

## O fascínio do grafeno

Descoberto há 20 anos, o nanomaterial com propriedades singulares aprimora sensores, tintas e plásticos e abre novas áreas de pesquisa

Falta transparência à IA generativa, alerta a cientista da computação Graça Nunes

Precarização do mercado de trabalho leva moradores da periferia a empreender

Regiões mais frágeis da floresta amazônica são também as que mais sofrem agressões

Asteroide que vai passar perto da Terra em 2029 pode criar chuva de meteoros na Lua

Primeiros animais com concha viveram há 570 milhões de anos onde hoje é Bonito, em MS

assine por  
**25 meses**  
pela metade do  
preço de banca  
**r\$ 250**  
e ganhe uma  
ecobag exclusiva\*

promoção dos  
**25 anos**  
da revista



\*oferta válida até dezembro de 2024  
detalhes disponíveis em  
[revistapesquisa.fapesp.br/assine](http://revistapesquisa.fapesp.br/assine)

revista **pesquisa** fapesp

**5 CARTA DA EDITORA**

**6 NOTAS**

**CAPA**

**12** Vinte anos após ser descoberto, grafeno é usado em produtos para melhorar sua eficiência

**ENTREVISTA**

**20** Cientista da computação Graça Nunes alerta para os limites dos programas de IA

**PRODUÇÃO CIENTÍFICA**

**26** Consórcio nacional assume gestão e financiamento da biblioteca SciELO

**DIFUSÃO**

**30** Estudo analisa comunicação de universidades federais no ambiente digital

**ENTREVISTA**

**33** Antoinette WinklerPrins, da National Science Foundation, discute parcerias com o Brasil

**BOAS PRÁTICAS**

**36** Médicos do Canadá se desculpam com indígenas por má conduta em pesquisa

**DADOS**

**39** Patentes universitárias no Brasil e nas unidades da federação

**PRÊMIO NOBEL**

**40** Pesquisadores que trabalharam com inteligência artificial ganham as lãureas de Física e Química

**SAÚDE PÚBLICA**

**44** Taxas de infecções sexualmente transmissíveis se mantêm altas entre mulheres trans e travestis

**FISIOLOGIA**

**48** Neurotransmissor que estimula o apetite também promove a queima de gordura

**EVOLUÇÃO**

**50** Membrana interna do ouvido surgiu há 250 milhões de anos em ancestral comum de lagartos, cobras e aves

**PALEONTOLOGIA**

**52** Primeiros animais da América do Sul ocupavam mares rasos entre 575 milhões e 538 milhões de anos atrás

**OCEANOGRAFIA**

**56** Corais formadores de recife estão desaparecendo →



CAPA

**ALEXANDRE AFFONSO**

Dispersão de grafeno em água para uso em pastas de cimento, argamassa e concreto, da Gerdau Graphene (CAPA, P.12)

#### AQUECIMENTO GLOBAL

**58** Algumas regiões da Amazônia parecem ter chegado ao ponto de colapso ecológico

#### MUDANÇAS CLIMÁTICAS

**62** Emissões de carbono de incêndios florestais aumentaram 60% entre 2001 e 2023

#### ASTROFÍSICA

**64** Asteroide que passará perto da Terra em 2029 poderá provocar chuva de meteoros na Lua

#### FÍSICA

**68** Fenômeno misterioso da água pode ser produzido em sistemas quânticos

#### BIOTECNOLOGIA

**70** O potencial das microalgas para fabricar biocombustíveis e fertilizantes

#### ENGENHARIA AERONÁUTICA

**74** Empresa chinesa faz o primeiro voo de um carro voador no Brasil

#### ENGENHARIA CIVIL

**75** Edifícios incorporam novas técnicas construtivas para prover conforto térmico

#### SOCIEDADE

**78** As motivações e os desafios enfrentados por empreendedores de bairros periféricos

#### LITERATURA

**84** Livros e eventos evidenciam a longevidade da obra de Camões

#### ENTREVISTA

**88** Para professor de Princeton, instituições devem repensar seus acervos em diálogo com a diversidade

#### MEMÓRIA

**90** Projeto Xingu, que promove a saúde indígena desde 1965, busca novas parcerias

#### ITINERÁRIOS DE PESQUISA

**94** Após a graduação em biologia, William Coelho optou pela música

#### RESENHA

**96** *Histórias da matemática: Da contagem nos dedos à inteligência artificial*, de Marcelo Viana. Por Paolo Piccione

#### 97 COMENTÁRIOS

#### 98 FOTOLAB



VÍDEOS  
BIOTÉRIOS

#### EM TRANSFORMAÇÃO

Estudos sobre como reduzir o estresse mudam as práticas adotadas na pesquisa com animais e no ensino



OS INDÍGENAS NO  
CINEMA BRASILEIRO

Povos originários têm presença crescente na produção audiovisual do país



PODCAST  
AS PEDRAS NO CAMINHO  
DAS MULHERES NA POLÍTICA

As causas da baixa representatividade feminina em cargos eletivos no Brasil. E mais: bactérias, semiárido, simulações

Este conteúdo está disponível em acesso aberto no site [www.revistapesquisa.fapesp.br](http://www.revistapesquisa.fapesp.br), que contém, além de edições anteriores, versões em inglês e espanhol e material exclusivo



O médico Douglas Rodrigues cercado por crianças indígenas no Xingu, em 1984: projeto de extensão universitária (MEMÓRIA, P.90)



# Singularidades

ALEXANDRA OZORIO DE ALMEIDA — diretora de redação

Pense em um material da espessura de um átomo e mais forte que o aço. Ao mesmo tempo denso e impermeável, mas transparente, flexível, resistente, excelente condutor elétrico e térmico. O grafeno, “descoberto” há 20 anos, parece ficção científica. Não por acaso, é formado por átomos de carbono, elemento químico essencial para a vida na Terra por sua capacidade de formar associações estáveis entre si e com outros elementos.

A história da obtenção do grafeno também parece ficcional. A grafite é composta por folhas nanoscópicas de átomos de carbono e durante décadas se procurou chegar a essa unidade, uma única folha, chamada grafeno. Prevvia-se que teria propriedades notáveis. As tentativas envolveram meios mecânicos e químicos, equipamentos sofisticados, mas a solução veio de uma fita durex.

Já se usava fita adesiva para preparar amostras de grafite para experimentos, tirando a camada superior para expor o mineral limpo. O caminho ocorreu aos cientistas Andre Geim e Konstantin Novoselov, da Universidade de Manchester, na Inglaterra, em uma das noites de sexta-feira nas quais costumavam se reunir para fazer experimentos sem conexão com suas pesquisas. Eles tiraram lascas de um pedaço de grafite com a fita e observaram que eram de espessuras diferentes. Repetindo sucessivamente o procedimento de esfoliação, isolaram esse cristal bidimensional, o grafeno.


Vinte anos e um prêmio Nobel depois, o grafeno inaugurou uma área de pesquisas sobre materiais de camada única. É utilizado como aditivo, conferindo ganho de propriedades como durabilidade e resistência, em produtos como tintas,

materiais de construção e embalagens plásticas. Integra a produção de componentes eletrônicos, materiais compósitos e baterias, mas ainda não cumpriu a potencialidade prometida. A reportagem de capa desta edição fala dessa área de pesquisa e desenvolvimento no Brasil (*página 12*). Um dos desafios para ampliar o seu uso em produtos comerciais é produzi-lo em escala industrial.

Outubro é mês de Nobel, e a safra deste ano privilegiou a inteligência artificial, escolha vista como atual por uns, e por outros como distante da pesquisa que costuma ser prestigiada pelo prêmio (*página 40*). A ciência movida pela curiosidade também está presente na reportagem sobre o efeito Mpemba, o paradoxo identificado por um estudante tanzaniano nos anos 1960 (*página 68*).

Não há limite para a variedade de depoimentos que compõem a seção Itinerários de Pesquisa. A singularidade de cada trajetória pessoal, sempre entrelaçada com a ciência, seja como ponto de partida, de chegada ou correndo em paralelo, faz com que cada história tenha elementos de novidade e, ao mesmo tempo, traga uma sensação de familiaridade. O perfilado do mês é o maestro William Coelho, bacharel em biologia e pesquisador em musicologia (*página 94*).

No contexto de nosso 25º aniversário, promovemos alterações no projeto gráfico de *Pesquisa FAPESP*. Entre as mudanças, implementamos uma tipografia mais compacta para o logotipo e para os títulos das reportagens e uma nova fonte para os textos, à busca de maior legibilidade e economia de espaço. Concebida pela editora de arte, Claudia Warrak, a minirreforma reforça a identidade gráfica da revista.

An aerial photograph showing a vast expanse of dark blue ocean water covered with a dense layer of floating plastic waste. The debris includes numerous small, colorful fragments of plastic, larger pieces of broken bottles and containers, and some sticks or twigs. The overall scene depicts a significant marine pollution problem.

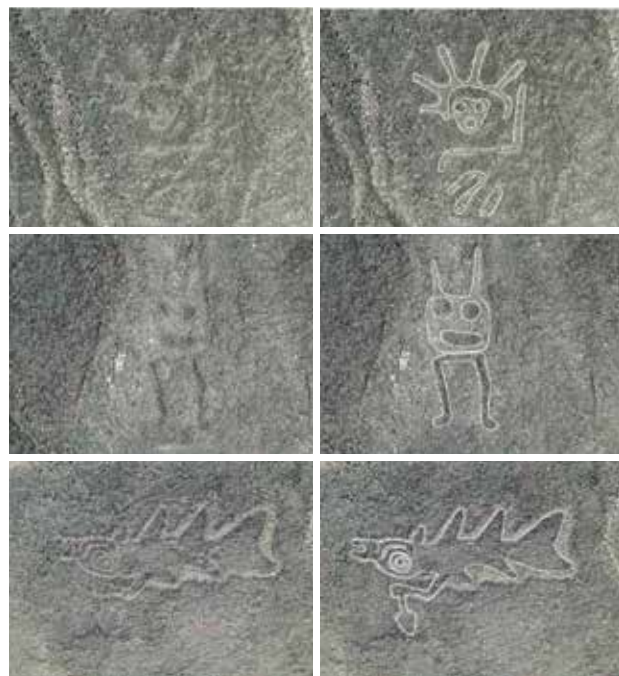
Embalagens, objetos e fragmentos de plástico podem percorrer grandes distâncias na água

# Lixo plástico da África chega por mar ao Ceará

Em 11 expedições feitas em três praias em novembro de 2022, pesquisadores da Universidade Federal do Ceará (UFC) coletaram 1.062 itens de plástico (tampas de garrafas de refrigerantes e água, embalagens de cosméticos e potes de alimentos), com um peso total de 9,7 quilogramas (kg). A maioria (70,4% dos itens) apresentava uma degradação moderada, o que permitiu a identificação das marcas e logotipos. A análise das marcas indicou que a maioria dos itens veio da África (78,5%) e uma minoria (15,7%) do Brasil e de outras nações (5,8%). Entre os produtos africanos, foram identificadas 31 marcas e 31 empresas, principalmente (mais de 90%) da República Democrática do Congo, mas também da Costa do Marfim, África do Sul, Camarões, Angola, Nigéria e Gana. Simulações de ventos e correntes marinhas reforçaram a conclusão de que os plásticos se originaram da costa oeste da África, e o rio Congo, que deságua no mar, poderia ser a principal fonte dos resíduos plásticos que chegaram às praias brasileiras (*Science of The Total Environment*, dezembro).

# Arqueologia com inteligência artificial

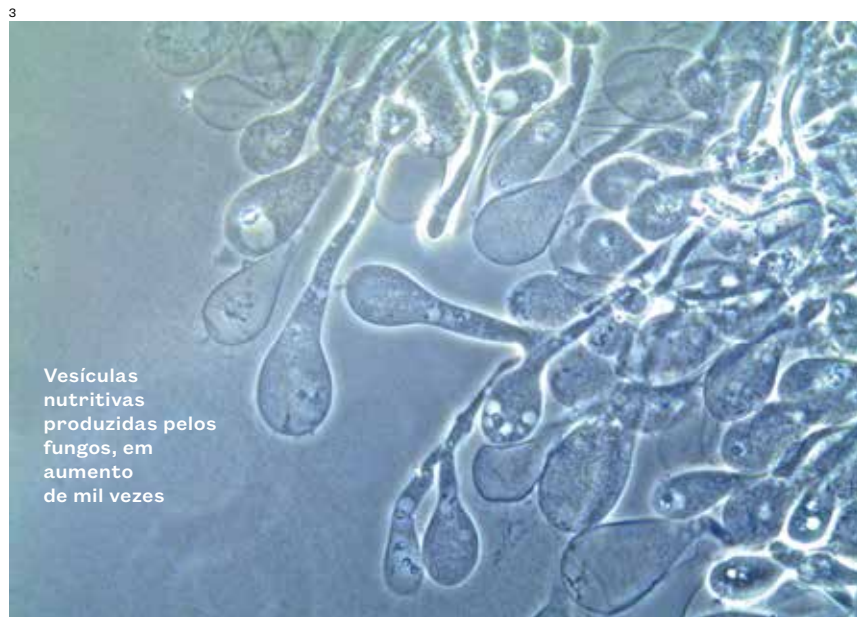
A região do deserto de Nazca, no Peru, ficou conhecida pelas imensas figuras visíveis do alto, os geoglifos. Ao longo de quase um século foram identificadas 430 delas, produzidas há mais de 1.500 anos pelo povo Nazca, que escavava o solo para criar diferenças em cor e textura. Com o desgaste provocado pelo tempo, os geoglifos nem sempre são fáceis de se enxergar. Agora, arqueólogos do Japão, da França e dos Estados Unidos ganharam a ajuda de inteligência artificial aplicada a fotografias aéreas de alta resolução. A capacidade computacional de reconhecer padrões identificou, em seis meses, mais de 300 formas dificilmente reconhecíveis pelo olho humano, como cabeças decapitadas. O trabalho classificou as figuras em dois grupos: os desenhos “tipo-relevo” contêm pedras que foram agregadas para acentuar o contraste, são mais intrincados e foram construídos perto de trilhas para serem vistos; os “tipo-linha”, mais espaçados e com longos trechos lineares, podem ter sido criados e usados em rituais (*Live Science* e *PNAS*, 23 de setembro).



Ferramentas computacionais permitem reconhecer padrões

# As primeiras agricultoras

Dezenas de milhões de anos antes da revolução agrícola que transformou as sociedades humanas, outros animais já plantavam sua horta. Eram formigas cultivadoras de fungos, há cerca de 66 milhões de anos. O impacto do meteoro que levou à extinção dos dinossauros também pode ter favorecido a expansão de fungos que se alimentavam de matéria orgânica. “Os fungos não eram parte essencial da nutrição das formigas”, explicou o biólogo André Rodrigues, da Universidade Estadual Paulista (IB-Unesp), *campus* de Rio Claro, à *Agência FAPESP*. “A pressão exercida pelo impacto do meteoro possivelmente fez com que essa relação se tornasse um mutualismo obrigatório, em que esses fungos passaram a depender das formigas para se alimentar e se reproduzir, ao mesmo tempo que estas dependiam exclusivamente dos fungos como fonte de alimento.” A datação do evento foi possível graças à análise de trechos do genoma de 475 espécies de fungos cultivados por formigas, coletados em diferentes partes das Américas (*Agência FAPESP* e *Science*, 3 de outubro).



Vesículas nutritivas produzidas pelos fungos, em aumento de mil vezes

# Acidificação dos oceanos em alta

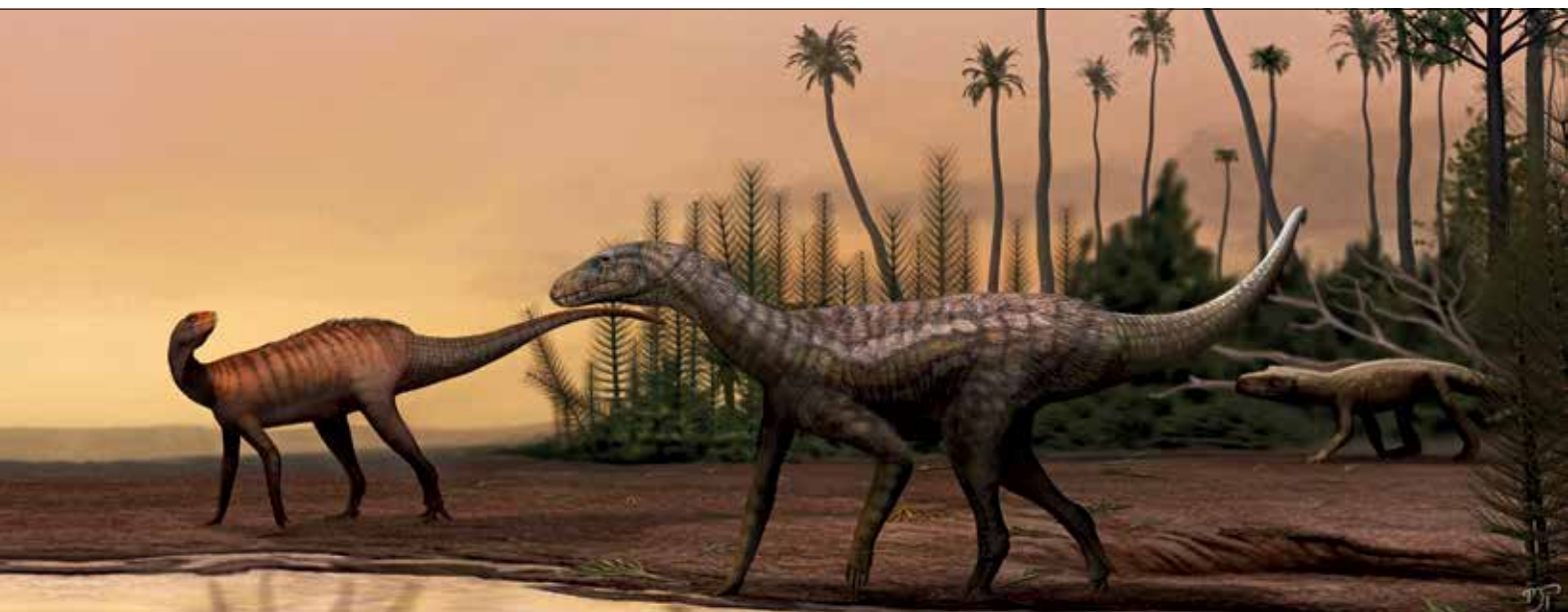
Em grande parte resultante das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ocasionadas pela queima de combustíveis fósseis, a acidificação dos oceanos está se aproximando de um limite crítico que poderia prejudicar a vida marinha e a pesca. O alerta consta do Planetary Health Check 2024, o primeiro relatório do Instituto de Pesquisa de Impacto Climático de Potsdam (PIK), na Alemanha. De acordo com ele, seis dos nove limites cruciais para sustentar a vida no planeta já foram superados, incluindo mudanças climáticas; a perda de biodiversidade e das áreas de florestas; a redução do fluxo de rios e da umidade do solo; o excessivo uso de fósforo, nitrogênio e pesticidas na agricultura. “Quando olhamos para as tendências dos indicadores de saúde da Terra, vemos que em breve a maioria deles estará na zona de alto risco. Precisamos reverter essa tendência”, comentou Boris Sakschewski, principal autor do relatório, em um comunicado da PIK (PIK, 24 de setembro).

# Pedaladas contra o Parkinson

Pedalar pode ser benéfico no tratamento de Parkinson. Um estudo feito nas universidades federais do Rio Grande do Norte (UFRN) e do Paraná (UFPR), em parceria com instituições inglesas, mapeou a atividade cerebral de 24 adultos saudáveis em uma bicicleta ergométrica. Os resultados mostram que o estímulo sensorial ao pedalar, em especial de olhos fechados, provoca maior organização da atividade neuronal, capacidade habitualmente reduzida por doenças neurodegenerativas. “O que se tem demonstrado em experimentos é que os efeitos de pedalar são similares à medicação de pacientes com Parkinson”, explica o neurocientista John Fontenele Araújo, da UFRN. Com o avanço das pesquisas, talvez seja possível conjugar medicamento e ciclismo, com o benefício adicional de diminuir o sedentarismo. Segundo Araújo, nova etapa da pesquisa envolve testes similares em pacientes com Parkinson somados a testes de caminhada antes e depois da pedalada. Outro passo será incluir um ambiente de realidade virtual durante o exercício na bicicleta (*PLOS ONE*, outubro)



O movimento regular na bicicleta ergométrica ajuda a organizar a atividade cerebral



2

# Precursor dos dinossauros se preparava para a corrida bípede

Os dinossauros que habitam o imaginário atual ainda não existiam há cerca de 237 milhões de anos, mas um pequeno sillessaurídeo já corria por onde hoje são campos gaúchos. O fóssil recém-descrito, batizado de *Gondwanax paraisensis*, destaca-se por ser um dos mais antigos existentes e por permitir observar características específicas do animal. “O osso sacro é mais avançado, com pelo menos três vértebras, e apresenta uma condição clássica dos dinossauros, que não esperávamos encontrar em um animal tão antigo”, explica o paleontólogo Rodrigo Temp Müller, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O fêmur, de menos de 15 centímetros de comprimento, também exibe uma saliência chamada de quarto trocanter, que serve para ancorar os músculos que ligam a perna à cauda e aparece mais desenvolvido nos dinossauros propriamente ditos. Essas características evidenciam que os sillessaurídeos estariam experimentando diferentes modos de locomoção. “Uma das coisas mais interessantes nos dinossauros é que eles acabaram se tornando animais bípedes e corredores; isso já é visível na origem do grupo”, enfatiza o pesquisador (*Gondwana Research*, setembro).

