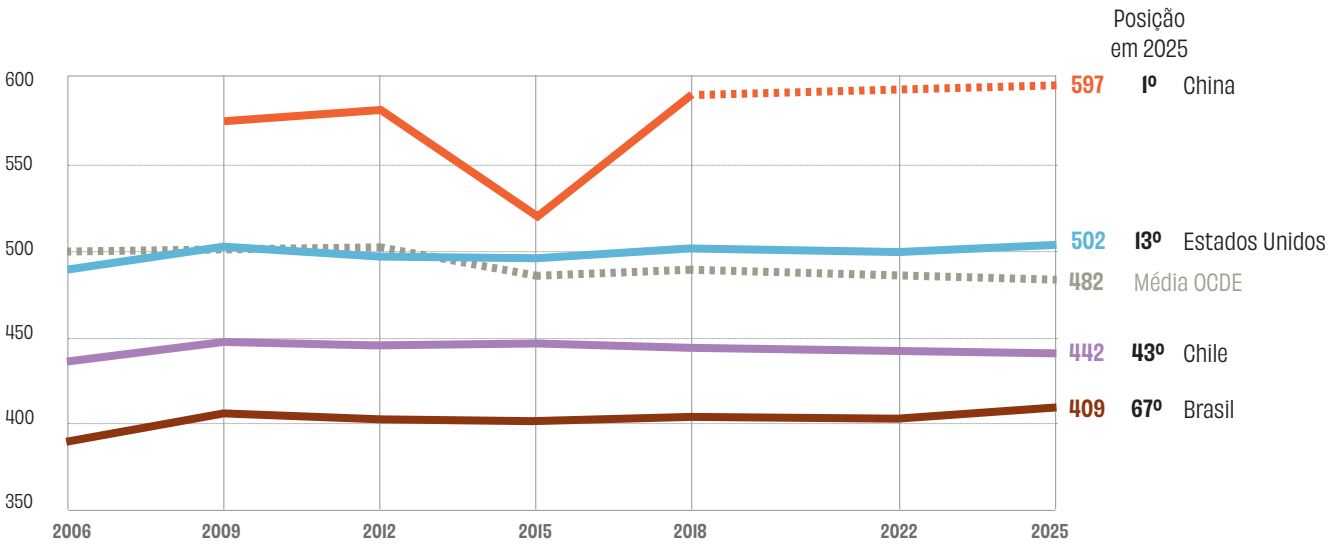
Luiz Augusto Campos derrubou esse princípio de hipótese com duas frases (proferidas com carinho, caro leitor): "A crise da revisão por pares é anterior à disseminação da IA. Esse modelo está sendo pressionado há pelo menos 20 anos".

Ele ressalta o óbvio: a transformação do artigo na principal métrica de sucesso de um pesquisador e o incentivo a fatiar descobertas, dois dos muitos fatores que vêm abarrotando a mesa dos revisores com manuscritos, antecedem os LLMs. No momento, o que a inteligência artificial parece estar fazendo é ampliar virtudes e defeitos humanos. Até por isso, não deveria ser usada sozinha — provavelmente nunca será confiável o suficiente para isso. "Não sei dizer qual o limite ideal entre o lado humano e o artificial da revisão por pares. Só sei que não estamos nele", conclui. ●

Brasil no piso do Pisa

Nos últimos 20 anos, crescemos na avaliação, mas seguimos distantes das potências China e EUA

Escala 0-1000 da OCDE



China: dado refere-se a um grupo de províncias (Pequim, Xangai, Jiangsu + Zhejiang desde 2018; Guangdong em 2015; apenas Xangai em 2009-2012), não ao país inteiro. Não participou em 2006 e não aplicou a prova em 2022 — o trecho tracejado (2018-2025) liga os dois pontos reais sem dado no meio

Fontes: Inep; OCDE, *Pisa 2025 Results Volume I*; theglobaleconomy.com

Dados

O ensino de ciências que o Pisa revela

✻ Por **Sabine Righetti**

Na década de 2000, o linguista da Unicamp Carlos Vogt propôs que os processos que envolvem a ciência — sua produção, difusão, ensino e divulgação — estão diretamente conectados e se retroalimentam. Nessa perspectiva, os dados do último Pisa (Programa Internacional de Avaliação de Estudantes, na sigla em inglês) se tornam ainda mais preocupantes.

O Brasil ficou em 67º lugar no mundo em ciências, entre 91 países que participaram do exame. Isso significa que, por aqui, os estudantes tiveram mais dificuldade para explicar fenômenos cientificamente ou para usar informações científicas para a tomada de decisão do que alunos de países como Estados Unidos (13º) e Chile (43º).

A avaliação internacional promovida pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) mede o desempenho de estudantes de 15 anos em matemática, leitura e ciências. A última edição teve foco em ciências, e os resultados foram divulgados em setembro.

O problema é que o Brasil está beirando o último pelotão no ensino de ciências dentre os países avaliados. E, voltando à análise de Vogt, uma educação científica de base que deixa a desejar compromete toda a cultura científica do país. Distancia as pessoas da ciência, prejudica a formação de novos pesquisadores.

Na série histórica, o Brasil tem melhorado timidamente na prova. Passou de 390 pontos em 2006 — primeira edição do Pisa da qual participou da avaliação com foco em ciências — para 409 pontos em 2025. A China, país com a maior nota do mundo atualmente, ainda que avaliado apenas em um grupo de províncias, passou de 575 pontos (em 2009; não há dados de 2006) para 597 pontos (2025). Já a média dos países da OCDE em ciências tem caído: foi de 500 pontos (2006) para 482 pontos (2025) — a pior nota da série.