Representação artística de *G. paraisensis* (acima), e fêmur fossilizado (abaixo)



3



# Marco Antonio Zago é reconduzido à presidência da FAPESP

Presidente da FAPESP desde 2018, Marco Antonio Zago foi reconduzido a um mandato de três anos, com Carmino Antonio de Souza como vice-presidente. Médico, Zago é professor emérito da Universidade de São Paulo (USP), onde foi pró-reitor de Pesquisa (2010-2014) e reitor (2014-2017). Foi presidente do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, 2007-2010) e diretor da Academia Brasileira de Ciências (ABC). Carmino Antonio de Souza é médico onco-hematologista e professor titular da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Foi coordenador do Hemocentro de Campinas (1988-1993 e 2006-2012), secretário de Saúde do Estado de São Paulo (1993-1994), secretário de Saúde de Campinas (2013-2020) e secretário-executivo da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação do Governo do Estado de São Paulo (2022) (*Agência FAPESP*, 4 de outubro).



Serrano, Coalho, Canastra e Campo das Vertentes: sabor melhorado pela diversidade de fungos

4

## Os fabricantes de aroma dos queijos

Um mapeamento das leveduras em 582 amostras de 11 variedades de queijos brasileiros resultou em um ranking da biodiversidade desses microrganismos. O Caipira, produzido em Mato Grosso do Sul e no Triângulo Mineiro, e o Serrano, do Rio Grande do Sul, dividiram o primeiro lugar, ambos com 13 espécies. Na segunda posição ficou o Campo das Vertentes, também de Minas, seguido pelo Coalho, do Nordeste. Uma equipe da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas (FEA-Unicamp), coordenada pelo químico Anderson Sant'Ana, examinou 1.396 isolados (exemplares) de leveduras de 12 gêneros e 28 espécies diferentes. A predominante no Canastra, no Cerrado e no Serro, todos de MG, foi *Torulasporea delbrueckii*, enquanto no Coalho e no Manteiga, do Pará, foi *Yarrowia lipolytica*. Durante a fermentação do leite, as leveduras agem sobre carboidratos e liberam compostos voláteis que contribuem para o aroma dos queijos (*Food Research International*, novembro).

## Recém-descobertas, já em risco de desaparecer

Nos afloramentos dos inselbergues (morros rochosos isolados) do Espírito Santo floresce uma margarida amarelada bem diferente das outras. Apelada de estrela-das-montanhas (*Wunderlichia capixaba*), a espécie foi encontrada em 2023 durante uma expedição na Pedra do Cabrito, no município de Castelo, no domínio da Mata Atlântica. Ela se distingue das outras do gênero por formar arbustos que não perdem as folhas durante a floração, com inflorescências pequenas, e foi classificada como criticamente ameaçada de extinção. "Além de ser microendêmica, a população da espécie é bastante reduzida, com uma estimativa de menos de 50 indivíduos", calcula o botânico Aristônio Teles, da Universidade Federal de Goiás. Ele acrescenta que os inselbergues sofrem com ação humana pela extração de pedras ornamentais e que fazendas de café dominam o entorno de onde vive a estrela-das-montanhas (*Agência Bori e Phytotaxa*, 9 de setembro).

Estrela-das-montanhas: primeira espécie do gênero descrita em 50 anos



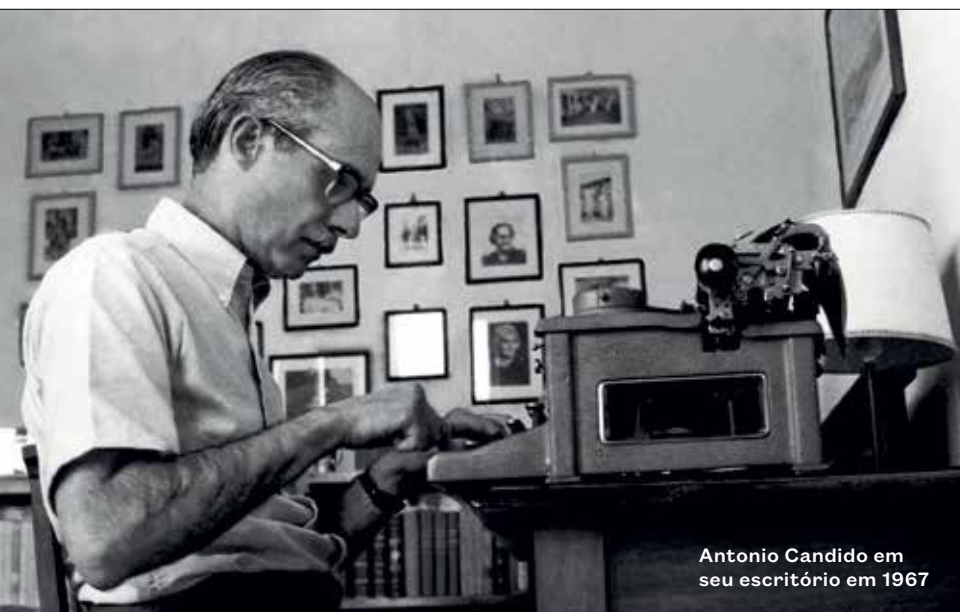
5

# Cérebros conectados pelo olhar

Se você já encarou os olhos de um cão e sentiu uma conexão, ela pode refletir uma sincronia de atividade cerebral. Pesquisadores da Academia Chinesa de Ciências usaram eletrodos para medir a atividade cerebral de cachorros – 10 jovens da raça beagle – e pessoas com as quais eles tinham convivido por cinco dias, de acordo com artigo na revista científica *Advanced Science*. Os encefalogramas indicaram que o olhar mútuo, principalmente quando associado ao carinho, gera uma sincronia cerebral nas regiões frontal e parietal dos dois participantes, que se torna mais forte quanto mais intensa a convivência prévia. Quando o olhar não era acompanhado do toque físico, a conexão principal se dava na região frontal. É a primeira vez que esse efeito é detectado no relacionamento entre duas espécies distintas. Cães com mutações que os tornam modelos para o Transtorno do Espectro Autista não têm essa sintonia, mas ela foi restabelecida após tratamento com uma dosagem adequada de ácido lisérgico (LSD), indicando um caminho clínico (*ScienceAlert*, 16 de setembro).



Olhar e carinho geram sintonia entre beagle e ser humano



Antonio Candido em seu escritório em 1967

## As últimas anotações

Por sugestão da mãe, Antonio Candido começou aos 15 anos a registrar impressões em cadernos. O hábito se estendeu até o final da vida do sociólogo e crítico literário, que ao morrer em 2017, aos 98 anos, deixou 74 volumes manuscritos. Os dois últimos são esmiuçados no filme *Antonio Candido, anotações finais* (2024), exibido desde setembro nos cinemas. Narrado pelo ator Matheus Nachtergaele, o documentário traz um farto material pinçado sobretudo do acervo fotográfico de Candido e da mulher, a filósofa e ensaísta Gilda de Mello e Souza (1919-2005). A coleção com cerca de 8 mil fotografias foi doada há sete anos para a Universidade de São Paulo, onde ambos foram professores. No longa-metragem, o intelectual discorre sobre assuntos como a fragilidade física advinda da “velhice inimiga”, a crise política no país durante a derrocada do governo de Dilma Rousseff e a infância no interior de Minas Gerais. “Nesse último ano e meio de vida, ele faz um retrospecto da sua trajetória sem se deixar paralisar pela melancolia, preservando o humor e a vitalidade”, observa o cineasta Eduardo Scorel, diretor do filme e gênero de Candido (Superfilmes-Cinefilmes).

## Sistema de fermentação pode aumentar produção de cacau

Um sistema de gestão no processamento dos grãos de cacau poderá quase duplicar a produção e triplicar o lucro dos produtores rurais em até três anos. As inovações conjugam o uso de uma máquina para quebrar as vagens do cacau com sistemas aprimorados de operação e logística na fermentação, secagem e armazenamento. “Com esse sistema, o produtor vai fazer uma fermentação altamente qualificada para vender o cacau fino”, destaca André Mesquita, diretor-presidente do Parque de Tecnologia do Lago de Tucuruí, incubadora abrigada na Universidade Federal do Pará (UFPA). O novo sistema prevê a instalação de uma máquina com capacidade de produzir 1.200 quilogramas de massa úmida de cacau por hora, entre outras melhorias. O próximo passo, diz Mesquita, é desenvolver uma nova máquina para quebrar as vagens. “As máquinas do mercado possibilitam a produtividade, mas sujam muito a amêndoa. Vai muito pedacinho de casca. Para o mercado do cacau básico não tem importância, mas no mercado fino tem” (*Engenharia Agrícola, Agência Bori*).

# O mapa mais detalhado da Via Láctea

Um gigantesco mapa da Via Láctea acaba de ser finalizado a partir de frequências do infravermelho detectadas pelo telescópio Vista, do Observatório Europeu do Sul (ESO), localizado em Cerro Paranal, no Chile. São 10 vezes mais objetos em relação ao resultado anterior publicado pelo mesmo grupo, em 2012. “Podemos imaginar esse trabalho como um grande censo de estrelas, no qual estamos tentando entender a estrutura e a evolução da Via Láctea”, explicou o astrofísico Roberto Saito, da Universidade Federal de Santa Catarina, em entrevista ao podcast *Pesquisa Brasil*. Saito é o primeiro autor do artigo publicado em setembro na revista *Astronomy & Astrophysics* com esses resultados. O projeto inicial previa mapear uma área de 560 graus quadrados ( $\text{grau}^2$ ), mas os resultados acabaram cobrindo 1.700  $\text{graus}^2$ . “Seria a área equivalente a 8.600 luas cheias, triplicamos a área inicial.” Nesse espaço cabe mais de 1,5 bilhão de objetos celestes. As observações realizadas pelo projeto ao longo de uma década permitiram enxergar estrelas conhecidas como variáveis pulsantes, que são bons marcadores de distância, uma das grandes dificuldades da astronomia. Com isso, foi possível mapear a estrutura tridimensional da galáxia, assim como a cinemática – os movimentos das estrelas ao longo desse período de 10 anos. Um dos feitos foi aprimorar o entendimento da parte da galáxia conhecida como bojo. “Seria um formato de caixa ou mesmo de X, que difere bastante da ideia clássica de um bojo esférico”, comemora, afirmando ser um resultado importante (*Pesquisa Brasil*, 4 de outubro).

FOTOS 1 IANISOM/GETTY IMAGES 2 ANA LUISA ESCOREL 3 ESO/VVXX SURVEY

Imagens de nuvens de gás onde estrelas se formam, exceto uma (no alto, ao centro) que mostra um denso conjunto de estrelas antigas



CAPA

# Grafeno na prateleira

Duas décadas após ser criado, o nanomaterial bidimensional de propriedades singulares é empregado em inovações tecnológicas que começam a ganhar espaço no mercado

FRANCES JONES

**O** grafeno, agora transformado em produto, está entre nós. Vinte anos depois de ter sido isolado pela primeira vez, o nanomaterial formado por átomos de carbono já pode ser encontrado em artigos à venda no país. Também figura em uma série de inovações tecnológicas em fase avançada de testes. Em um mercado ainda em formação, importadoras ou companhias locais o vendem para ser usado como matéria-prima ou já inserido em soluções desenhadas para produtos diversos, indo de aditivos para tintas e embalagens plásticas a lubrificantes. Principalmente em torno de instituições de ciência e tecnologia, surgem ecossistemas de inovação, fomentando a produção e novas aplicações para o grafeno. Grandes empresas do país nas áreas de petróleo e gás e de mineração testam em campo dispositivos com o cristal bidimensional para usá-los em seu processo produtivo.

Em São Paulo, um dos principais centros de pesquisa e desenvolvimento do material orientado para demandas de mercado é o Instituto Mackenzie de Pesquisas em Grafeno e Nanotecnologias (MackGraphe). A unidade iniciou suas atividades em 2013 no *campus* de São Paulo da Universidade Presbiteriana Mackenzie, com apoio da FAPESP. Um dos idealizadores do MackGraphe, o físico Eunézio Antonio Thoroh de Souza fundou em 2018 uma startup, a DreamTech Nanotechnology, com o objetivo de converter o conhecimento científico do grafeno em tecnologias aplicáveis ao dia a dia. A iniciativa teve a parceria da multinacional chinesa DT Nanotech, responsável pela produção do grafeno comercializado (*ver* Pesquisa FAPESP nos 284 e 291). Com a distribuidora local MCassab, a startup vem introduzindo o uso do grafeno e de outros materiais bidimensionais no mercado brasileiro. Agora, sua intenção é produzir grafeno em território nacional.

“Estamos em processo de implantação de uma fábrica em Araras, no interior de São Paulo, com capacidade para produzir 200 toneladas de grafeno por ano”, informa Thoroh. “As projeções de crescimento de demanda por grafeno justificam a implantação da nossa fábrica local, que terá como sócios executivos da DT Nanotech. Nossa expecta-

tativa é iniciar a fabricação até o final de 2025.” A empresa adotará a tecnologia de produção baseada no método de esfoliação mecânica líquida e irá focar em produtos como tintas anticorrosivas, compósitos, tintas asfálticas, lubrificantes e materiais de construção.

Também em São Paulo, a Gerdau Graphene, uma startup da Gerdau Next, braço de novos negócios da produtora de aço Gerdau, já colocou no mercado sete produtos incorporando o nanomaterial e prevê o lançamento de pelo menos outros três ainda neste ano. No portfólio da empresa, criada em 2021, há aditivos com grafeno para serem usados na produção de filmes poliméricos, matrizes cimentícias, tintas e revestimentos.

“O grafeno é hoje uma realidade comercial”, destaca a química Valdirene Peressinotto, diretora-executiva e de Inovação da Gerdau Graphene. “O nanomaterial confere ganho de propriedades aos materiais em que é incorporado, tornando-os mais resistentes e duráveis”, afirma a pesquisadora. “Nossos aditivos já são fabricados em escala industrial, na casa de toneladas ou milhares de litros. Não se trata mais de algo experimental, restrito a estudos em laboratórios.”

#### UM NOBEL PARA O GRAFENO

O primeiro estudo teórico sobre as propriedades elétricas do grafeno é de 1947, mas a história do material no campo da física experimental é bem mais recente. Remonta ao início do século, mais precisamente 2004, quando os físicos Andre Geim – um dos sócios da DreamTech Nanotechnology e da DT Nanotech – e Konstantin Novoselov isolaram na Universidade de Manchester, na Inglaterra, uma única folha de átomos de carbono a partir da esfoliação de uma placa de grafite com uma fita adesiva. Também conhecido por grafita, a grafite é um mineral extraído de jazidas.

Os dois pesquisadores depositaram aquela finíssima camada plana de átomos em um substrato que facilitava a visualização em um microscópio óptico, construíram um pequeno dispositivo e fizeram medições elétricas e magnéticas do material bidimensional. Apesar de ter a existência prevista décadas antes, os cientistas de modo geral achavam que tal material não teria estabilidade suficiente para se manter cristalizado em apenas

uma camada. Pelo trabalho, Geim e Novoselov receberam o Nobel de Física em 2010.

Com os átomos organizados em forma de treliça hexagonal, como favos de mel, em um mesmo plano, o grafeno é um material extremamente leve, bastante transparente, flexível e impermeável (ver infográfico abaixo). Tem boa condutividade elétrica e térmica e alta resistência mecânica. Suas propriedades eletrônicas e magnéticas peculiares deram origem a novas áreas da física, como a valetrônica, o estudo das alterações do comportamento dos elétrons do grafeno, e a twistrônica, a investigação dos efeitos produzidos pelo ato de girar uma das folhas de um sistema constituído por duas ou mais camadas de grafeno ou de outros materiais com apenas duas dimensões.

O grafeno também abriu o caminho para a física dos sistemas bidimensionais e para o estudo de outros materiais formados por camadas atômicas (*layered materials*), como a grafite. Assim, a descoberta de Geim e Novoselov teve forte impacto na pesquisa fundamental no campo da ciência dos materiais.

## MERCADO EM EXPANSÃO

As características singulares do grafeno e dos materiais feitos com ele trouxeram consigo a promessa de ampla aplicação tecnológica em diversos campos da indústria. A consultoria de mercado Fortune Business Insights calcula que o mercado global do material valia US\$ 432,7 milhões no ano passado. Até 2032, a estimativa é de que chegue a US\$ 5,2 bilhões, um crescimento projetado espantoso em menos de 10 anos.

As aplicações do grafeno e seus derivados se multiplicam no mundo. Ele é empregado na fabricação de eletrônicos, materiais compósitos e baterias. O segmento de nanoplaquetas ou nanoplacas de grafeno (NPG), constituídas por várias camadas de grafeno, foi responsável pela maior parcela do mercado em 2023, segundo a Fortune Business Insights. As indústrias eletroeletrônica, aeroespacial, automotiva, de defesa e de energia encabeçam o consumo do nanomaterial, de acordo com o relatório. A região da Ásia-Pacífico respondeu por 34,4% do mercado, a maior do globo.

“O grafeno tem propriedades que fazem com que ele possa ser utilizado em uma vasta gama de aplicações. Do meu centro de pesquisa já saíram seis companhias e ainda temos outras cinco para desovar”, diz o físico teórico brasileiro Antonio Hélio de Castro Neto, diretor do Centro para Materiais Avançados 2D e do Centro de Pesquisa em Grafeno da Universidade Nacional de Singapura (NUS), um dos principais polos globais de pesquisa sobre grafeno. O físico Novoselov, laureado com o Nobel, integra o quadro de pesquisadores da NUS.




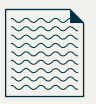
Entre as spin-offs geradas na universidade, destacam-se a NanoMolar, especializada no desenvolvimento de sensores médicos, e a UrbaX, com foco no setor de artigos para a construção civil. Mais de 200 patentes associadas ao grafeno e suas aplicações, resultantes de estudos feitos na NUS, já foram registradas, informa Castro Neto, que fez graduação em física na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e há mais de três décadas está fora do Brasil.

**A** pesar da demanda crescente em diversas áreas, ainda há desafios a serem superados para que o grafeno se estabeleça de modo mais intenso comercialmente. Um artigo publicado no início do ano por cientistas alemães no periódico *2D Materials* indica que boa parte dos fabricantes permanece em um estágio comercial inicial, tendo que enfrentar o duplo desafio de consolidar sua base de consumidores e de garantir o financiamento para escalar a produção. Também há nichos que crescem sem visibilidade pública em razão dos termos de sigilo impostos pelos clientes, que preferem não dar publicidade aos experimentos com grafeno para não chamar a atenção da concorrência e manter o segredo da fórmula na produção.

“O tamanho relativamente pequeno [do mercado] caminha com a perspectiva de forte evolução nos próximos anos, com taxas de crescimento previstas entre 20% e 50% por ano. [...] O grafeno não consegue converter imediatamente todas as suas promessas iniciais para um sucesso de mercado estrondoso. A difusão dessa nova

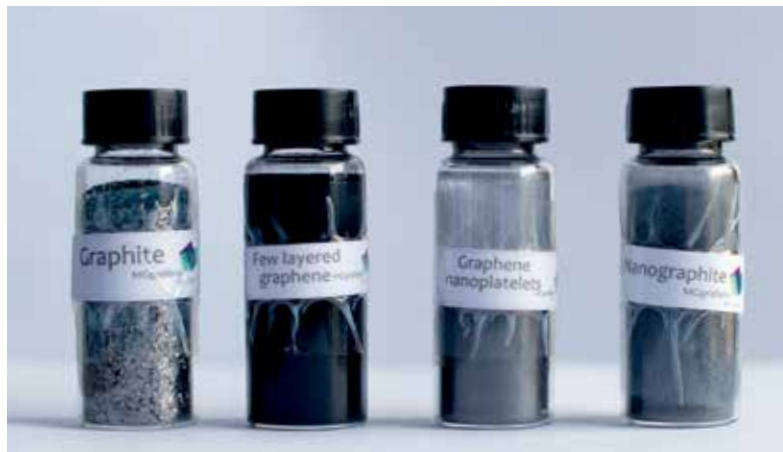
## Para entender o nanomaterial

O grafeno é o mais fino e forte material que se conhece

<b>O que é</b> 	Uma forma de apresentação (alótropo) do carbono, assim como o diamante e a grafite
<b>Estrutura</b> 	Uma ou mais camadas planas de átomos de carbono organizados em uma estrutura cristalina hexagonal, como um favo de mel
<b>Espessura</b> 	O grafeno original tem apenas um átomo de espessura. Por isso, é bem fino e bidimensional
<b>Propriedades</b> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• Flexível, leve, transparente</li><li>• Elevada resistência mecânica</li><li>• Excelente condutor térmico e elétrico</li><li>• Resistente a altas temperaturas</li><li>• Impermeável a moléculas</li></ul>



Esfoliação de grafite com fita adesiva (à esq.), solução com grafeno manipulada por pesquisador da UFMG (abaixo, à esq.) e recipientes com diferentes tipos de grafite e do nanomaterial



classe de materiais bidimensionais leva tempo”, escreveram os autores do artigo na *2D Materials*. O estudo foi realizado no âmbito da Graphene Flagship, iniciativa europeia que reúne 118 parceiros industriais e acadêmicos.

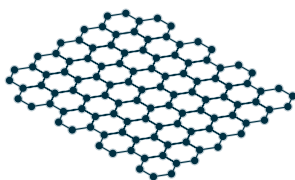
O mercado, não só no Brasil, mas no mundo todo, segundo Peressinotto, está em fase de abertura e de consolidação. A diretora da Gerdau Graphene investiga nanomateriais de carbono, como o grafeno, desde 2004, quando ainda trabalhava como pesquisadora no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), em Belo Horizonte, com um grupo ligado à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

O primeiro caso de sucesso da startup que dirige hoje beneficiou a própria Gerdau. Deu-se após um teste industrial executado com o fornecedor de filmes poliméricos usados para empacotar pregos, vendidos pela siderúrgica gaúcha. “Reduzimos a espessura da embalagem em 25%, aumentamos a resistência ao furo e ao rasgo em 30% e diminuímos as perdas do processo em mais de 40%”, ressalta Peressinotto. Com a incorporação do aditivo na linha de empacotamento dos pregos, a Gerdau pôde economizar cerca de 72 toneladas de plástico ao longo de um ano.

A Gerdau Graphene, que desenvolve seus produtos em parceria com o Centro de Inovação em

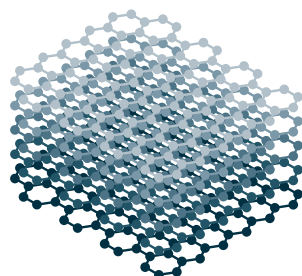
## As diversas faces do grafeno

As aplicações do material variam conforme a sua estrutura



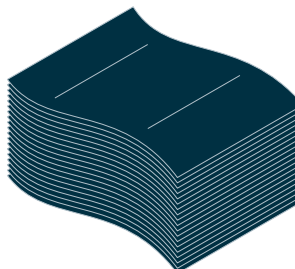
### Monocamada

Formado por uma única folha de átomos de carbono, tem propriedades eletrônicas excepcionais. Ideal para dispositivos que exigem alta eficiência e desempenho, como células solares, semicondutores e supercapacitores



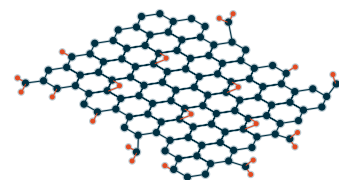
### Poucas camadas

Com três a 10 camadas, tem maior flexibilidade em algumas aplicações do que o grafeno monocamada. Usado em dispositivos eletrônicos, sensores e como aditivo para melhorar propriedades mecânicas e elétricas



### Nanoplacas

São empregadas em compostos para reforço de materiais, tintas condutoras e aditivos em plásticos, bem como em cimentos e concretos. Aumentam a resistência e a condução elétrica dos materiais



### Óxido de grafeno

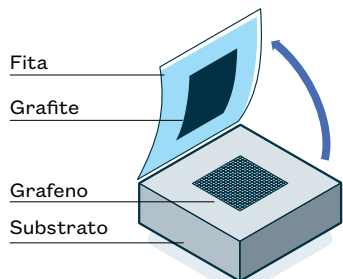
É o grafeno contendo átomos de oxigênio. Material mais versátil, serve para uma ampla gama de aplicações, como baterias, sensores químicos, sistemas de tratamento de água, entre outros

# Diferentes modos de produção

Conheça as principais rotas empregadas para obter o nanomaterial

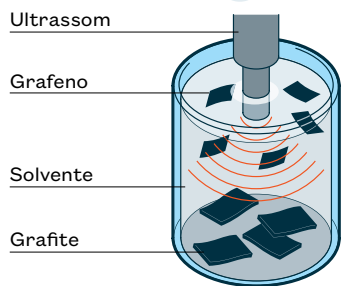
## Esfoliação mecânica

Separação de camadas a partir da grafite por meio de métodos mecânicos. Foi a primeira rota seguida para isolar o grafeno. Apesar de mais simples, é difícil escalar para a produção em massa



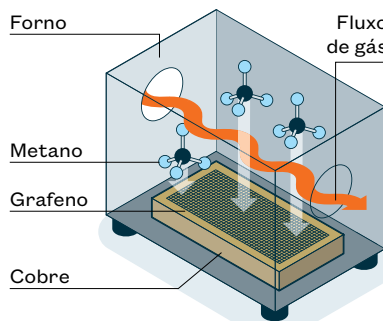
## Esfoliação em fase líquida

Esse é o método que produz maior volume. A grafite é imersa em solvente e forças hidrodinâmicas de cisalhamento (deformação paralela à superfície) trabalham para fazer a esfoliação. O grafeno sintetizado fica suspenso no líquido



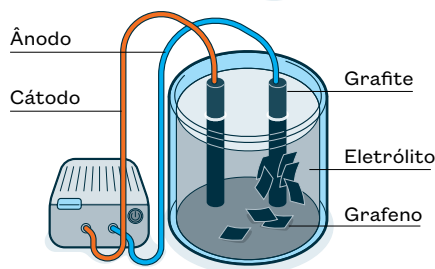
## Deposição química a vapor (CVD)

O grafeno é formado sobre uma lâmina de cobre submetida a altas temperaturas (1.000 °C) na presença de um gás ou mistura de gases contendo carbono, como o metano (CH<sub>4</sub>). O cobre age como um catalisador, liberando os átomos de carbono para formar as monocamadas



## Esfoliação eletroquímica

Forma camadas de grafeno a partir de uma solução iônica condutora (eletrólito) e uma corrente elétrica que provocam mudanças estruturais do material grafitico usado como eletrodo



FONTES MATERIAL DE REFERÊNCIA DA ABNT, LUIZ GUSTAVO CANÇADO (UFMG) E JOYCE RODRIGUES DE ARAÚJO (INMETRO)

Engenharia de Grafeno (Geic), ligado à Universidade de Manchester, compra o grafeno usado em seus aditivos de produtores do Brasil, do Canadá, dos Estados Unidos, da Inglaterra, da Espanha, da Austrália, entre outros países. A importação, explica Peressinotto, é necessária porque o país ainda não tem quem produza o insumo nos formatos exigidos pela companhia, na quantidade suficiente e com o custo competitivo.

No Brasil, o novo material tem sido usado principalmente em aplicações que exploram suas propriedades mecânicas. “As grandes aplicações do grafeno no país ainda são em tintas, elastômeros [polímeros com propriedades elásticas],

compósitos, embalagens e cimento. São usos ligados a materiais mais pesados, incluindo os da construção civil e os do setor automotivo”, afirma o físico Luiz Gustavo Cançado, da UFMG. Ex-coordenador do Projeto MGgrafeno, criado em 2016, o pesquisador e sua equipe desenvolveram um processo-piloto de produção em ampla escala do material e testaram mais de 20 aplicações.

“O grafeno é muito resistente mecanicamente. É preciso imprimir muita força para que ele se rompa. Ao misturá-lo com polímeros, borrachas, cimento ou cerâmicas, ocorre uma melhoria geral das propriedades mecânicas do material resultante”, sustenta o físico Marcos Pimenta, também professor da UFMG. “Mas não é fácil desenvolver e produzir esse material.”

**P**ioneiro nos estudos de nanomateriais de carbono no país, Pimenta criou e dirigiu por 10 anos o Centro de Tecnologia em Nanomateriais e Grafeno (CTNano) da UFMG, onde hoje, em um espaço de 3 mil metros quadrados, cerca de 100 pessoas trabalham em 10 laboratórios para desenvolver soluções e tecnologias sob demanda.

“No começo, eram principalmente projetos para duas empresas. Hoje temos várias iniciativas em andamento com companhias de diferentes setores”, conta o pesquisador.

De acordo com o físico Rodrigo Gribel Lacerda, atual coordenador-geral do CTNano, que se tornou uma unidade da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii), o centro firmou até agora parcerias com 15 empresas. Entre os projetos mais avançados está um nanossensor feito com nanotubos de carbono (camadas de grafeno enroladas em forma de cilindro) para monitorar a concentração de dióxido de carbono no gás natural extraído dos poços de petróleo do pré-sal.

“Estamos na fase de homologação do dispositivo, criado em parceria com a Petrobras. Falta realizar os testes em ambiente real para virar um produto comercial”, ressaltava Lacerda. Também nessa etapa de desenvolvimento há outro sensor de deformação para maquinários usados na atividade mineradora. Em um terceiro projeto, o objetivo é empregar o grafeno como filtro para purificação da água.

O Rio Grande do Sul sedia uma das primeiras fábricas de grafeno em operação no país. Fruto de um projeto da Universidade de Caxias do Sul (UCS), a UCSGraphene, em Caxias do Sul, está em operação desde março de 2020. A unidade, vinculada à Embrapii, utiliza a rota de esfoliação em fase líquida para desenvolvimento e produção do grafeno e de outros materiais ricos em carbono. Sua capacidade de produção supera 1 tonelada por ano.



“Além de desenvolver grafeno a partir da grafite e de outras fontes de carbono, nós nos dedicamos à criação de soluções tecnológicas contendo o nanomaterial e seus derivados, e a rotas produtivas focadas em outras nanoestruturas à base de carbono, como óxido de grafeno e grafenos modificados”, conta o engenheiro de materiais Diego Piazza, coordenador da UCSGraphene, que atua em parceria com outras empresas e institutos de ciência e tecnologia.

“Entre os diversos desenvolvimentos tecnológicos e estudos do uso do grafeno e derivados realizados por nossa equipe, está a sua utilização em materiais compósitos [polímeros, cerâmicas e metais], equipamentos de proteção, lubrificantes, tintas e revestimento, sistemas de filtração, medicina regenerativa e peças técnicas”, diz Piazza, que também é professor na UCS. “Várias de nossas soluções já estão sendo comercializadas nos setores de moda, mobilidade, logística, entre outros.”

Na capital mineira, outra instalação com condições de produção industrial prepara-se para lançar uma oferta pública de tecnologias. O CDTN abriga uma planta construída no âmbito do Projeto MGgrafeno, da UFMG, em parceria com a estatal Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (Codemge), com capacidade para fabricar cerca de 1 tonelada por ano. “Com o edital, pretendemos transferir a tecnologia que criamos para interessados em produzir grafeno para exploração comercial e industrial”, diz Caçado, da UFMG. A ideia é de que o parceiro privado utilize as instalações do CDTN.

A universidade detém, com o CDTN, a cotitularidade da propriedade intelectual gerada no projeto, relacionada à rota desenvolvida para a

produção de grafeno, baseada na esfoliação em fase líquida da grafite. O pesquisador explica que um dos grandes desafios para expandir as aplicações e o uso do material comercialmente é conseguir fabricá-lo em grande escala por um processo reprodutível.

**O**tra dificuldade é estabelecer normas para produção, controle de qualidade e segurança do insumo. Por fim, é necessário ter informações confiáveis sobre o material, que garantam que se trata realmente de grafeno e não de outra forma alotrópica do carbono, como grafite. Alótropos são substâncias simples formadas pelo mesmo elemento químico, com variação do número de átomos ou de sua estrutura cristalina.

A demanda por controlar a qualidade do grafeno que circula no país, seja ele nacional ou im-

Laboratório da Gerdau Graphene voltado a criar soluções com grafeno para construção civil



Ao lado, preparo de pasta de cimento com material contendo grafeno; mais à esquerda, grafeno em pó (atrás) e composto aditivado à base de termoplástico e do nanomaterial



portado, chegou ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro). Desde o ano passado, a entidade trabalha no desenvolvimento de um selo de conformidade por meio de um programa de certificação para o grafeno, programa conhecido informalmente como PAC (Plano de Aceleração do Crescimento) do grafeno. A previsão é de que ambos sejam lançados em meados de 2025.

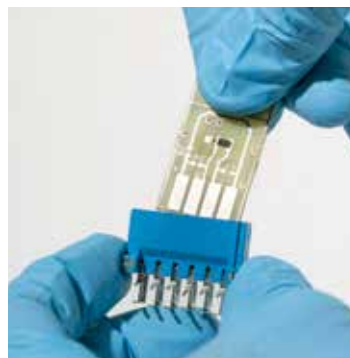
“Quando o grafeno superou o estágio da pesquisa acadêmica e virou um produto comercial, o Inmetro percebeu que devia criar métodos de medição [para verificar o número de camadas de grafeno e a pureza do material contido no produto] e elaborar um conteúdo de referência para orientar a realização de testes visando a conformidade do material a determinadas normas de ensaio. Com a ABNT [Associação Brasileira de Normas Técnicas], elaboramos as normas para identificar e classificar esse nanomaterial”, relata a química Joyce Rodrigues de Araújo, responsável pelo Laboratório de Fenômenos de Superfície e Filmes Finos (Lafes) da Divisão de Metrologia de Materiais e Superfícies do Inmetro. Ela ganhou em 2024 o prêmio 25 Mulheres na Ciência, promovido pela empresa 3M, pelo trabalho no desenvolvimento de um biogrfeno, produzido a partir do processamento de biomassas, como casca de arroz e bagaço de cana-de-açúcar.

**A**raújo explica que raramente o que se tem em produtos comerciais é a monocamada de grafeno, como a produzida na Universidade de Manchester em 2004. “O grafeno engloba uma família de compostos que diferem entre si pelo número de camadas que os constitui e o formato com os quais se apresentam”, afirma a pesquisadora. Inclui, por exemplo, o grafeno original, de uma só camada, o de múltiplas camadas e as nanoplacas de grafeno (*ver infográfico na página 15*).

“Nosso trabalho no Inmetro é definir a família, o modelo, se é grafeno em pó ou em suspensão líquida. Também estabelecemos as técnicas de ensaio que serão utilizadas pelos laboratórios que vão ser acreditados para certificar o material”, pondera a pesquisadora.

Em meio às dúvidas sobre o que pode ser chamado de grafeno, a Organização Internacional de Normalização (ISO) publicou normas sobre o tema, que foram traduzidas para o português. Elas indicam que se considera grafeno um material de carbono com até 10 camadas atômicas – ou seja, até 10 folhas de átomos de carbono empilhadas uma sobre a outra. Quando há duas camadas, chama-se bicamada de grafeno. Entre três e 10 camadas, fala-se em grafeno de poucas

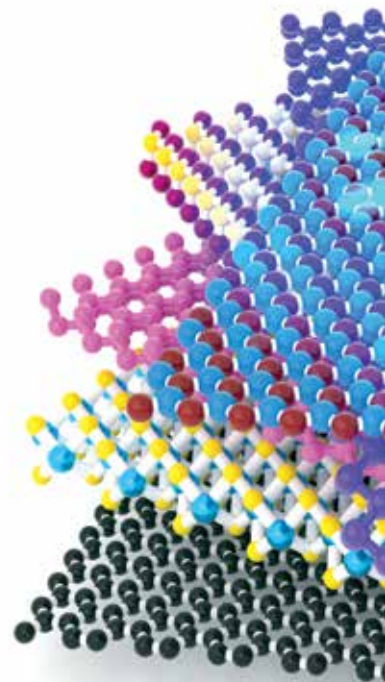
Chip com nanossensor de grafeno para detecção de gases, feito na UFMG; abaixo, biossensor com o nanomaterial para exame de glicemia, criado pela NanoMolar



camadas. “Acima de 10, ainda não há um consenso sobre a nomenclatura a ser adotada. No momento, utiliza-se a definição de nanoplacas de grafeno, desde que o material tenha pelo menos uma dimensão na nanoescala, até 100 nm [nanômetros]”, explica Araújo.

“Há uma grande discussão sobre até onde é grafeno. Quando se passa de uma para duas camadas e de duas para três, a estrutura eletrônica do material muda muito. Com mais de 10 camadas fica mais parecido com grafite. A monocamada, o grafeno original, entretanto, nem sempre é o mais interessante para as aplicações tecnológicas”, ressalta Cançado. “Pode acontecer que o de mais camadas se adéque melhor à finalidade desejada. É possível afirmar que, para a maioria das aplicações atuais, o grafeno de pouquíssimas camadas, entre uma e três, não é o mais indicado.”

O método de produção do material, explica Cançado, interfere no tipo de grafeno que se obtém, e cada um deles tem propriedades diferentes, que podem ser adequadas aos diferentes usos. Além disso, por vezes outros materiais bidimensionais são incluídos na família dos materiais relacionados ao grafeno. A esfoliação mecânica foi o



primeiro método usado para isolar o grafeno, mas ele também pode ser obtido a partir da deposição química em fase vapor (CVD) ou esfoliação em fase líquida (*ver infográfico na página 16*).

O preço do nanomaterial, afirmam os especialistas, varia muito no mercado global. Segundo Thoroh, da DreamTech Nanotechnology, o quilo do grafeno monocamada com alta pureza pode custar US\$ 2 mil. “Já os grafenos com poucas camadas que comercializamos custam aproximadamente US\$ 300 a US\$ 350 o quilograma”, diz.

**O** Brasil tem tradição e contribuições expressivas no trabalho de caracterização do material. Pesquisadores do país vêm desenvolvendo o campo científico dos nanomateriais de carbono desde a década de 1990. Em artigo publicado em 2019 no *Brazilian Journal of Physics*, Pimenta e colegas descrevem o papel da colaboração entre grupos brasileiros e o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), nos Estados Unidos, para o estabelecimento dessa ciência no país.

A física norte-americana Mildred Dresselhaus (1930-2017), então professora emérita do MIT e considerada a “rainha da ciência do carbono”, visitou o Brasil 12 vezes entre 2001 e 2013. “Antes mesmo do estudo pioneiro com grafeno de Novoselov e Geim em 2004, os cientistas brasileiros deram contribuições importantes para a ciência

da grafite e os sistemas gráfiticos”, afirmam os autores no artigo.

“Trabalho com isso desde 1999, antes que meus antigos compatriotas fizessem a extração do grafeno”, conta o físico experimental russo Yakov Kopelevich, do Instituto de Física da Unicamp e autor de artigos com centenas de citações sobre o tema, entre eles um publicado em abril de 2003 na *Physical Review Letters* sobre o comportamento da grafite no limite quântico.

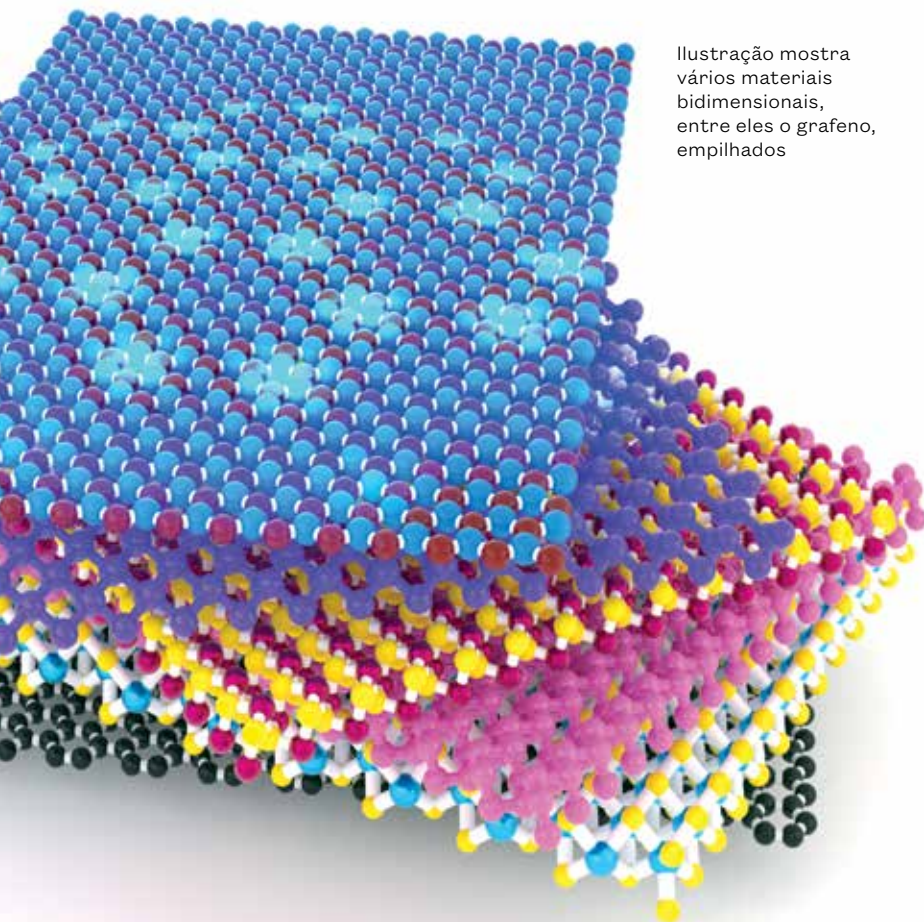
Castro Neto, da NUS, afirma que o seu primeiro artigo sobre grafeno foi rejeitado em todos os periódicos aos quais foi submetido com a explicação de que “não existe tal coisa como o grafeno”. “Por muito tempo, ninguém acreditava na existência de materiais bidimensionais, pois não se achava que eles seriam estáveis o suficiente para se manter”, lembra o pesquisador.

Em 99% dos materiais, diz o professor da NUS, os elétrons se propagam dentro do material como uma partícula livre, que tem massa e inércia. “No grafeno, em razão de a rede cristalina ser hexagonal, os elétrons se propagam com velocidade como se fossem objetos sem massa. Do ponto de vista teórico, isso era interessante. Um novo tipo de partícula se propagando no material.” Em 2009, o pesquisador brasileiro publicou na *Reviews of Modern Physics* um estudo detalhando as propriedades eletrônicas do grafeno.

Além de abrir a área das investigações de materiais com apenas duas dimensões, o grafeno também inaugurou a chamada twistrônica. Em 2018, pesquisadores do MIT descobriram um “ângulo mágico” no grafeno, ao desalinhar em exatamente 1,1 grau duas folhas do material (*ver Pesquisa FAPESP nº 302*). Com esse desalinhamento, o grafeno vira um supercondutor. Isso, contudo, precisa ocorrer em temperaturas extremamente baixas, o que acaba por dificultar sua aplicação prática. Na UFMG, os pesquisadores investigam outros ângulos de rotação, de até 30 graus. Um artigo do grupo da universidade mineira com esse tema foi capa da revista *Nature* em 2021.