A queda de desempenho dos países ricos europeus no Pisa tem despertado reflexões entre especialistas. O que se diz é que as distrações tecnológicas e uma consequente queda do hábito de leitura têm prejudicado o resultado do exame. Trocando em miúdos, na média, os adolescentes desses países estão aprendendo menos sobre ciências.

É claro que o Pisa traz um retrato parcial e limitado de como se dá o ensino nos países avaliados. As informações devem ser complementadas com outros instrumentos locais e com dados complementares, que sejam importantes em cada contexto.

No cenário brasileiro, por exemplo, há dados oficiais que dizem muito sobre a estrutura da educação que pode afetar a aprendizagem em ciências. O Censo Escolar do Ministério da Educação (MEC) mostra que, em 2025, menos da metade das escolas públicas de ensino médio do país tinha laboratório de ciências (e não sabemos se esses espaços, quando existem, são, de fato, utilizados).

A menos que as escolas tenham, por exemplo, laboratórios didáticos móveis não contabilizados no censo, a ausência desses equipamentos pode ser um problema para a educação experimental em ciências.

E o retrato fica pior quando olhamos para a educação científica fora das escolas. A última Pesquisa Nacional de Percepção Pública da Ciência, do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), de 2023, revelou que nove em cada dez brasileiros declararam não ter visitado espaços como museus de ciências nos 12 meses anteriores ao questionamento. Tudo isso, claro, pode impactar os resultados de exames como o Pisa.

O fortalecimento do ensino de ciências nas escolas e nos espaços extraescolares de divulgação científica é essencial para uma cultura científica mais forte. E o Pisa nos dá sinais de que temos de avançar nesse quesito para fortalecer a ciência produzida no país. ●

●●●

A queda de desempenho dos países ricos europeus no Pisa tem despertado reflexões entre especialistas. O que se diz é que as distrações tecnológicas e uma consequente queda do hábito de leitura têm prejudicado o resultado do exame. Trocando em miúdos, na média, os adolescentes desses países estão aprendendo menos sobre ciências

SUA PESQUISA TEM FOTOS BONITAS?
Seu trabalho poderá ser publicado na revista. Envie para imagempesquisa@fapesp.br

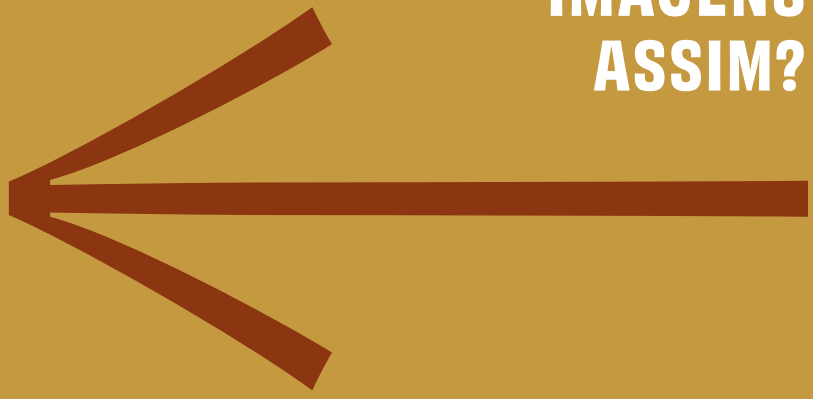


Novas fronteiras amazônicas

Uma expedição científica à serra do Aracá (AM), financiada pela FAPESP, reuniu 16 pesquisadores, de instituições brasileiras e internacionais, para desbravar uma área pouco conhecida da Amazônia. Durante 19 dias, a equipe explorou a biodiversidade de ecossistemas de altitude no norte do Amazonas. Foram dois acampamentos: um na mata nebular, um tipo de floresta úmida de altitude, constantemente envolvida por neblina ou nuvens baixas, e outro em uma região batizada pelos pesquisadores de Aracazinho, com terrenos predominantemente arenosos e pouca pedra visível. Os especialistas registraram nove espécies de lagartos (das quais cinco são provavelmente novas para a ciência), cinco espécies de cobras (uma delas inédita) e 18 espécies de anfíbios (com cerca de dez prováveis novidades). Entre eles, uma nova espécie de sapo-foguete do gênero *Anomaloglossus*, fotografada por Phelipe Janning, editor audiovisual de *Pesquisa FAPESP*. Com cerca de 2 centímetros de comprimento, esse anfíbio habita riachos, córregos e trechos alagados das formações abertas da serra do Aracá, onde canta e forrageia durante o dia, explica Taran Grant, professor do Instituto de Biociências da USP.

pesquisafapesp

SUA PESQUISA RENDE IMAGENS ASSIM?



MICROSCÓPIO, CAMPO, LABORATÓRIO,

SAPO, TELESCÓPIO: A CADA EDIÇÃO

O FOTOLAB PUBLICA UMA IMAGEM,

OU UMA SÉRIE DELAS

MANDE PARA IMAGEMPESQUISA@FAPESP.BR
BASTA VIR DE UMA PESQUISA E
TER BOA RESOLUÇÃO (300 DPI)

revistapesquisa.fapesp.br

PesquisaFapesp
pesquisa_fapesp
pesquisa_fapesp
PesquisaFapesp
PesquisaFapesp
@pesquisa_fapesp
pesquisafapesp

pesquisafapesp
CIÊNCIA DE PERTO, DESDE 1999