Em 2024, a mesma equipe, coordenada por Cançado, da UFMG, e pelo físico Ado Jório, da mesma universidade, publicou um artigo de capa da revista *Carbon* sobre o estudo dos defeitos do grafeno usando a técnica de espectroscopia de Raman. O *paper*, que descreve a história da pesquisa para o aprimoramento da metrologia de nanomateriais, indica que o Brasil é referência na área, segundo publicação da Sociedade Brasileira de Física. O controle das propriedades do grafeno é crucial para a fabricação de dispositivos e para o processamento de informações, concluíram os autores do estudo. ●

Ilustração mostra vários materiais bidimensionais, entre eles o grafeno, empilhados



# IA sem ilusões

Especialista da USP de São Carlos alerta para os limites e impasses éticos dos programas de inteligência artificial

CARLOS FIORAVANTI E YURI VASCONCELOS retrato LÉO RAMOS CHAVES

**P**or estar na área da ciência da computação desde os anos 1980 como professora e pesquisadora, Maria das Graças Volpe Nunes sabe o que os programas de inteligência artificial (IA) mais recentes podem ou não fazer, a despeito dos exageros com que possam ser apresentados. Nesta entrevista, concedida por plataforma de vídeo, ela expõe os equívocos mais comuns relacionados a essa área, como o de pensar que a máquina compreende o que perguntamos, quando na verdade apenas fornece as sequências de palavras mais prováveis para acompanhar as que foram apresentadas.

Ela também alerta para a falta de questionamento sobre o alcance e eventuais erros dos programas. “Se algo der errado, quem deve ser responsabilizado: a máquina, o programador ou quem alimentou a máquina com informações?”, indaga Nunes, de 65 anos, que fez sua carreira no Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (ICMC-USP), em São Carlos, e hoje, aposentada, continua na instituição como professora sênior.

A pesquisadora dedicou-se a uma área de IA, o processamento de linguagem natural (PLN), que investiga a construção de sistemas que processam as linguagens humanas, escritas ou faladas. Ela foi a coordenadora do grupo que, na década de 1990, desenvolveu o Revisor Gramatical Automático para Português, um projeto pioneiro no país executado em parceria com a então fabricante de computadores Itautec-Philco e apoiado pela FAPESP (ver Pesquisa FAPESP nºs 35, 47 e 58). O revisor foi incorporado pela Microsoft ao processador de textos do Windows, disponível para consumidores brasileiros.

Casada com o matemático Wagner Vieira Leite Nunes, professor aposentado do ICMC-USP, com um filho psicólogo de 30 anos, Bruno, ela também escreve crônicas e contos, armazenados em um site, sob o pseudônimo Anelê Volpe.

---

#### ESPECIALIDADE

Processamento de linguagem natural (PLN)

#### INSTITUIÇÃO

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (ICMC-USP)

#### FORMAÇÃO

Graduação em ciências da computação pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar, 1980), mestrado em ciências da computação pela Universidade de São Paulo (USP, 1985) e doutorado em informática pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ, 1991)



**Você é conhecida principalmente pelo revisor gramatical de português, que seu grupo criou nos anos 1990.**

**O que fizeram depois disso?**

Muita coisa. Sou uma pesquisadora de inteligência artificial, de um campo bastante específico, o processamento de linguagem natural, que investiga a construção de sistemas que processam as linguagens humanas, escritas ou faladas. Chamamos de linguagem natural para diferenciar de outras linguagens, como a de programação, gráfica, matemática, entre outras. Esses sistemas podem revisar e corrigir textos, traduzir de uma língua para outra – os chamados tradutores automáticos –, resumir ou simplificar um texto, responder a perguntas – os chatbots –, analisar a coerência de um texto e sua adequação a determinado objetivo. O projeto do revisor gramatical no ICMC-USP, por sua complexidade, possibilitou a criação do Nilc, o Núcleo Interinstitucional de Linguística Computacional, que formou um grande número de linguistas computacionais, hoje espalhados por universidades brasileiras e internacionais. Aquela equipe foi responsável por criar importantes recursos necessários para o processamento do português brasileiro.

**Que recursos foram esses?**

Dicionários, léxicos, programas, enfim, recursos linguísticos-computacionais que precisávamos para processar a língua portuguesa que não existiam até então. Nosso grupo ficou conhecido e se tornou um aglutinador de pessoas espalhadas em todo o Brasil. Fizemos várias parcerias, convênios e projetos. Com isso, outras equipes de pesquisadores também se fortaleceram. Hoje há grupos de PLN bastante ativos em praticamente todas as universidades e centros de ensino no Brasil. Desde 1993, a comunidade de PLN do português organiza a conferência Propor [*International Conference on Computational Processing of Portuguese Language*]. Ela acontece a cada dois anos, no Brasil e em Portugal, alternadamente, para apresentação de resultados de pesquisas acadêmicas e tecnológicas e integração dos grupos de pesquisa da área. A mais recente, em março, foi na Galícia, na Espanha, já que muitos consideram que a língua galega e o português são variedades de um mesmo idioma.

**O que já fizeram com os portugueses e os espanhóis?**

Com os portugueses temos bastante contato, sendo o Propor a principal iniciativa. Com os espanhóis as relações se dão via projetos de cooperação científica e intercâmbio de estudantes. No fim dos anos 1990, tivemos um projeto de tradução com a Universidade de Alicante. Esse é um tema com o qual trabalhamos há muito tempo. Na mesma época, entramos em um grande projeto de tradução automática multilíngue da Universidade das Nações Unidas com representantes de cada língua da ONU. Diferentemente de como ocorre atualmente, naquela época os sistemas de tradução eram feitos para cada par de línguas. Esse projeto, que considerava a existência de uma linguagem lógica intermediária, a UNL [*Universal Networking Language*], previa um decodificador e um codificador para UNL, para cada língua natural. Dessa forma, cada equipe responsável por uma língua deveria desenvolver apenas esses dois sistemas para aquela língua. Uma

vez disponibilizados todos esses pares, qualquer pessoa poderia traduzir arquivos de texto em qualquer língua para a sua própria e vice-versa. Nós, do Nilc, ficamos responsáveis pelo decodificador e codificador da língua portuguesa.

**Deu certo?**

Não. Por duas razões. Uma delas técnica: para essa linguagem intermediária ser realmente boa, teria de ser universal, capaz de lidar com os significados de todas as línguas. Como ela precisava ter uma materialidade, escolheram o inglês. As palavras do inglês supostamente dariam conta de representar univocamente todos os conceitos em todas as línguas, e isso não ocorre. A outra limitação era política. Cada equipe – e eram dezenas – defendia seu ponto de vista e não se chegava a acordo nenhum. Não deu certo, mas do ponto de vista do PLN aprendemos muito e fizemos vários projetos de mestrado e doutorado no Nilc com recursos de tradução automática. Pouco tempo depois, a tecnologia do aprendizado de máquina [programas que aprendem a partir de dados] dominou essa área e resultou em tradutores automáticos muito superiores, como o Google Translator.

**Além do revisor, saiu outro produto comercial do seu grupo?**

Diretamente, não. O Nilc, apesar de ter nascido como um gerador de produto, não tem esse objetivo. Para nós, mais importante são os avanços do conhecimento. O núcleo é um centro de pesquisas e de construção de recursos básicos para o processamento do português, como analisadores sintáticos, semânticos, dicionários, que são a base do conhecimento linguístico. Damos acesso irrestrito a tudo o que construímos. As aplicações desenvolvidas na academia são normalmente protótipos para demonstrarem as ideias propostas. Produtos comerciais decorrem de projetos de parceria com empresas, como no caso do revisor, que teve o apoio da Itautec. Atualmente, é mais comum que empresas invistam nos grupos acadêmicos em um primeiro momento e, depois, sua equipe interna termina o trabalho desenvolvido na academia. Entre os projetos já realizados e em andamento, alguns protótipos incluem sumarizadores automáticos [ferramentas que produzem resumos de notícias ou de vários documentos] e sistemas que

“

**Nosso grupo da USP ficou conhecido e se tornou um aglutinador de pessoas espalhadas pelo país**



Cartões perfurados e disquetes usados nos primórdios da computação

simplificam textos para adequar a linguagem para as crianças ou adultos pouco letrados. Também há ferramentas que detectam *fake news*, auxiliam a escrita científica, fazem transcrição de áudio, entre outras.

#### **A que atribui os desenvolvimentos recentes da IA?**

Primeiro, ao avanço do poder computacional. Hoje os computadores são muito mais rápidos e podem se juntar para aumentar seu poder. Segundo, à computação em nuvem, que amplia a capacidade computacional para muito mais gente. Essa elevada capacidade de processamento possibilitou que antigos modelos de inteligência artificial, as redes neurais artificiais [RNA], pudessem mostrar seu real potencial. RNA são modelos matemáticos de processamento inspirados no funcionamento do cérebro humano. São programas formados por camadas de processamento capazes de promover o aprendizado de um determinado conceito a partir de muitos exemplos daquele conceito. A quantidade de dados que é fornecida para o programa aprender é muito relevante para o resultado final, assim como a estrutura da rede neural. Esses modelos existem há muito tempo, mas requeriam muitos dados e muito poder computacional, que só hoje temos. Além disso, o modelo de redes neurais profundas [*deep learning*] revolucionou a área com resultados muito expressivos.

#### **Todos têm acesso a essas tecnologias?**

Vou falar de PLN. Os grandes modelos de linguagem [LLM, em inglês], que são

treinados a partir de imensos volumes de dados e de parâmetros, representam a língua em que foram treinados. Dessa forma, são capazes de gerar textos com qualidade comparável à dos humanos – às vezes, até superior. Embora seja possível conversar naturalmente com um chatbot baseado em LLM, como o ChatGPT, ele não compreende a língua. Essa “mágica” ocorre devido a um complexo sistema de camadas de pesos numéricos. O fato é que atualmente quase todos os problemas de PLN e IA podem ser resolvidos com LLM com desempenho muito superior ao dos sistemas anteriores. Mas esses modelos são muito caros de se construir por necessitarem de muitos dados, de muita gente para tratá-los, de servidores muito potentes e de muita energia. Apenas as grandes multinacionais de tecnologia, as *big techs*, detêm essa capacidade. Para ter acesso a esses modelos, é necessário pagar pela sua melhor versão ou usar uma mais limitada. Ou ainda alugar servidores em nuvem para treinar seu próprio modelo, o que é muito caro. Seja como for, o mundo todo está à mercê dos detentores dessa tecnologia. Em larga medida perdeu-se o controle sobre o que fazem esses sistemas. Até as informações linguísticas clássicas, como ortografia, gramática, significado de palavras etc., já não são tão necessárias. É um grande ponto de ruptura para o PLN. Estamos a um passo de jogar fora tudo o que fizemos até aqui para nos apoiar apenas nos LLM e seguir adiante.

#### **Falta crítica ao uso de IA?**

Sim. Deveria haver um compromisso ético

das pessoas que fazem IA, mas não tenho certeza se elas têm noção do alcance das suas decisões. Será que estão escolhendo os dados com discernimento, prevendo o impacto das decisões delas? Acho que não. As *big techs* contratam muitas pessoas no mundo subdesenvolvido para reunir conjuntos de dados e treinar os programas. As pessoas que trabalham sobre esses dados estão desconectadas dos objetivos daquilo que estão fazendo. Do lado da academia, não vejo ainda uma atitude de mudança do comportamento para chamar a atenção para isso. É nossa obrigação questionar. Da mesma forma que devemos divulgar como a IA pode ajudar a solucionar vários problemas da sociedade – na medicina, na agricultura, na segurança pública, no bem-estar –, temos a obrigação de alertar sobre seus limites e potenciais riscos. Se não temos respostas para tudo, se não sabemos como mitigar esses problemas, que ao menos possamos alertar a sociedade para que ela própria tome as medidas cabíveis. É o que temos visto fazer vários órgãos governamentais pelo mundo afora.

#### **Vem daí a necessidade de regulamentar os usos da IA?**

Exato. Temos de fazer regulamentações, como está sendo discutido no Brasil e em outros países (*ver* Pesquisa FAPESP nº 331), porque os modelos de IA generativa, entre eles o ChatGPT, tem senões. O maior deles é que os programas não são explicáveis. Nem mesmo quem faz os programas sabe direito o que acontece lá dentro, porque são milhões de combinações de números e funções. Também não se sabe dizer como surgem os erros e quem os causou. Se algo der errado, quem deve ser responsabilizado: a máquina, o programador ou quem alimentou a máquina com informações? E o que fazer para corrigir os erros? Não se sabe, porque esses programas não são explicativos. É por isso que se diz que a IA generativa não tem transparência. A empresa responsável precisaria dizer aos seus clientes exatamente como eles funcionam, quais resultados pode-se esperar deles e em que situações eles podem errar. Mas isso não acontece. Hoje, muitos da comunidade de IA pesquisam formas de mitigar essas deficiências.

#### **Por causa da forma que os programas são construídos?**

Sim, por conta do modelo de redes neurais profundas, dos modelos de língua etc. Precisamos de regras porque esses sistemas têm um risco enorme de gerar resultados imprevisíveis e potencialmente nocivos. O problema é que já há pessoas usando essas tecnologias sem que existam regras que definam o que deve ser feito para lidar com as consequências eventualmente indesejadas. Veja o caso do treinamento de modelos de língua com dados das redes sociais. Pela natureza das redes, o material linguístico usado para treinar o modelo pode estar contaminado de expressões de racismo, xenofobia, homofobia e outros valores indesejados, cuja propagação é nociva. Precisamos ter muito cuidado. Mas não estamos tendo.

### Quais são os grandes desafios do PLN hoje?

O sucesso repentino promovido pela tecnologia dos LLM tornou-se paradoxalmente um desafio para a área. Como adotar como solução um modelo pouco transparente e controlável para resolver todo tipo de problema? Mas há outros. Um dos grandes desafios é tratar computacionalmente a semântica da língua natural, ou seja, fazer com que um sistema seja capaz de eleger o correto sentido expresso por uma sentença ou texto. A máquina entende muito bem a forma de uma língua. Ensinamos a ela o que é uma palavra, como formar sentenças gramaticalmente corretas, porque expressamos racionalmente a morfologia e a gramática. Já o sentido, não, porque não há regras formais para definir o sentido, o significado. Os LLM parecem resolver o problema da significação, mas é uma impressão equivocada. Os modelos de línguas são programas que conhecem trilhões de palavras em seu contexto, como as sentenças, e acabam “aprendendo” aquela língua. Se você perguntar: “Estou com frio hoje, o que você me sugere usar?”, o sistema vai responder algo como: “Sugiro uma blusa de lã”. Fica-se com a impressão de que ele entendeu a pergunta.

### Ele não entendeu?

É uma ilusão. A máquina recebeu tanta informação que apenas fornece a sentença mais provável que deve aparecer depois de uma sequência de palavras apresentada, que, para o internauta, é

uma pergunta. O programa não tem a menor noção de que é uma pergunta, porque lida apenas com sequências de palavras. Quem dá sentido ao que foi dito somos nós, considerando uma resposta adequada à pergunta. Nós também não sabemos como se processa nosso entendimento, como damos significado às palavras e às coisas. Como é que esperamos poder construir uma máquina que faça o que nem nós sabemos? Há outros problemas. Assim como todo sistema de IA, os resultados do PLN não são exatos, são sempre aproximações das soluções ideais. A tradução automática é muito boa, mas não é perfeita; um resumizador automático pode ser muito útil, mas não é perfeito. Temos de ver os problemas éticos e os erros dos programas enquanto os construímos, não depois. Se o algoritmo apresentar alguma situação de risco, temos de evitar e corrigir. Em vez de tentarmos achar a solução ótima a qualquer custo, que tal ficarmos com a melhor solução que evite riscos e prejuízos?



**Deveria  
haver um  
compromisso  
ético das  
pessoas que  
fazem sistemas  
baseados  
em inteligência  
artificial**

### Como minimizar esses problemas?

O que está ao nosso alcance é mostrar o conhecimento que temos e esclarecer sobre como essas coisas se dão. Essa é uma preocupação do grupo Brasileiras em PLN, do qual faço parte e que já tem 211 participantes. Em 2023 lançamos o livro *Processamento de linguagem natural: Conceitos, técnicas e aplicações em português*. É uma edição on-line e gratuita. Até então, não havia um livro didático sobre o PLN em português que fosse tão abrangente. Helena Caselli, da UFSCar, e eu somos as organizadoras do livro, que tem mais de 60 autores. Queremos mantê-lo sempre atualizado e mostrar o que está por trás dos sistemas de PLN que trabalham com a língua portuguesa. Em novembro será lançada a terceira edição ampliada e atualizada do livro.

### Há outras iniciativas?

Desde que criamos o Nilc estamos construindo mais recursos para o português, como um grande *corpus* [coletâneas de documentos] para treinar LLM, mas que seja abrangente e variado o suficiente para ser representativo da língua que queremos modelar. Há grupos de pesquisa, como o Centro de Inteligência Artificial, apoiado pela FAPESP e pela IBM, do qual participo, que faz o mesmo. Mas tudo isso demanda tempo, dinheiro e recursos humanos. No final de 2022, o mundo foi atropelado por uma startup, a Open AI, que lançou o ChatGPT, um chatbot que usa modelos de línguas naturais, incluindo o português. Vejo uma ânsia muito grande em produzir sistemas rapidamente, porque esses novos modelos permitem. Esses programas podem ser usados em escolas, por crianças, ainda que estejam muito mal testados. O ChatGPT é um exemplo. Quando surgiu, foi uma maravilha, mas alguns dias depois todos já perceberam que ele produzia muitas informações falsas.

### Por que se interessou por programação?

Sou de Sertãozinho, cidade paulista perto de Ribeirão Preto, e vim para São Carlos em meados dos anos 1970 para fazer um curso de biblioteconomia. Já me fascinava estar com os livros, embora não tivesse consciência disso naquela época. Mas cursei apenas seis meses. Eu precisava de um desafio maior do que aquele. Como já estava aqui, examinei os cursos das duas



universidades, UFSCar e USP. Optei por fazer na universidade federal o curso de computação, na época vista como a profissão do futuro, embora eu não tivesse a menor ideia do que era. Aliás, no primeiro ano de computação, em 1977, a gente não tinha contato com computador. Havia apenas um minicomputador, míni só no nome, pois era uma máquina enorme. Ficava numa sala grande e refrigerada, com uma pessoa recebendo os cartões e as fitas perfuradas que codificavam os programas.

#### **O que estudou no mestrado e no doutorado?**

Comecei o mestrado na USP em uma área chamada análise de algoritmos sob orientação da professora Maria Carolina Monard [1941-2022]. Eu comparava qual algoritmo fazia a melhor busca de palavras em arquivos de texto, bem antes da internet, do Google e de outras ferramentas de busca. Meu doutorado foi feito na PUC do Rio sob a orientação do cientista da computação Tarcísio Pequeno, que na época trabalhava com teoria da computação. Lá, conheci duas professoras, Clarice Sieckenius de Souza e a jamaicana Donna Scott, da Universidade de Brighton, na Inglaterra, que estava lá em um ano sabático. Com elas comecei a trabalhar com PLN. Terminei o doutorado, voltei para a USP de São Carlos, onde já atuava como professora e logo iniciamos o projeto do revisor gramatical. A partir daí mergulhei na área de PLN e passei a atuar definitivamente nesse campo.

#### **Qual a importância de Monard para a IA brasileira?**

Ela foi pioneira nas pesquisas de IA no país. Como professora titular do Departamento de Ciências da Computação do ICMC-USP, orientou um grande número de pesquisadores desde os anos 1980. Sempre fez pesquisa de alta qualidade e desbravou a área de aprendizagem de máquina, responsável pelo grande avanço da inteligência artificial. Em ambientes predominantemente masculinos, como toda a área de ciências exatas e as profissões tecnológicas, Monard foi um exemplo para muitas jovens. Infelizmente, o número de mulheres que optam pela informática caiu muito nas últimas décadas. Quando eu era estudante na UFSCar, da terceira turma de ciências da computação, a quantidade de meninos

“

## **Antes, a quantidade de meninos e meninas na computação equivalia. Hoje, o número de mulheres caiu muito**

e meninas era praticamente a mesma. Conforme a sociedade foi se informatizando e as profissões em computação foram se popularizando – e não é que isso seja uma causa –, o número de mulheres nessa área caiu bastante. Vejo, contudo, que há hoje vários movimentos de inclusão de meninas nas ciências exatas em geral e, em particular, em computação. Acredito que esses interesses mudam de tempos em tempos, dependendo de fatores que vão além da aptidão de cada um. Seja como for, a ampla divulgação da área, a quebra de preconceitos de gênero e os exemplos de mulheres que ocupam posições de destaque são instrumentos eficazes para reverter esse quadro.

#### **Por que se aposentou em 2013, com menos de 60 anos?**

Pedi a aposentadoria porque já tinha completado o tempo necessário. Achei que já tinha contribuído bastante. Fui coordenadora do curso de computação na graduação e do programa de pós-gra-

duação, participei de todas as comissões possíveis e imagináveis. Concluí que não precisavam mais de mim, e que na sala de aula os alunos iriam se beneficiar mais dos professores mais jovens, que tivessem feito doutorado recentemente, pois em áreas tecnológicas a atualização constante do conhecimento é muito importante. O nosso grupo de pesquisa, o Nilc, estava muito bem administrado pelo professor Thiago Pardo, que foi meu aluno de doutorado. Também não precisavam mais de mim ali.

#### **Saiu, mas não parou, certo?**

Continuo na USP como professora sênior. Dou algumas aulas eventuais e acompanho os trabalhos do Nilc. Um deles é o Poetisa, um projeto que reúne vários grupos para a construção de *corpus* do português escrito e falado no Brasil. Esses textos servem, entre outras coisas, para treinar algoritmos que fazem análise sintática [*parsing*], uma tarefa importante para a maioria das aplicações em PLN. Há vários *parsers* de português, mas temos espaço para melhorar. Esse é um trabalho para muitos anos. Outro projeto do grupo trata de processamento de fala, coordenado pela professora Sandra Aluísio, também do ICMC-USP. Pretendemos criar transcrições da linguagem falada, a partir de áudios, com amostras representativas do Brasil, e depois empregar nas aplicações que vão usar áudio de português.

#### **Quando começou sua carreira de escritora?**

É um desejo antigo, mas talvez lá atrás eu não reconhecesse. Hoje vejo que, se não fosse professora, adoraria ser escritora. Comecei a escrever em 2005, antes de me aposentar. Fiz umas crônicas, gostei e decidi continuar. Em 2007, descobri um aplicativo chamado 700 palavras. Ele propunha que durante 30 dias você escrevesse 700 palavras por dia. Topei o desafio e durante um mês escrevi uma crônica diariamente. Foi muito divertido. Hoje tenho um site, que construí no início da pandemia, com tudo que eu já havia escrito. Não queria publicar um livro porque eram coisas muito pessoais, muito envergonhada também, mas num site, com o pseudônimo de Anelê Volpe, me sinto mais livre. Até publiquei um livro, sobre a história da minha família, para dar para os meus familiares. ●

PRODUÇÃO CIENTÍFICA



**Por mais  
revistas  
influentes**

A biblioteca SciELO se torna uma iniciativa de caráter nacional, reafirmando a aposta do país em periódicos acadêmicos de acesso aberto

FABRÍCIO MARQUES — ilustrações JULIA JABUR

**A** biblioteca eletrônica SciELO Brasil, criada no fim da década de 1990 e pioneira em acesso aberto a revistas acadêmicas, vive uma transformação no modelo de gestão e de financiamento que ambiciona aumentar o prestígio e a repercussão da produção científica do país. Composta por 324 periódicos do Brasil de diversas áreas do conhecimento, que oferecem livremente na internet mais de 500 mil trabalhos científicos, a coleção passou a ser financiada a partir de agosto por um consórcio de agências de apoio à pesquisa composto pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), do governo federal, além da FAPESP.

A principal novidade é que a FAPESP, que promoveu a criação da biblioteca como um programa-piloto de 10 periódicos em 1997 e foi responsável quase que integralmente por seu financiamento por mais de 26 anos, optou por ter uma posição menos proeminente na formação do consórcio, arcando a partir de agora com pouco menos da metade (47%) dos custos – a contrapartida do governo federal, por meio da Capes (48%) e do CNPq (5%), tornou-se majoritária. A mudança tem implicações que vão além do patrocínio reforçado à coleção SciELO, cuja sigla significa Scientific Electronic Library Online. Sinaliza também a transformação da biblioteca em uma iniciativa de caráter nacional, com um papel nas políticas do país de acesso aberto e de ciência aberta, um conceito que envolve também abertura e compartilhamento de dados de pesquisa, princípios e práticas transparentes e forte colaboração.

Foi formado um comitê gestor com representantes das três agências e da biblioteca que, no prazo de um ano, vai traçar novas estratégias e objetivos a serem alcançados. Estão na mesa de discussão, por exemplo, sugestões para ampliar o tamanho da coleção e aumentar a visibilidade internacional dos periódicos. “Uma das ideias é criar métricas de qualidade que ajudem as revistas

a ampliar o impacto e a repercussão dos artigos que publicam, estabelecendo recompensas para que os títulos mais bem classificados em suas áreas do conhecimento se aperfeiçoem ainda mais e metas para que os demais subam de patamar”, afirma o diretor científico da FAPESP, o geneticista Marcio de Castro Silva Filho.

O debate ainda está em uma fase preliminar, mas o propósito é oferecer revistas de prestígio para que pesquisadores brasileiros de diferentes disciplinas possam disseminar sua produção científica. “Queremos que a biblioteca SciELO seja fortalecida, que tenha mais revistas e mais impacto”, resume a presidente da Capes, a médica Denise Pires de Carvalho. A coleção segue oferecendo uma plataforma digital para periódicos e zelando para que eles cumpram um elenco de critérios de qualidade exigidos internacionalmente, relacionados à formatação de documentos, à periodicidade de publicação, ao uso do inglês como idioma dos artigos, à ampliação de autores do exterior, à revisão por pares ou à composição de conselhos editoriais.

“O objetivo é promover profissionalismo, internacionalização e sustentabilidade nas revistas”, explica o biblioteconomista Abel Packer, que criou a coleção em 1997 com o bioquímico Rogério Meneghini e segue sendo seu diretor. “A transição na gestão está ocorrendo com o mínimo de impacto na operação da biblioteca”, diz ele. Em vez de ser gerida por um pesquisador responsável por um projeto financiado pela FAPESP, como ocorria desde sua criação, sua governança passou agora a ser de responsabilidade do comitê gestor. A execução dos projetos continua a cargo da Fundação de Apoio à Universidade Federal de São Paulo (FAP-Unifesp). Outra mudança em discussão é transformar a estrutura da biblioteca em algo que dê a suas revistas suporte semelhante ao de uma editora de periódicos e buscar mais parceiros que contribuam para sua manutenção, como ministérios, fundações de amparo à pesquisa, organizações e empresas.

Segundo Packer, a formação do consórcio de agências se tornou possível graças a uma conjun-

tura em que a FAPESP se mobilizou para dar um escopo nacional à iniciativa e encontrou receptividade no governo federal. “A Capes, a partir do ano passado, começou a adotar uma política em prol do acesso aberto e da ciência aberta e a traçar uma estratégia mais abrangente para lidar com a produção científica brasileira na qual a SciELO se encaixa”, explica.

**L**igada ao Ministério da Educação, a Capes é uma fundação do governo federal responsável pelo financiamento de bolsas e pela avaliação dos programas de pós-graduação do país e sempre teve influência sobre os rumos das publicações acadêmicas. Há cerca de duas décadas, adotou um sistema de classificação de revistas científicas, o Qualis-periódicos, usado para avaliar a qualidade da produção dos estudantes e docentes dos cursos de mestrado e doutorado do país e definir o número de bolsas para os programas. Houve mudanças recentes no modelo de avaliação relacionadas ao uso desse ranking (*ver box*), mas, analisando retrospectivamente, a classificação da Capes desestimulava estudantes e docentes de pós-graduação a submeter manuscritos à maioria das revistas indexadas na SciELO porque poucas delas eram valorizadas pela escala do Qualis. “É importante que mais revistas do Brasil se tornem a primeira

opção de escolha dos nossos pesquisadores na hora de publicar seus trabalhos”, afirma o presidente do CNPq, o físico Ricardo Galvão.

Acontece que só uma proporção pequena dos periódicos da coleção tem impacto comparável ao de títulos de prestígio internacional em suas áreas. O impacto de uma revista é medido por indicadores bibliométricos calculados por plataformas internacionais a partir do número de citações que seus artigos recebem de artigos divulgados em outros periódicos. Um dos entraves é que uma parte dos títulos da biblioteca brasileira dissemina predominantemente trabalhos de repercussão regional, que, mesmo relevantes, raramente são citados em revistas internacionais que predominam nas plataformas. É certo que também há autores que produzem resultados apenas incrementais e não despertam interesse de outros pesquisadores.

A Capes ainda lida com publicações acadêmicas em outro de seus programas: o Portal de Periódicos, que dá acesso a pesquisadores de instituições e universidades públicas ao conteúdo de milhares de revistas internacionais (*ver Pesquisa FAPESP nº 304*). Para pagar assinaturas ou remunerar as editoras que franqueiam suas publicações, só no ano passado a agência investiu R\$ 546 milhões. Recentemente, tem buscado estabelecer novos tipos de acordos com as editoras a fim de incluir em uma única conta as despesas com assinaturas

## Mudanças à vista

Sistema que ranqueia revistas científicas será substituído por classificação com foco direto nos artigos

O Qualis-periódicos, sistema de classificação de revistas científicas criado pela Capes, não será mais usado para avaliar a produção de estudantes e docentes dos programas de pós-graduação do Brasil no quadriênio de 2025 a 2028, de acordo com o diretor de avaliação da instituição, Antonio Gomes de Souza Filho. “Essa é uma mudança conceitual. A avaliação passa a se concentrar na qualidade e classificação do artigo e não somente no desempenho bibliométrico da revista científica em que ele foi publicado”, explica. A proposta, aprovada no início de outubro pelo Conselho Técnico-Científico da Educação Superior da Capes, prevê três novos procedimentos de classificação de artigos, que poderão ser combinados, a depender do que

definirem as coordenações de cada área do conhecimento.

No primeiro, ainda são levados em conta os indicadores bibliométricos da revista em que o artigo é publicado, como suas citações. “Alguns preceitos do Qualis continuam, mas não teremos mais aquela lista de periódicos”, diz o diretor. No segundo procedimento, serão combinados índices de citação obtidos pelos artigos com seus indicadores alternativos, ou “altimétricos”, como menções em sites e redes sociais e número de downloads, e também com critérios qualitativos do periódico em que ele foi publicado, valorizando, por exemplo, revistas de acesso aberto de boa qualidade ou de relevância nacional, a exemplo das indexadas na coleção SciELO. Já o terceiro procedimento tem foco

não em métricas, mas na avaliação qualitativa de cada artigo, observando, por exemplo, sua contribuição científica e o impacto teórico.

“Com a ampliação de procedimentos, essa nova metodologia permite avaliar de forma mais precisa diferentes artigos publicados em uma mesma revista. Em vez de atribuir a eles uma mesma classificação baseada no impacto do periódico, é possível identificar contribuições específicas que cada um deles promoveu. Vemos isso como um avanço importante”, destaca Souza Filho. A metodologia será aplicada na avaliação a ser concluída em 2029. A Capes deve publicar documentos orientadores, com o detalhamento de cada procedimento, em março de 2025. SARAH SCHMIDT



e o pagamento das taxas de publicação em acesso aberto de artigos de pesquisadores brasileiros em seus periódicos. Esse modelo, denominado *read and publish* (leitura e publicação), vem se tornando prevalente principalmente na Europa. “No futuro, quando tivermos uma base forte de revistas brasileiras, poderemos reduzir nossa dependência de periódicos estrangeiros e ganhar poder de barganha ao negociar os acordos com as editoras”, diz Carvalho, da Capes.

**A** biblioteca SciELO brasileira tornou-se uma iniciativa de acesso aberto reconhecida internacionalmente – seu modelo inspirou a criação de coleções com o mesmo nome em outros 16 países, na maioria latino-americanos, mas também em Portugal, Espanha e África do Sul. Se desdobraria, ainda, em outras iniciativas no país, como SciELO Livros, plataforma que disponibiliza mais de 2 mil obras acadêmicas, SciELO Preprints, repositório de manuscritos ainda não submetidos à revisão por pares, e SciELO Data, que armazena dados de pesquisa relacionados aos artigos das revistas.

A rigor, a criação da biblioteca antecedeu em alguns anos o lançamento do movimento internacional de acesso aberto que, a partir dos anos 2000, passou a propagar a ideia de que resultados de pesquisa obtidos com financiamento público devem ficar disponíveis prontamente na internet para qualquer pessoa interessada, sem que seja preciso pagar assinaturas ou tarifas. O mercado das publicações científicas tornou-se muito diferente do que era na virada do século. Hoje, é possível divulgar um trabalho científico em acesso aberto de várias maneiras diferentes: em repositórios de *preprints*, para manuscritos ainda sem revisão por pares; na página pessoal

do autor ou em repositórios de universidades, com autorização da revista em que o artigo foi publicado; em periódicos sem fins lucrativos ou que não cobram taxas dos autores, como alguns mantidos por principalmente sociedades científicas e presentes na coleção SciELO.

E também há uma quantidade crescente de revistas de editoras comerciais que divulgam artigos livremente na web. Para financiar suas operações sem cobrar taxas dos leitores, os periódicos passaram a exigir que os autores paguem quantias às vezes elevadas, as chamadas taxas de processamento de artigos (APC). “Nós imaginávamos que o acesso aberto poderia tornar mais barata a publicação de artigos, mas hoje isso custa mais caro do que no passado”, afirma Packer.

Galvão, do CNPq, observa que o caminho trilhado recentemente pelo movimento de acesso aberto prejudica enormemente países em desenvolvimento como o Brasil. “Para publicar um artigo em uma boa revista internacional, é preciso pagar US\$ 3 mil – em alguns casos, US\$ 10 mil. O custo é muito alto e pode inviabilizar nossa capacidade de publicar em periódicos de impacto”, afirma (*ver Pesquisa FAPESP nº 327*). “É preciso fortalecer as revistas do Brasil e a melhor candidata para criar um sistema robusto é a biblioteca SciELO, que tem história e experiência no assunto”, afirma. Ele observa que, nos últimos tempos, o CNPq vem sendo pressionado a criar um repositório para abrigar e compartilhar dados de pesquisas produzidas no Brasil, um dos requisitos do conceito de ciência aberta, mas afirma que isso requer investimentos muito elevados. “A meu ver, cada universidade e instituição deveria ter um repositório próprio. Essa conversa também nos leva à importância de valorizar a biblioteca SciELO, que dispõe de uma estrutura de armazenamento de dados de pesquisa relacionados aos artigos publicados”, afirma. ●



# O desafio de furar a bolha acadêmica

Universidades federais abraçam a comunicação no ambiente digital, mas ainda conversam com um público limitado

SARAH SCHMIDT

**A** maioria das universidades federais brasileiras monitora suas ações de comunicação de maneira limitada e não sabe como o público recebe o conhecimento disseminado ou interage com ele, apesar de estarem presentes de maneira expressiva nas redes sociais. Essa é uma das conclusões de um estudo conduzido por um grupo de pesquisadores do Departamento de Política Científica e Tecnológica (DPCT) do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), publicado em setembro no *Journal Of Science Communication*. A pesquisa avaliou a comunicação pública e a de ciência e tecnologia produzidas por 51 dessas instituições (73,9% do total do país) no ambiente digital.

Quando os dados foram coletados, em 2022, todas as instituições avaliadas tinham perfis no YouTube e no Instagram, 98% estavam no Facebook, 84,3% no X, quase 60% no LinkedIn e no WhatsApp e apenas oito (15,7%) usavam o TikTok (*ver gráfico*). Os dados foram obtidos com base nas respostas de gestores de comunicação a um

formulário com 32 questões acerca da percepção desses profissionais sobre a comunicação feita pelas instituições, além dos indicadores que elas adotam e da estrutura de suas equipes.

Cerca de 30% delas não monitoram suas ações de comunicação. Das que o fazem, a maioria (55%) não as acompanha de maneira sistemática, com regularidade e periodicidade. Apenas 17,6% usavam ferramentas profissionais, que permitem análises mais completas do que as fornecidas pelas plataformas de redes sociais. E só 13,7% afirmaram ter indicadores próprios de acompanhamento, com objetivos específicos de interesse, de acordo com suas estratégias de comunicação.

“Monitorar o desempenho das ações de comunicação pública é essencial para entender como as pessoas interagem e respondem ao conteúdo”, observa a jornalista Cibele Aguiar, primeira autora do artigo, fruto de sua pesquisa de doutorado, defendida em março de 2023 no DPCT. “A prática sistemática de monitoramento também reúne evidências importantes para que essas ações sejam aprimoradas”, complementa. Aguiar é a responsável pelas mídias sociais da Universidade Federal de Lavras (Ufla), em Minas Gerais. Alguns dos dados compartilhados nesta reportagem são também de sua tese.

#### INDICADORES

Em uma das etapas da pesquisa, Aguiar selecionou e validou 26 indicadores que permitiram monitorar e mensurar o desempenho da comunicação pública de ciência e de tecnologia das universidades. Os indicadores foram divididos em três tipos: informacionais, de engajamento e participativos. Uma discussão sobre essas métricas foi apresentada em um artigo no *Journal of Science Communication – América Latina* de novembro de 2022.

Em seguida, a pesquisa avaliou a percepção dos gestores de comunicação das universidades federais sobre o uso desses indicadores, que sinalizaram quais dessas métricas já eram aplicadas no

acompanhamento dos perfis nas redes sociais das instituições. O estudo aponta que a maioria delas concentra suas análises no tipo informacional, que estima a disseminação e o alcance dos conteúdos publicados sobre ações da universidade e suas pesquisas, como frequência de postagens (78,4% do total) e crescimento de seguidores (74,5%).

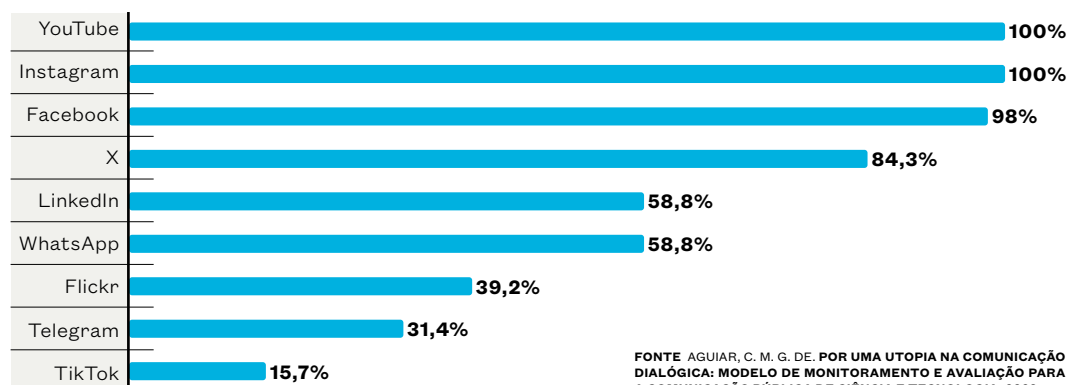
Os indicadores de engajamento e de participação, que medem a interação efetiva com o público, são menos utilizados que os informacionais. Nos de engajamento, que avaliam o quanto o público interage com os conteúdos divulgados, só 5,8% calculam o percentual de pessoas de fora da academia que fazem comentários, por exemplo.

**N**os indicadores de participação, que aferem o envolvimento do público em ações das instituições, a maioria é usada por menos de 20% delas. Esses índices monitoram, por exemplo, a presença e o alcance dos canais de comunicação dos programas de pós-graduação nos ambientes digitais ou a participação social em projetos de pesquisa. “Os três tipos são complementares e indicam camadas que podem ser atingidas e combinadas. Eles fazem parte de um modelo ainda em desenvolvimento”, observa Aguiar.

“Os dados sugerem que estamos longe de uma comunicação pública de ciência e tecnologia de caráter mais complexo ou capaz de medir seu nível de diálogo com o público. Ainda estamos falando para nós mesmos”, observa Sérgio Salles-Filho, coordenador do Laboratório de Estudos sobre Organização da Pesquisa e da Inovação (Lab-Geopi) da Unicamp, um dos autores do artigo e orientador da tese. Ele destaca, no entanto, que há um esforço por parte de todas as universidades participantes do estudo de comunicar suas ações e resultados de pesquisas para um público mais amplo, representado pelo alto índice de presença

## As universidades nas mídias digitais

Porcentagem de instituições de ensino superior federais – de um total de 51 que responderam ao questionário – que estão em plataformas de redes sociais



FONTE: AGUIAR, C. M. G. DE. POR UMA UTOPIA NA COMUNICAÇÃO DIALÓGICA: MODELO DE MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO PARA A COMUNICAÇÃO PÚBLICA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. 2023

Segundo **72,5%**  
das universidades,  
a maior parte do  
público que acessa  
e se engaja com  
suas informações  
de C&T tem  
perfil acadêmico

nas redes sociais. “É uma pauta importante da chamada avaliação responsável, que procura olhar para métricas de engajamento com a sociedade, indo além do número de publicações”, diz.

Os dados indicam que um dos principais desafios da comunicação das universidades federais é furar sua bolha e chegar a parcelas mais abrangentes da sociedade. Segundo 72,5% dos gestores, a maior parte do público que acessa informações de C&T publicadas pelos canais das instituições e demonstra algum engajamento tem perfil acadêmico – são estudantes, professores e pesquisadores. Apenas 11,8% estimam que a maior parte das pessoas é formada por um público não acadêmico. Os 15,7% restantes disseram não conhecer o perfil do seu público.

Para 82,3% dos gestores, o reduzido número de profissionais de comunicação é outro desafio. Em 62,7% das universidades da amostra, não há um profissional responsável especificamente pela comunicação de C&T e em 43,1% não há

profissionais treinados em mídias sociais, o que dificulta o monitoramento de indicadores mais qualitativos, como os de engajamento e participação.

“As universidades públicas têm sido atacadas no atual cenário de desinformação”, destaca Thaiane Moreira de Oliveira, da Universidade Federal Fluminense (UFF), que não participou do estudo. “Por isso, é importante entender como essa comunicação ocorre, circula e o que é preciso fazer para melhorar”, complementa a pesquisadora, uma das coordenadoras de um relatório sobre desinformação lançado em junho pela Academia Brasileira de Ciências (ABC). Um dos capítulos destaca a necessidade de as instituições de ensino superior fortalecerem suas equipes e ações de comunicação.

Oliveira ressalta que as universidades têm um papel importante no combate à desinformação, pela credibilidade que têm diante da população e por concentrarem a produção científica do país. “Isso ficou ainda mais evidente durante a pandemia”, diz. Em sua visão, essas ações de comunicação da ciência devem ser coordenadas entre os departamentos, pesquisadores e setores de comunicação das instituições.

Para alcançar um público maior, a Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UF-CSPA), que respondeu ao formulário da pesquisa do DPCT, redirecionou suas ações de comunicação nas redes sociais durante o desastre climático que levou às grandes enchentes no Rio Grande do Sul. A instituição produziu conteúdo sobre rotas de saída da cidade, tutoriais sobre o uso de redes de telefonia e uso da água.

Um vídeo feito pela universidade com um infectologista da instituição desmentiu a suposta eficácia de uma profilaxia para leptospirose que estava circulando em grupos de WhatsApp, divulgada por um grupo de médicos e muito procurada pelos desabrigados. “Percebemos que, em determinados contextos, como o de crise climática, tirar as ações da universidade do centro da comunicação e procurar responder às demandas sociais locais nos aproxima de outros públicos. Isso é importante para que todos percebam que a ciência está em suas vidas e enxerguem a universidade também como um braço do Estado”, observa Janine Bargas, pesquisadora e responsável pela comunicação da UFCSPA.

**O**tra instituição que teve representantes entrevistados no estudo, a Universidade Federal do ABC (UFABC) tem perfil nas redes sociais desde 2013 e faz monitoramento de suas ações no ambiente digital com uma empresa especializada. Uma de suas estratégias é apostar em conteúdos colaborativos feitos com outras instituições. “Temos um projeto de extensão em parceria com a UFSCar [Universidade Federal de São Carlos], chamado ClickCiência, em que fazemos postagens conjuntas, o que aumenta o alcance do conteúdo”, conta Mariella Mian, coordenadora da Assessoria de Comunicação e Imprensa da UFABC. Os *posts* trazem vídeos em que pesquisadores das universidades apresentam seus trabalhos.

A estratégia de colaboração entre instituições vem sendo discutida nos últimos meses pelo Colégio de Gestores de Comunicação das Universidades Federais (Cogecom), vinculado à Associação Nacional dos Dirigentes das Instituições Federais de Ensino Superior (Andifes). A associação trabalha na criação de uma agência de divulgação científica que deve reunir em uma plataforma notícias de pesquisas das 69 universidades federais do país. “O objetivo é criar um canal unificado que dê visibilidade para a produção das instituições brasileiras de maneira equilibrada entre as cinco regiões”, explica a coordenadora do Cogecom, Rose Pinheiro, professora da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Segundo ela, a discussão sobre o monitoramento das campanhas de comunicação está na pauta das reuniões do colegiado. “Há uma preocupação com a efetividade das medições atuais, que muitas vezes têm alcance e número de seguidores como foco, sem considerar o impacto real dessas ações”, conclui. ●

Os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.



# Da Amazônia ao fomento à pesquisa

Diretora-adjunta na National Science Foundation esteve em São Paulo para discutir possibilidades de colaboração com brasileiros

SARAH SCHMIDT E MARIA GUIMARÃES

**D**ocente do programa de Ciências e Políticas Ambientais da Universidade Johns Hopkins e diretora-adjunta da Divisão de Ciências Comportamentais e Cognitivas na National Science Foundation (NSF), nos Estados Unidos, a geógrafa norte-americana Antoinette WinklerPrins passou o mês de agosto em São Paulo avaliando novas oportunidades de colaboração entre a FAPESP e a agência norte-americana. Temas como ciências cognitivas e a Amazônia estiveram no radar das conversas.

Seu interesse pelo Brasil não é novo. Com o pai diplomata, ela morou de 1970 a 1975 no Rio de Janeiro, dos 8 aos quase 13 anos. Foi nesse período que começou a prestar atenção na Amazônia, ao ver em bancas de jornal capas da revista *Manchete* sobre a exploração na região. Só nos anos 1990 conheceria Santarém, no Pará, como parte do doutorado na Universidade de Wisconsin-Madison, percorrendo a área rural do município em busca de amostras de solos da região e entrevistando ribeirinhos para seus estudos sobre o uso da terra e a importância do conhecimento tradicional de solos.



Mesmo com foco no trabalho administrativo da NSF, ainda participa de publicações científicas. A mais recente, sobre a transformação de paisagens da Amazônia pré-europeia, foi publicada na revista *Annals of the American Association of Geographers* em janeiro de 2021, em parceria com a bióloga brasileira Carolina Levis, em estágio de pós-doutorado na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

No início da conversa com *Pesquisa FAPESP*, WinklerPrins destacou que compartilharia sua visão pessoal e não falava em nome da NSF. A geógrafa veio ao país como participante do Embassy Science Fellowship Program, da Embaixada e Consulados dos Estados Unidos no Brasil em parceria com a fundação paulista.

## Qual foi o principal tema discutido por você aqui no Brasil?

Discutimos possibilidades de colaboração em ciência da aprendizagem e neurociência cognitiva, meu foco principal agora na NSF. Começamos a falar sobre isso em 2022, e retomamos as discussões agora. Há muito interesse, atualmente, na ciência da aprendizagem, no desenvolvimento cognitivo e na ampliação de populações amostrais para essas ciências.

A geógrafa norte-americana concedeu a entrevista na sede da FAPESP, em São Paulo

## A região amazônica esteve na pauta dessas conversas?

Sim. A NSF e a FAPESP têm uma colaboração substancial. Em março de 2023 foi assinado um novo memorando de entendimento entre as duas instituições. Temos muitas iniciativas de mobilidade de pesquisadores para a Amazônia, mas há espaço para mais. O Amazônia+10, por exemplo, é um programa especial e transversal. Há potencial aí, mas talvez avancem mais depressa outras iniciativas em que já há um alinhamento entre programas das duas agências.

## Qual seria a vocação do Amazônia+10, na sua visão?

Mobilizar e aprimorar recursos e instituições na Amazônia e desenvolver a capacidade humana para que pesquisadores façam pesquisa em sua própria região, porque há também o aspecto colonial. Há 30 anos, eram poucos amazônidas trabalhando na Amazônia. Todos vinham de fora para estudar e dizer a eles o que fazer. Houve mudanças, mas ainda há muito trabalho pela frente. É preciso pensar sobre conhecimento coproduzido, sobre quais questões se devem colocar. As perguntas precisam vir, principalmente, da população que mora lá. Há tanto a se descobrir sobre a biota amazônica, a fauna e a flora. Não é possível que apenas um grupo de pesquisadores ou um país faça tudo. Então, encontrar formas de cooperar é ótimo, mas de maneira diferente do que acontecia há 30 ou 40 anos.

## Vocês também vão tratar de bioeconomia na Amazônia?

Sim, sugeri workshops sobre bioeconomia, que é uma grande parte do que o Amazônia+10 quer fazer. Há definições diferentes de bioeconomia, muitas vezes relacionadas à biotecnologia. A bioeconomia na Amazônia diz muito mais respeito a trabalhar com a floresta em pé e desenvolver comunidades usando recursos que são fruto dessa política. Seria maravilhoso apoiar mais pesquisas básicas sobre a bioeconomia da forma como o Amazônia+10 a idealiza.

## Como vê o dilema entre conservação e desenvolvimento socioeconômico?

Sempre há uma tensão entre esses dois polos. No mundo ocidental, a história da conservação se baseou na ideia de que a única forma de preservar o ambiente é tirar as pessoas dele. Isso tem base em algumas ideologias, em noções românticas de natureza virgem. A Amazônia é o cartão-postal desse tipo de pensamento, uma visão de natureza intocada. Essas pessoas não percebem que a forma como a floresta está vem, em parte, de como foi usada por pessoas. Essa visão entra no



caminho de um senso de conservação diferente, para além do modelo de parque nacional.

## Como unir as comunidades locais nesse processo?

O Brasil esteve à frente de seu tempo com as reservas extrativistas. Um caso de sucesso é Mimirauá [Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mimirauá, no Amazonas]. É preciso que haja mais, porque sabemos que a melhor forma de proteger a floresta em pé é usá-la. Os territórios indígenas também são uma enorme proteção contra a devastação. Claro que, para conservar a floresta, é preciso ações diferentes para o gado e a soja. As cadeias de valor devem ser mudadas para barrar mais desmatamento. A ideia básica das Reservas de Desenvolvimento Sustentável é usar a bioeconomia para tirar produtos da floresta e agregar valor a eles, de forma que as pessoas tenham segurança econômica vivendo no ambiente da floresta.

## Como foi o seu trabalho na Amazônia?

Fui para Santarém nos anos 1990 fazer pesquisa sobre uso do solo e conhecimento tradicional amazônico na região de várzea para a

WinklerPrins em 1996, durante trabalho de campo em Santarém, com o filho Lukas, que na época tinha 2 anos

“  
**É preciso pensar sobre conhecimento coproduzido. As perguntas precisam vir, principalmente, da população que mora lá**

minha tese de doutorado na Universidade de Wisconsin-Madison, com uma bolsa da NSF. Fiz entrevistas, coletei amostras de solo e trabalhei no Projeto Várzea, que esteve na origem do Ipam [Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia]. Décadas antes, cultivava-se muita juta naquela parte de várzea da Amazônia para fazer sacos utilizados na indústria do café em São Paulo. Mas os subsídios para a sua produção foram interrompidos e esse mercado entrou em colapso na região. Muitas dessas famílias de pequenos produtores estavam tentando descobrir um modo de subsistência. Tentavam intensificar sua agricultura, o que é difícil quando só é possível cultivar durante metade do ano. Todos plantavam as mesmas coisas: melancia, mandioca, vários tipos de abóboras. Transportavam as frutas em canoas, não havia geladeiras. Era muito difícil.

#### **Quais alternativas os ribeirinhos consideravam?**

Havia um grande potencial de aumentar e intensificar a pesca, um hábito comum dos moradores. Mas se conhecia pouco sobre as espécies e como se reproduziam. O Projeto Várzea trabalhava muito com a associação dos pescadores, que tentavam se unir para fazer acordos locais. Pessoas de fora chegavam nos lagos de várzea com grandes barcos cheios de gelo, recolhiam todos os peixes e iam embora. E gelo era novidade por lá. Os pescadores locais ficavam perdidos. Minha tese foi intitulada “Entre as cheias” porque, depois da juta, não sabíamos o que viria em termos de sustentar as pessoas. Então aconteceu uma urbanização, muito da várzea passou a ser criação de gado.

#### **O que você descobriu?**

Que havia um conhecimento tradicional significativo sobre os solos, e a forma como a agricultura era praticada ali partia de uma compreensão muito detalhada da paisagem, de onde estava a umidade, porque as estações secas são bem secas. Algumas lavouras podiam ser plantadas em certas elevações. Havia a necessidade desesperada de refrigeração e informações de mercado, assim como apoio para desenvolver e intensificar a agricultura, talvez com lavouras diferentes. Foi no início do que chamávamos de pesquisa engajada, e agora chamamos de pesquisa coproduzida, para reconhecer que pessoas locais têm conhecimento. Não é possível chegar e impor projetos de desenvolvimento de cima para baixo. Não é possível ser bem-sucedido sem trocas.

#### **Hoje é diferente?**

Na narrativa, sim. Na prática, talvez não tanto, mas avançou muito em 30 anos. É muito difícil

fazer pesquisa colaborativa e pensar em ações de desenvolvimento com respeito às comunidades locais, de forma que elas sejam beneficiadas como desejam.

#### **Como foi seu trabalho com hortas domésticas em Santarém?**

Durante o doutorado, percebi a ligação com Santarém e a área urbana. As pessoas tinham uma casa na ilha, na várzea, mas também uma na cidade, às vezes para que as crianças pudessem ir à escola. Segui na cidade as mesmas pessoas cujas práticas agrícolas e sistema tradicional de conhecimento eu tinha estudado e por um ano observamos 25 casas para entender a circulação de plantas e de produtos – trabalhei com uma assistente de campo ribeirinha que era da várzea. Na área urbana, essas pessoas precisavam de dinheiro para comprar, nessa circulação de produtos que acontecia na cidade, mas também nas áreas rurais, em uma economia muito informal. Escrevi um capítulo sobre hortas domésticas em um livro sobre globalização e novas geografias da conservação, publicado em 2006. Também editei um livro sobre agricultura global urbana, publicado em 2017.

#### **Quais desafios você enfrentou em sua pesquisa?**

A primeira foi fazer o trabalho de campo. Na várzea, na hora do almoço, eu e minha assistente de campo – as duas mulheres a bordo – precisávamos ir para a parte de trás do barco, para cozinhar. Tinha esse machismo. Eu tinha meu filho comigo, com 2 anos, e meu marido. Morávamos em uma casinha que alugamos em Santarém. Meu marido é médico e trabalhou como voluntário na Fundação Esperança, uma ONG de lá. O pequeno Lukas ia para a creche enquanto eu pesquisava. Quando meu marido voltou para seu consultório nos Estados Unidos, Lukas ficou comigo. Eu fazia pesquisa com solo, andava por lá com um trado [ferramenta para perfurar e tirar amostras do solo], o que não era um modelo associado a mulheres. Mas, ao fazer as entrevistas, levava meu filho, o que me tornava uma mãe, bem encaixada no modelo do que significa ser mulher. Isso me abriu portas.

#### **E o segundo desafio?**

Era a tensão entre desenvolvimento e ciência. Eu queria saber como as pessoas usavam o ambiente e elas me perguntavam: “Onde está o dinheiro para o novo poço?”, “Onde está o dinheiro para essa doença das bananas?”. Eu fazia perguntas teóricas e eles queriam respostas práticas. É um lembrete de que as pessoas têm necessidades imediatas, elas não se importam com o que você vai escrever no artigo científico. ●



# Perdão por todo o mal

Associação de médicos do Canadá pede desculpas por histórico de má conduta em pesquisas e assistência aos povos indígenas

A Associação Médica do Canadá (CMA) pediu desculpas públicas pelo histórico de racismo, crueldade e negligência perpetrado por profissionais da saúde contra os três povos originários reconhecidos oficialmente no país: os inuítes, que habitam a região mais próxima ao Ártico, os métis, etnia mista de nativos e europeus, e as “primeiras nações”, que reúnem cerca de 600 diferentes grupos. “Não cumprimos os padrões éticos que a profissão médica deve manter para garantir que o mais alto padrão de atendimento seja fornecido aos pacientes e que seja fomentada a confiança em médicos, residentes e estudantes de medicina. Deixamos os povos indígenas fora desse alto padrão de atendimento”, reconheceu a obstetra Joss Reimer,

presidente da CMA, em uma cerimônia realizada em meados de setembro no território Lekwungen, na província canadense da Colúmbia Britânica.

Um dos momentos mais pungentes da solenidade, que teve discursos e apresentações de dança e música de comunidades nativas, foi a homenagem a Sonny McDonald (1939-2021), um homem da etnia méti que, quando criança, passou dois anos e meio recluso em um sanatório se tratando de tuberculose. Para evitar que ele circulasse entre outros pacientes e pudesse contaminá-los, os médicos imobilizaram-no engessando suas pernas e conectando-as com uma barra. O caso de McDonald está descrito em um relatório de 47 páginas, fruto de mais de três anos de trabalho de um grupo composto por médicos e indígenas que vasculhou 156 anos de registros em arquivos históricos e debates no Parlamento e fez consultas a comunidades de povos nativos.

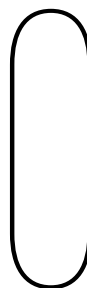
Esse grupo debruçou-se sobre 44 eventos já conhecidos envolvendo má conduta médica e científica no tratamento de indígenas. Com frequência, não foi encontrada nenhuma menção aos episódios nos registros da associação, o que foi interpretado como omissão deliberada. De acordo com o documento, os povos nativos receberam vacinas experimentais ou terapias invasivas contra a tuberculose que não eram aplicadas na população branca. Um dos casos descritos é o de John Pambrum, paciente de um sanatório na cidade de Saskatoon, que teve parte de um dos pulmões removida para tratar a doença. Isso ocorreu em 1955, quando essa técnica já não era mais adotada e os antibióticos haviam se tornado o tratamento padrão.

Outro trecho chocante do relatório descreve o uso de crianças e adultos indígenas como cobaias humanas de experimentos antiéticos, como as pesquisas feitas pelo bioquímico Lionel Bradley Pett (1909-2003), do Departamento Nacional de Pensões e Saúde, que ajudou a formular diretrizes nutricionais no Canadá na década de 1940. Ele alimentou crianças indígenas com uma farinha experimental à base de osso e observou que elas sofriam uma incidência maior de anemia. Também organizou um ensaio sobre os efeitos nutricionais do consumo do leite em crianças, dividindo-as em dois grupos: um recebeu metade da quantidade diária recomendada e o outro três vezes a quantidade permitida. As crianças também foram privadas de cuidados odontológicos preventivos, em um experimento para avaliar a relação entre a saúde bucal e o bem-estar nutricional.

Ainda segundo o relatório, milhares de mulheres indígenas foram forçadas ou coagidas a fazer cirurgias de laqueadura, mesmo após essa prática ter sido proibida na década de 1970. Um médico foi punido por forçar uma mulher a se submeter à esterilização sem seu consentimento em 2019. “A natureza terrível desses atos contribuiu para uma desconfiança profun-

da no sistema de saúde entre os povos originários”, informa o documento, segundo o qual os efeitos do preconceito permanecem até hoje e podem ser observados na negligência ao atendimento dos povos originários. A expectativa de vida dos homens inuítes, por exemplo, é de 64 anos, enquanto a média para os homens canadenses chega a 80 anos. Esse grupo étnico, que vive em condições inóspitas em regiões geladas, também tem uma prevalência maior de diabetes, hipertensão e problemas de saúde mental em comparação com os não indígenas.

Em 2008, um indígena de 45 anos chamado Brian Sinclair, que tinha muitos problemas de saúde e as duas pernas amputadas, morreu no pronto-socorro de um hospital de Winnipeg depois de esperar 34 horas por atendimento – a causa da morte foi uma infecção na bexiga que poderia ter sido debelada com antibióticos.



pedido de desculpas da associação médica ocorre uma década depois de o governo canadense concluir os trabalhos de uma Comissão da Verdade e Reconciliação que reuniu testemunhos de indígenas submetidos ao sistema de escolas residenciais, redes de internatos que funcionaram entre 1847 e 1996. Milhares de crianças de povos nativos foram forçadas a frequentar essas escolas, administradas por grupos religiosos cristãos, para serem isoladas da influência de suas culturas e crenças. Os internatos abrigaram vários dos experimentos antiéticos com crianças.

A ideia de passar a limpo o passado racista não é uma novidade nem se limita aos médicos do Canadá. No final do ano passado, a revista científica *New England Journal of Medicine* publicou um ensaio reconhecendo que, em seus primórdios, teve conexão com figuras ligadas à escravidão nos Estados Unidos e contribuiu para difundir ideias racistas (ver Pesquisa FAPESP nº 336). Recentemente, a Universidade Virginia Commonwealth, na cidade norte-americana de Richmond, inaugurou um espaço em memória de 50 negros cujos restos mortais foram encontrados em 1994 em um poço abandonado, depois de serem descartados por médicos da instituição em 1800.

Além das desculpas, a CMA anunciou medidas voltadas a aproximar a classe médica dos povos nativos, tais como investir na formação e no recrutamento de médicos de origem indígena e na revisão de seu Código de Ética para coibir o preconceito. “Não devemos pedir desculpas sem estarmos realmente prontos para fazer as coisas direito”, disse à revista *Science* a anesthesiologista Alike Lafontaine, presidente da CMA entre 2022 e 2023 – ela foi a primeira médica indígena a ocupar o cargo. Lafontaine, que ajudou a entregar o pedido de desculpas, diz esperar que outras organizações do país busquem reconciliar-se com os povos nativos. ● FABRÍCIO MARQUES

## Pesquisadores obtêm conclusões diferentes sobre o alcance da fabricação de dados

Que proporção da produção científica mundial contém dados fabricados ou manipulados? O especialista em integridade científica James Heathers, pesquisador da Universidade de Lineu, em Växjö, na Suécia, avaliou e comparou 12 diferentes estudos que examinaram uma amostra de mais de 75 mil artigos científicos de áreas como ciências sociais, medicina e biologia e concluiu que em cada sete trabalhos publicados pode ser pelo menos parcialmente falso. Segundo ele, os estudos analisados utilizaram ferramentas on-line para estimar a quantidade de *papers* com algum tipo de falsificação e a proporção encontrada foi convergente, apontando para cerca de 14% do total publicado. “Há uma seme-

lhança consistente entre os resultados”, disse Heathers ao site Retraction Watch. Sua estimativa foi publicada em artigo depositado no repositório de *preprints* Open Science Framework e ainda não foi avaliada por outros pesquisadores.

Heathers diz que decidiu fazer o estudo ao questionar um dado frequentemente mencionado em estudos sobre má conduta, segundo o qual 2% dos cientistas admitiram ter falsificado, fabricado ou modificado dados de pesquisa pelo menos uma vez na carreira. “O problema é que essa informação está desatualizada”, afirmou o pesquisador, ao observar que ela se baseia em um estudo de 2009 que avaliou dados coletados em 2005. A rigor, os dados de seu estudo não podem ser comparados com os de 2009 – enquanto o trabalho de Heathers analisou artigos que empregaram ferramentas on-line para identificar problemas de qualquer natureza nos trabalhos pesquisados, o estudo anterior analisou artigos que tiraram conclusões a partir de perguntas dirigidas aos autores e se concentrou em problemas que distorcem o conhecimento científico, como falsificação de dados, deixando de la-

do questões eticamente condenáveis, como plágio, mas que não adulteram resultados.

Daniele Fanelli, pesquisador da Universidade Heriot-Watt em Edimburgo, Escócia, e autor do estudo de 2009, discorda da metodologia adotada por Heathers. Segundo ele, não é correto misturar problemas com gravidades diferentes – de adulterações que não comprometem as conclusões até trabalhos totalmente fraudulentos. A epidemiologista Gowri Gopalakrishna, da Universidade de Maastricht, nos Países Baixos, avalia que o estudo de Heathers simplifica uma realidade complexa ao agrupar artigos de campos do conhecimento em que a prevalência de fabricação e falsificação é diferente. “Se a intenção for chamar a atenção do governo e apontar o tamanho do problema, pode até funcionar, mas considero importante aprofundar a análise”, disse ela, que chegou a um resultado diferente dos obtidos por Heathers e Fanelli. Em um estudo de 2021, constatou que 8% de uma amostra de 7 mil cientistas dos Países Baixos confessou ter falsificado ou fabricado dados pelo menos uma vez entre 2017 e 2020.

## Imagens suspeitas em artigos derrubam diretor de programa de pesquisa sobre Alzheimer

Um comunicado dos Institutos Nacionais de Saúde (NIH) dos Estados Unidos informou que uma investigação interna encontrou indícios de falsificação e fabricação de imagens em dois artigos científicos do neuropatologista Eliezer Masliah, de 65 anos. Desde 2016, ele era o diretor da Divisão de Neurociência do Instituto Nacional do Envelhecimento, uma das unidades dos NIH. Segundo o anúncio, Masliah não ocupa mais nenhuma função executiva na instituição. O pesquisador, que fez carreira na Universidade da Califórnia em San Diego, nos Estados Unidos, liderava há oito anos

um esforço bilionário de pesquisa para investigar a doença de Alzheimer – só no último ano fiscal, o orçamento sob sua coordenação chegou a US\$ 2,6 bilhões, o equivalente a R\$ 14,1 bilhões.

Especialista em Alzheimer e Parkinson, ele é autor de mais de 800 artigos de pesquisa sobre como essas doenças danificam as sinapses, as regiões de contato entre os neurônios. Também escreveu trabalhos influentes sobre uma proteína ligada às duas doenças, a alfa-sinucleína. Seu prestígio sofreu um primeiro abalo há cerca de dois anos, quando uma investigação feita pela revista *Science* mostrou que ele utilizou as mesmas imagens de Western Blot – método usado na biologia molecular para identificar proteínas – e de micrografia de tecido cerebral em artigos que descrevem experimentos diferentes. Recentemente, um neurocientista e um analista forense produziram um dossiê de 300 páginas revelando um fluxo de imagens suspeitas entre 1997 e 2023 em 132 dos artigos publicados por Masliah.

### CONTEÚDO EXTRA

Conhece a nossa newsletter de integridade científica?



Entre no QR Code para assinar nossas newsletters



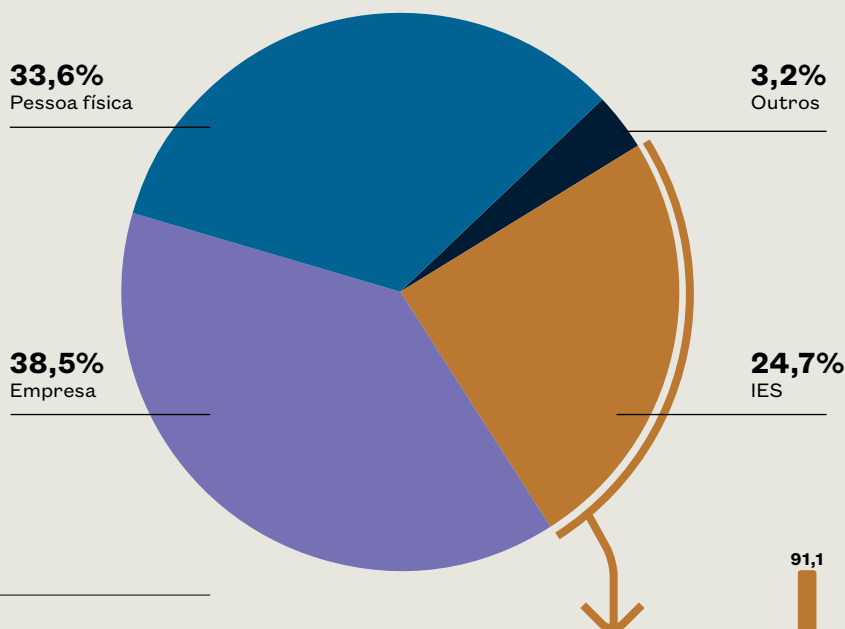
# dados\_ Patentes universitárias no Brasil e nas unidades da federação

## Distribuição de patentes de invenção

Por tipo de depositante no total dos depósitos de residentes (em %)

BRASIL - 2023

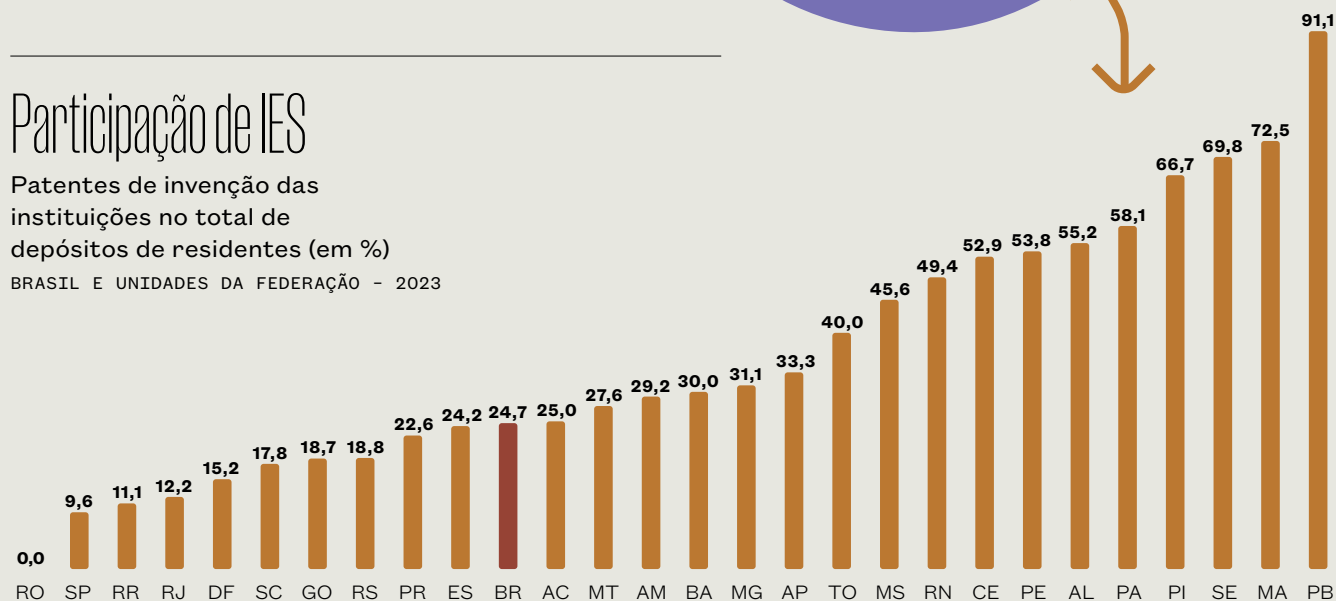
→ Uma das características das atividades patentárias no Brasil é a elevada presença de instituições de ensino superior (IES) entre os depositantes de patentes de invenção. Em 2023, entre os residentes no país, quase 25% dos depósitos tiveram uma IES como primeiro titular. Nos Estados Unidos, por exemplo, tal proporção não chega a 5%



## Participação de IES

Patentes de invenção das instituições no total de depósitos de residentes (em %)

BRASIL E UNIDADES DA FEDERAÇÃO - 2023



→ A média nacional esconde a profunda heterogeneidade regional em relação a esse tema. Em 10 unidades da federação, as participações de IES são menores que a média (24,7%). Naquelas que a superam, há oito onde os pedidos por IES correspondem a mais da metade dos depositados pelo conjunto de seus residentes e, na Paraíba, tal proporção chega a ser maior que 90%

→ Em São Paulo, a despeito do grande volume de patentes de invenção depositadas por IES, sua proporção em relação ao total de depósitos é de apenas 9,6%, refletindo a presença mais expressiva de empresas que realizam tais atividades. Mesmo assim, a proporção dos depósitos das IES em São Paulo é quase duas vezes maior que a média norte-americana

# O ano da inteligência artificial

Duas láureas, Física e Química, foram para pesquisadores que criaram ferramentas computacionais

**D**os 10 pesquisadores que ganharam o Prêmio Nobel deste ano nas categorias de Medicina ou Fisiologia, Física, Química e Economia, nenhum é do sexo feminino ou negro. Apenas a láurea de Literatura foi destinada a uma mulher. A honraria da Paz foi concedida para uma associação japonesa de sobreviventes do uso de bombas atômicas e de seus testes. Mas não foram questões de gênero ou de representatividade de diferentes segmentos da sociedade que dominaram as discussões em torno dos eleitos para receber o Nobel e um valor em dinheiro de 11 milhões de coroas suecas, cerca de R\$ 5,8 milhões.

Uma pergunta que ficou no ar nos prêmios de Física e Química era se os trabalhos dos vencedores, que desenvolveram técnicas da área de ciências da computação, representavam avanços da disciplina que os levou a ganhar a honraria ou eram contribuições mais da área de inteligência artificial. Houve quem tenha reclamado das escolhas, com o argumento de que o Nobel se rendeu à badalação em torno das técnicas de inteligência artificial (IA). Outro ponto destacado: três vencedores são ou foram empregados de empresas do Google.



Os textos com mais informações sobre os ganhadores do Nobel estão disponíveis no site da revista

## Fisiologia ou Medicina

Um achado realizado a partir de estudos iniciados na década de 1990 com o verme *Caenorhabditis elegans* rendeu a dois biólogos norte-americanos o prêmio. Victor Ambros, da Universidade de Massachusetts, de 70 anos, e Gary Ruvkun, de 72, da Escola Médica de Harvard, ambas nos Estados Unidos, descobriram os microRNA, uma família de moléculas mais curtas de RNA (ácido ribonucleico), e o seu papel na ativação e no controle dos genes nos seres vivos. Com seus estudos, Ambros e Ruvkun “encontraram um novo e inesperado mecanismo de regulação da expressão gênica”, afirmou o endocrinologista Olle Kämpe, vice-presidente da Assembleia do Nobel.

“O fato de terem mostrado que os microRNA são um fenômeno biológico preservado em diferentes espécies indica que eles desempenham um papel importante no desenvolvimento e no funcionamento dos organismos e, por isso, teriam sido mantidos ao longo da evolução dos seres vivos”, comenta o biomédico Marcelo Mori, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), que investiga o papel dos microRNA no envelhecimento e no surgimento de doenças crônicas, como o diabetes e a obesidade.

“Os microRNA regulam aproximadamente 60% dos nossos genes e são fundamentais para o controle de diferentes







Victor Ambros e Gary Ruvkun, os descobridores dos microRNA

## Nenhuma mulher ganhou Nobel neste ano nas disciplinas de ciências

processos no organismo humano, como o desenvolvimento e as funções fisiológicas, entre elas a embriogênese e a morte celular, além da diferenciação, da proliferação e do crescimento das células”, explica a bioquímica Edilamar Menezes de Oliveira, da Universidade de São Paulo (USP), que estuda os efeitos do treinamento físico sobre RNA não codificante, como os microRNA, no sistema cardiovascular.

Este é o segundo ano seguido em que o prêmio foi atribuído a pesquisas com RNA, que, entre outras funções, desempenha o papel de mensageiro químico no interior das células. Em 2023, o Nobel foi para a bioquímica húngara Katalin Karikó e o médico norte-americano Drew Weissman, que tornaram possível o uso do RNA mensageiro na produção de vacinas, como algumas das que protegem da Covid-19.

## Física

“Por descobertas e invenções fundamentais que permitem o estabelecimento do aprendizado de máquina por meio de redes neurais artificiais”, o norte-americano John Hopfield, da Universidade de Princeton, nos Estados Unidos, e o britânico Geoffrey Hinton, da Universidade de Toronto, no Canadá, dividiram a honraria.

Ferramentas de IA generativa, como o ChatGPT, usam esse tipo de aprendizado de máquina, inspirado no cérebro humano e na interação entre os neurônios. A base dessas estruturas apresenta

também similaridade com modelos da física estatística usados para estudar o spin – propriedade quântica intrínseca dos elétrons e de outras partículas subatômicas que influencia sua interação com campos magnéticos.

Físico teórico com interesse na biologia molecular, Hopfield, hoje com 91 anos, formulou no início da década de 1980 um tipo de rede que criava uma memória associativa capaz de armazenar e reconstruir padrões de informação. Sua contribuição, feita quando estava no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), ficou conhecida como rede ou modelo de Hopfield.

“Em 1982, Hopfield trabalhava sozinho no Caltech com redes neurais, uma área de estudo que ele estava iniciando”, comenta o físico brasileiro José Nelson Onuchic, da Universidade Rice, nos Es-

tados Unidos, que foi orientado no Caltech nos anos 1980 por Hopfield em seu doutorado sobre a química de proteínas.

Hinton, hoje com 76 anos, usou o modelo de Hopfield para dar um passo além, ainda nos anos 1980. Formado em psicologia experimental, com doutorado em IA, ele criou um método que, de forma autônoma, procura por certas propriedades em um conjunto de dados. Denominado máquina de Boltzmann, em alusão aos estudos em física estatística do austríaco Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906), esse tipo de rede neural forma a base da IA generativa.

Paralelamente aos estudos na academia, Hinton trabalhou durante 10 anos, entre 2013 e 2023, como vice-presidente do setor de engenharia do Google. Preferiu deixar a empresa no ano passado para ter mais liberdade de criticar os riscos envolvidos no emprego da IA.

## Química

Metade do prêmio em dinheiro foi para o bioquímico norte-americano David Baker, da Universidade de Washington, em Seattle, pelos avanços que obteve no design computacional de proteínas. A outra metade foi para o cientista da computação britânico Demis Hassabis e o físico norte-americano John Jumper, ambos da empresa Google DeepMind, da área de IA. Fundada em 2010, a companhia desenvolveu em 2020 um programa, o AlphaFold2, que, com o emprego de aprendizado de máquina e redes neurais, prediz a estrutura tridimensional de uma proteína a partir de sua sequência de aminoácidos, compostos químicos que



John Hopfield e Geoffrey Hinton, laureados em Física por trabalhos na área de inteligência artificial



A láurea de Química foi para Demis Hassabis, David Baker e John Jumper

se combinam para gerar as proteínas. Refletindo a rapidez do reconhecimento, a faixa etária dos laureados é mais baixa do que a média das premiações do Nobel: 62, 48 e 39 anos, respectivamente, para Baker, Hassabis e Jumper.

Em 2003, Baker teve sucesso em usar aminoácidos para projetar uma nova proteína que era diferente de qualquer outra conhecida. Desenvolveu um software de código aberto, o Rosetta, que se dedica a essa tarefa. Desde então, seu grupo de pesquisa produziu muitos tipos de proteína, incluindo algumas para uso em produtos farmacêuticos, vacinas, nanomateriais e pequenos sensores.

Hassabis é cofundador da DeepMind e desenvolvia videogames na adolescência. Estudou ciência da computação e fez doutorado em neurociência cognitiva. Sua startup foi comprada em 2014, tornando-se a unidade de IA do Google, da qual é hoje chefe executivo. A excepcional capacidade computacional do Google, muito maior que a de qualquer laboratório de pesquisa, é um trunfo dos trabalhos da DeepMind.

“Precisamos da computação para resolver os problemas da biologia, nem acredito que estamos conseguindo reconhecimento tão rápido”, comentou Jumper em entrevista telefônica a Adam Smith, do site do Nobel. Ele é o mais jovem ganhador do prêmio de Química dos últimos 70 anos. Físico de formação, viu com certo humor ter recebido a láurea de Química.

## Economia

Os economistas Daron Acemoglu e Simon Johnson, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), e James Robin-

## Cada categoria ofereceu um prêmio de R\$ 5,8 milhões dividido entre os vencedores

son, da Universidade de Chicago, ambos situados nos Estados Unidos, dividiram o prêmio por sua contribuição para o entendimento das diferenças entre países pobres e ricos e do papel desempenhado pelas instituições no processo de desenvolvimento econômico. Ao anunciar a honraria, a Academia Real de Ciências da Suécia destacou a importância da demo-

cracia para que as sociedades sustentem a prosperidade no longo prazo, uma das ideias defendidas pelo trio de laureados.

Nascido na Turquia, descendente de armênios, Acemoglu, de 57 anos, tem cidadania americana. Seus dois colegas, ambos britânicos, também fizeram carreira nos Estados Unidos. Johnson tem 61 anos, Robinson, 64. Na visão do trio, instituições políticas e econômicas construídas pelas diferentes sociedades ajudam a explicar por que algumas se tornaram prósperas e outras ainda não conseguiram superar a pobreza. Assim, instituições de caráter inclusivo, de países com leis de proteção a direitos de propriedade e eleições regulares, estimulariam o crescimento sustentável. Por outro lado, instituições classificadas pelos economistas como extrativas são aquelas que propiciaram o enriquecimento de uma pequena elite em desfavor de grandes massas, contribuindo para o atraso e a pobreza.

Os três economistas se tornaram ativos participantes do debate público nos últimos anos. Acemoglu e Robinson escreveram *Por que as nações fracassam: As origens da prosperidade e da pobreza*, lançado em 2012 nos Estados Unidos e publicado no mesmo ano no Brasil. Em 2019, a dupla publicou *O corredor estreito – Estados, sociedades e o direito da liberdade*, traduzido pela Intrínseca em 2022 no Brasil, em que discutem a crise das democracias contemporâneas. Mais tarde, em 2023, Acemoglu e Johnson lançaram *Poder e progresso: Uma luta de mil anos entre a tecnologia e a prosperidade*, veiculado em abril deste ano no Brasil pela Objetiva, em que examinam a contribuição da inovação tecnológica para o desenvolvimento.



Simon Johnson, Daron Acemoglu e James A. Robinson, os vencedores do Nobel de Economia

# Literatura

Nascida em 1970 na cidade de Gwangju, a escritora e poeta Han Kang é a primeira sul-coreana a vencer o Nobel de Literatura. Temas como traumas históricos e a fragilidade da vida compõem o imaginário literário da autora, amplamente reconhecida em seu país natal, tendo recebido inúmeros prêmios. Durante o anúncio da premiação, a Academia Sueca destacou a singularidade de Kang ao tratar de conexões entre corpo e alma, assim como a sua capacidade de inovar a prosa contemporânea.

Sua obra mais conhecida é *A vegetariana*, lançada originalmente em 2007 e traduzida para o português na década passada. Em 2009, o livro ganhou uma adaptação cinematográfica dirigida por Lim Woo-seong. Na obra, Kang aborda o isolamento e a resistência à normatividade por meio da história de Yeong-hye, uma mulher que deixa de comer carne após ter uma série de pesadelos. Outros títulos da autora lançados no Brasil são *Atos humanos* e *O livro branco*. O livro *Lições de grego* também pode ser encontrado em uma versão produzida por uma editora de Portugal.

Escritora e poeta Han Kang, primeira sul-coreana a vencer o Nobel de Literatura



Toshiyuki Mimaki, da organização Nihon Hidankyo

# Paz

O prêmio foi concedido à organização japonesa Nihon Hidankyo, criada há 68 anos por sobreviventes das explosões das bombas atômicas lançadas sobre as cidades de Hiroshima e Nagasaki, em 1945. Denominado oficialmente Confederação Japonesa das Organizações de Vítimas das Bombas A e H, o grupo foi reconhecido pelo comitê do Nobel “por seus esforços para alcançar um mundo livre de armas nucleares e por demonstrar através de testemunhos que as armas nucleares nunca mais devem ser utilizadas”.

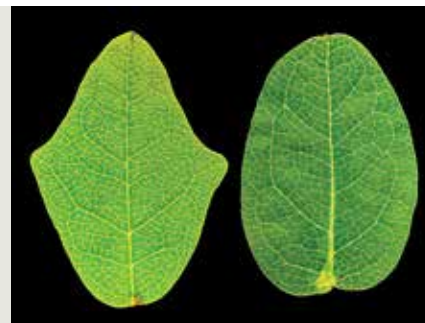
De acordo com o comitê norueguês, a mobilização dos hibakusha, como são conhecidas as cerca de 100 mil vítimas ainda vivas das explosões no Japão, representados pela organização, teve um papel importante para manter acesa a consciência sobre o horror causado pelas armas atômicas e a ajudar a transformar seu uso em um tabu nas últimas décadas. “Os hibakusha nos ajudam a descrever o indescritível, a pensar o impensável e a compreender a dor e o sofrimento incompreensíveis causados pelas armas nucleares”, disse Jorgen Watne Frydnes, presidente do comitê, ao anunciar o prêmio. ●

# A planta que imita plástico

Prêmio Ig Nobel destaca trabalho de brasileiro sobre trepadeira cujas folhas emulam o formato dessa estrutura em um vegetal artificial

A trepadeira *Boquila trifoliolata*, nativa do Chile e da Argentina, é capaz de alterar o formato de suas folhas, que se tornam mais parecidas com as da planta que a hospeda – mesmo que as folhas vizinhas da anfitriã sejam de plástico. A descoberta dessa capacidade de emular a vida artificial rendeu o prêmio satírico Ig Nobel ao botânico brasileiro Felipe Yamashita. O estudo foi feito durante seu doutorado na Universidade de Bonn, na Alemanha, em parceria com o pesquisador independente norte-americano Jacob White. O artigo em que descrevem as folhas perdendo os lóbulos laterais quando próximas a folhas artificiais mais arredondadas foi publicado em 2022 na revista científica *Plant Signaling & Behavior*.

“Não tenho ideia de como a planta faz isso”, disse o brasileiro durante a nada solene cerimônia de entrega do prêmio em 12 setembro nas dependências do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), nos Estados Unidos. “Terminei o doutorado, preciso de um emprego para continuar a pesquisa”, brincou, no tom habitual dessa premiação, que promete “fazer rir e depois pensar” ao selecionar pesquisa séria que pareça inusitada. O uso de uma planta artificial nos experimentos elimina a possibilidade de a trepadeira receber informações da planta hospedeira por meio de compostos químicos exalados no ar ou de genes transferidos por intermédio de outros organismos.



Duas folhas da trepadeira: uma original (à esq.) e outra com forma alterada

A hipótese favorita de Yamashita para explicar o fenômeno é a existência de lentes ou ocelos na planta, um agrupamento de células que recebem a luz e costumam ser comparadas a olhos primitivos. “Os raios de luz passariam pela epiderme e convergiriam para um fotorreceptor, talvez a clorofila”, sugeriu o brasileiro em entrevista ao podcast *Pesquisa Brasil*. Seria uma espécie de visão, obviamente não tão sofisticada ou detalhada quanto a dos animais.



# Vírus, estigmas e solidão

Estudo com 1.317 mulheres trans e travestis em cinco capitais registra a persistência de altas taxas de infecções sexualmente transmissíveis e dificuldades de acesso a serviços de saúde

**GISELLE SOARES**

**A** enfermeira Emanuele da Silva Bernardo conseguiu sair da situação de saúde precária que normalmente acompanha as mulheres trans e travestis no Brasil. Ela iniciou o processo de transição social aos 17 anos e passou por situações comuns a esse grupo da população, como a prostituição e a aplicação de silicone industrial. Com o apoio da família, voltou a estudar, concluiu um curso técnico de enfermagem, graduou-se enfermeira e faz mestrado em saúde coletiva na Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo (FCM-SCSP). A partir de sua experiência pessoal, ela pesquisa o uso do silicone industrial por travestis e mulheres trans que se prostituem na capital paulista.



Uma das salas do Centro de Referência e Treinamento DST/Aids, de São Paulo, especializado no atendimento a pessoas trans

sileiras: Manaus, Salvador, Campo Grande, São Paulo e Porto Alegre.

A prevalência de infecção pelo vírus da imunodeficiência humana (HIV) nessa população foi de 34,4% nas cinco capitais analisadas, de acordo com o trabalho liderado por pesquisadores das universidades Federal da Bahia (UFBA) e do Estado da Bahia (Uneb), detalhado em artigo na mesma edição da revista científica. Em São Paulo, das 403 participantes que fizeram o teste rápido, 233 (58%) apresentaram resultado positivo para sífilis e 107 (27%) para HIV; das 402 que fizeram também outros testes, 41 (10%) positivaram para clamídia, 33 (8%) para gonorreia, 8 (2%) para hepatite B e 3 (1%) para hepatite C.

Das cinco capitais, a situação melhor é a de Campo Grande (MS), com taxas relativamente mais baixas de infecção por HIV (29%), identificada em 50 das 175 que fizeram testes rápidos. O pior cenário é o de Porto Alegre (RS), onde 109 das 189 participantes (58%) positivaram para HIV (*ver infográfico*). A doença provocada por esse vírus, a Aids, pode ser prevenida ou tratada com antivirais (*ver Pesquisa FAPESP nº 267*).

Vivem no Brasil por volta de 3 milhões de pessoas – o equivalente a 2% da população adulta – trans ou não binárias (não se identificam nem com o sexo masculino nem com o feminino). A estimativa provém de um estudo da Faculdade de Medicina de Botucatu da Universidade Estadual Paulista (FMB-Unesp) publicado na revista *Scientific Reports* em 2021, feito com base em entrevistas com 6 mil indivíduos em 129 municípios de todas as regiões do Brasil (*ver Pesquisa FAPESP nº 312*). Até o final do ano devem sair os resultados da nova Pesquisa Nacional de Demografia e Saúde, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com uma estimativa atualizada da população trans, travesti e não binária do Brasil.

Ainda permanecem, porém, ideias equivocadas. “Mesmo nos serviços de saúde, persiste a ideia de que essas mulheres precisam apenas de cirurgias e hormônios, quando na verdade necessitam de um cuidado integral”, comenta a médica epidemiologista Maria Amélia Veras, da Santa

Geralmente as mulheres trans e travestis, que não se identificam com o sexo biológico com que nasceram, constituem um grupo da população muito vulnerável a problemas de saúde. Apresentam taxas mais elevadas de infecção por HIV e sífilis, altos índices de ansiedade, depressão, sofrimento psíquico, ideação suicida e tentativa de suicídio, de acordo com um artigo publicado em agosto na *Revista Brasileira de Epidemiologia*. Esse e outros 13 artigos da mesma edição apresentam os resultados do projeto TransOdara, com entrevistas realizadas de 2019 a 2021, com financiamento do Ministério da Saúde e da Organização Pan-americana da Saúde (Opas), que avaliou a prevalência de sífilis e outras infecções sexualmente transmissíveis (IST) entre 1.317 mulheres trans e travestis de cinco capitais bra-

Casa, uma das coordenadoras do TransOdara. A pesquisadora fundou há 10 anos o Núcleo de Pesquisa em Saúde, Sexualidade e Direitos Humanos da População LGBT+ (Nudhes), na FCM-SCSP, para fazer estudos que pudessem auxiliar na formulação e implementação de políticas públicas. “Trabalhamos para ajudar o SUS [Sistema Único de Saúde]”, comenta. Uma das diretrizes dos integrantes desse grupo é apresentar os resultados das pesquisas primeiramente para o público-alvo dos estudos com quem trabalham (ver Pesquisa FAPESP nº 230). Foi assim, novamente, no dia 10 de setembro, quando expuseram para as participantes e organizações comunitárias os resultados do projeto Manas por Manas, que trata de prevenção e autocuidado entre mulheres trans e travestis, financiado pelos Institutos Nacionais de Saúde (NIH) dos Estados Unidos.

“O acesso à saúde depende da proximidade dos serviços, do relacionamento com os profissionais e do histórico da paciente, que geralmente já passou por muita violência e discriminação”, pondera o geriatra Milton Crenitte, da Universidade Municipal de São Caetano do Sul, que não participou dos estudos. Segundo ele, a implementação de ambulatorios especializados, o aprimoramento dos profissionais e o atendimento individualizado, com equipes multidisciplinares, poderiam ajudar a vencer as barreiras de acesso aos serviços de saúde.

Em 2020, a Secretaria Municipal da Saúde de São Paulo aprovou um conjunto de regras para o atendimento de pessoas trans e travestis, com o objetivo de apoiar a atenção básica no acolhimento e no cuidado específico para essas populações. No entanto, nas cinco capitais estudadas, os pesquisadores do TransOdara ouviram relatos de discriminação ao fazerem 52 entrevistas em profundidade – as participantes tinham idade média de 34 anos, quase metade (23) cursou apenas o ensino médio

e 22 delas viviam com uma renda mensal entre R\$ 1 mil e R\$ 2 mil. “[O médico] falou alto [meu nome de registro] e tinha umas pessoas lá, eu ouvi algumas risadinhas. [...] Estou adiando [a volta] já tem um ano”, contou uma das entrevistadas de São Paulo, como relatado em um dos artigos, coordenado por pesquisadores da FCM-SCSP.

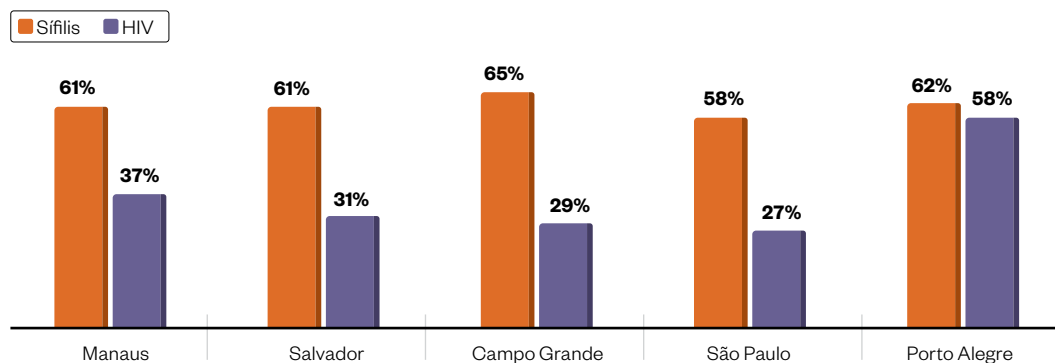
“Vi muitos relatos de recusa, mesmo em serviços básicos de saúde, porque não atendiam pessoas trans e travestis”, comenta o psicólogo Michel de Oliveira Furquim dos Santos, voluntário no atendimento psicossocial de pessoas LGBT+ no Centro de Referência e Defesa da Diversidade (CRD), em São Paulo. Atualmente, ele faz doutorado na Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (FSP-USP), com bolsa da FAPESP, sobre influências sociais que possam ter ajudado a formar a identidade de trans e travestis em São Paulo e Tabatinga (AM). Santos enfatiza que a discriminação contraria o princípio de universalidade da rede pública de saúde.

**M**ulheres trans e travestis tendem a ter quadros graves de saúde mental – da depressão à ideação suicida –, piorados com o uso de drogas. “Os deboches, os olhares, o desrespeito ao nome, tudo isso atinge a saúde mental. Não ter amigos, não ter dinheiro, não conseguir se inserir no mercado de trabalho formal. No caso da prostituição, não é todo dia que se quer fazer sexo. Para aguentar, muitas dizem ‘vou tomar um conhaque’, algo que depois pode evoluir para cocaína”, comenta Emanuele Bernardo. “Somos sempre jogadas para a solidão.”

Uma equipe da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) do Rio de Janeiro corrobora essa percepção em outro artigo do TransOdara detalhado

## As duas infecções mais comuns

Sífilis e HIV/Aids são as doenças sexualmente transmissíveis mais frequentes entre mulheres trans e travestis em cinco capitais



FONTE TRANSODARA

O acompanhamento médico pode incluir, após rigorosa seleção, a aplicação de hormônios capazes de acentuar as características femininas ou masculinas



também na *Revista Brasileira de Epidemiologia*. A prevalência de uso de múltiplas substâncias nas capitais analisadas, em um período de 12 meses, foi de 49,3%, com predomínio de álcool (65,5% das entrevistadas), tabaco (52,9%), maconha (40,1%) e cocaína (31%).

Em editorial da revista *Science* publicado em agosto, Alex Keuroghlian, diretor da Divisão de Psiquiatria Pública e Comunitária do Massachusetts General Hospital, em Boston, e Asa Radix, da Universidade de Nova York, ambos nos Estados Unidos, comentam que jovens e adultos trans e de gênero diverso (TGD) que recebem cuidados afirmativos de gênero apresentam menor ocorrência de ansiedade, depressão, uso de substâncias e tentativas de suicídio.

**D**esde 2009, quando começou a trabalhar no então recém-inaugurado Centro de Referência e Treinamento DST/Aids-SP (CRT-Aids), o psicólogo Ricardo Barbosa Martins, coordenador do ambulatório de Saúde Integral para Travestis e Pessoas Trans, observa que muitas mulheres trans e travestis resolvem tomar por conta própria hormônios capazes de lhes dar características femininas ou masculinas, ainda que sob o risco de sérios danos à saúde, diante das dificuldades em fazer a transição em serviços de saúde. “Aqui no CRT a maior procura das mulheres trans e travestis ainda é por hormônios”, conta. O CRT aplica hormônios masculinizadores ou feminilizantes em pessoas com pelo menos 16 anos após avaliação por equipe multiprofissional.

Entre as cinco capitais examinadas no TransOdara, a situação mais dramática em relação ao uso de hormônios é em Manaus. Ali, 95% das participantes afirmaram utilizá-los sem receita médica.

Coordenadora da educação comunitária da Casa da Pesquisa do CRT-Aids e doutoranda em psicologia na USP, Paola Alves de Souza indica algumas razões para a autoaplicação de hormônios feminilizantes: “As filas nos ambulatórios trans

são longas, e as pessoas querem resultados imediatos”. Uma das integrantes da equipe de pesquisadores do TransOdara iniciou o processo de transição durante o mestrado, desenvolvido de 2009 a 2011 na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), na Paraíba, e enfrentou dificuldades para encontrar emprego formal.

Em 2015, já em São Paulo, foi contratada para compor a equipe técnica do programa Transcidadania, da prefeitura paulistana, que naquele momento oferecia 100 vagas e hoje 1.020 para que travestis, mulheres e homens trans em situação de vulnerabilidade possam terminar o ensino fundamental e médio e obter qualificação profissional. Durante dois anos, os beneficiários recebem uma bolsa mensal de R\$ 1.482 e acompanhamento psicológico, jurídico, social e pedagógico, importante diante do desamparo desse grupo da população. “Tenho várias amigas trans que não tiveram o apoio da família, como eu tive, e foram expulsas de suas casas”, comenta a química e performer trans Lariel Chagas da Silva Neres, que faz o doutorado em biotecnologia na Universidade Estadual Paulista (Unesp), *campus* de Araraquara.

Em 2022, a estudante trans Luara Souza ajudou a fundar o Núcleo de Consciência Trans da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), onde estuda. O grupo organiza encontros como o SlamBall, que combina poesia, dança e desfile, para atrair os interessados e discutir assuntos do universo trans com a comunidade acadêmica e moradores da Região Metropolitana de Campinas.

Trata-se, porém, de um movimento lento. Graduada em ciências moleculares, com doutorado em física de partículas elementares, Gabrielle Weber Martins teve dificuldades para encontrar informações sobre como iniciar a transição de gênero e só se assumiu como travesti após ser aprovada em concurso público para professora da Escola de Engenharia da USP, no *campus* de Lorena, em 2014. “Sei que sou trans desde os 10 anos”, conta. Ela tem 40 anos. ●

O projeto e os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

# Um neurotransmissor com ação dupla

No cérebro, o neuropeptídeo Y estimula o apetite e o ganho de peso; no resto do corpo, promove a queima de gordura e a produção de calor

GILBERTO STAM

**D**escoberto há 40 anos, o neuropeptídeo Y (NPY) é um dos neurotransmissores mais abundantes no organismo. Há tempos se sabe que ele age no cérebro despertando o apetite e induzindo o ganho de peso. Agora, um grupo internacional do qual participaram pesquisadores da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) verificou que, no restante do organismo, ele desempenha uma função diferente. Secretado pelos nervos periféricos, que ligam o cérebro e a medula espinhal aos demais órgãos e tecidos, o NPY promove a formação do tecido adiposo marrom. Conhecido como “gordura boa”, esse tecido consome muita energia (em vez de só armazenar) e gera calor, protegendo, assim, contra a obesidade.

“Quando alimentados com a mesma dieta, equilibrada, camundongos modificados geneticamente para não produzir NPY nos nervos periféricos ficaram com o dobro do peso dos animais do grupo de controle, que secretavam normalmente o

neurotransmissor”, relata o imunologista Licio Velloso, da Unicamp, coordenador do Centro de Pesquisa em Obesidade e Comorbidades (OCRC), um dos Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid) financiados pela FAPESP, e um dos autores do artigo que descreveu o achado, publicado em agosto na revista *Nature*.

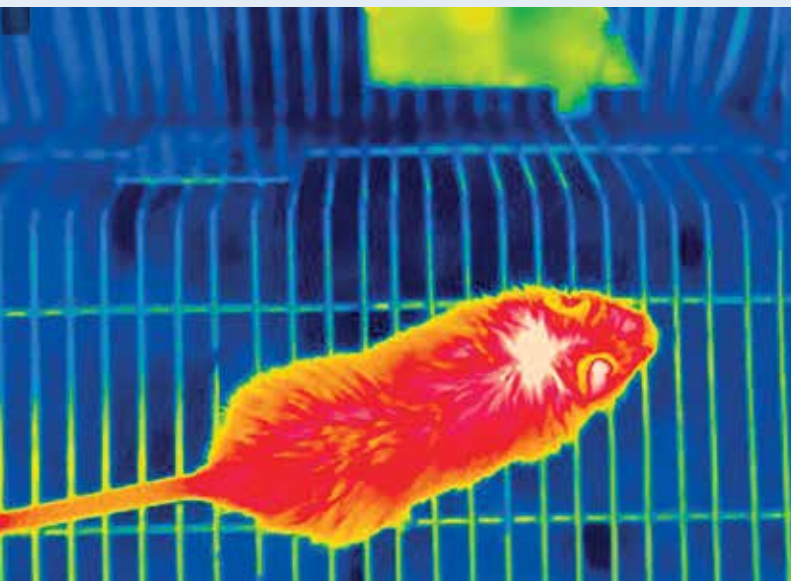
Trabalhando com pesquisadores do Reino Unido, do Japão, da China e dos Estados Unidos, a equipe de Campinas ajudou a identificar e a caracterizar o novo papel do NPY em experimentos com células e animais de laboratório. O primeiro passo foi mapear quais neurônios do sistema nervoso simpático liberavam o neurotransmissor. Essa parte do sistema nervoso é acionada em situações de estresse ou perigo e prepara o corpo para lutar ou fugir. Alguns desses neurônios também inervam o tecido adiposo branco, especializado em armazenar energia na forma de gordura, e o marrom, que consome a gordura e a transforma em calor.

Na Universidade de Oxford, no Reino Unido, o grupo da neurocientista portuguesa Ana Domingos usou anticorpos

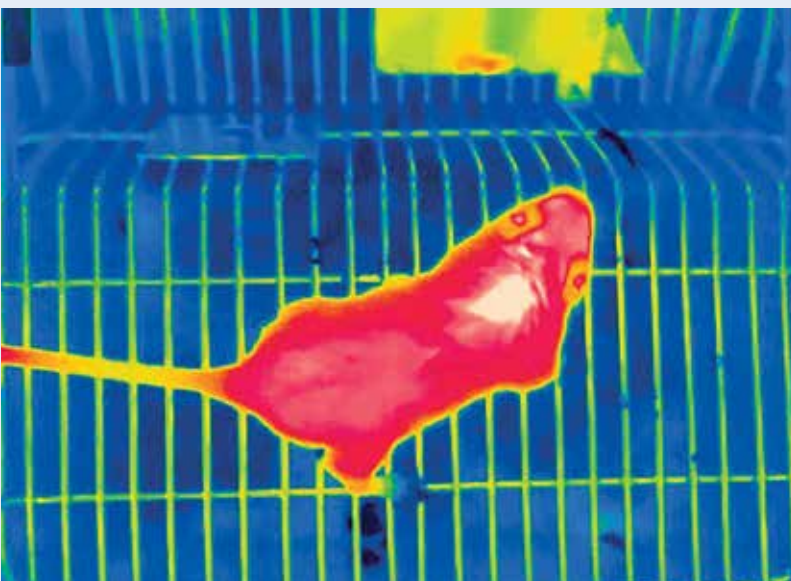
que aderiam ao NPY para marcá-lo e rastrear a sua liberação no tecido adiposo. Os pesquisadores verificaram que cerca de 40% dos neurônios do sistema simpático que chegam ao tecido adiposo produzem o neurotransmissor. Notaram ainda que esses neurônios se conectavam às células murais, que envolvem as minúsculas artérias (arteríolas) que levam sangue com oxigênio e nutrientes ao tecido adiposo. Testes feitos em laboratório mostraram que o NPY induz a proliferação das células murais e a transformação delas em adipócitos termogênicos, que consomem energia e liberam calor quando o corpo é submetido ao frio ou à atividade física – essas células são o principal componente do tecido adiposo marrom.

“Nosso trabalho confirmou que o NPY secretado pelos nervos periféricos estimula a formação do tecido adiposo marrom”, explicou Domingos, coordenadora do trabalho, a *Pesquisa FAPESP*. Essa forma de gordura é rica em mitocôndrias, estruturas celulares especializadas em produzir energia, mas em um tipo de mitocôndria que também





Camundongo que não produzia o neuropeptídeo Y (ao lado) tinha temperatura mais baixa (áreas amarelas) do que o roedor normal (abaixo)



gera calor. A gordura marrom existe em grande quantidade no corpo humano no início da vida e quase desaparece nos adultos, sendo substituída pela gordura bege, com menos mitocôndrias. “Estima-se que esses tecidos gastem de 200 a 300 quilocalorias por dia, o equivalente a cerca de 10% do total que uma pessoa normalmente ingere”, contou o fisiologista português Jorge Ruas, da Universidade de Michigan, nos Estados Unidos, que não participou do estudo, a *Pesquisa FAPESP*.

Na Unicamp, a equipe de Velloso testou os efeitos da ausência do NPY no sistema nervoso simpático. Camundongos geneticamente modificados para não produzir esse neurotransmissor apenas nos nervos periféricos tinham a temperatura corporal mais baixa e gastavam

cerca de 10% menos energia do que os animais do grupo de controle, que secretavam o neuropeptídeo em todo o organismo. Sob dieta normal, os roedores do primeiro grupo se tornavam obesos depois de adultos, mesmo consumindo a mesma quantidade de alimento que os do segundo. “Eles gastavam menos energia e armazenavam parte dela na forma de gordura”, conta Velloso. Quando alimentados com uma dieta hipercalórica e rica em gorduras, os animais que não produziam o neuropeptídeo engordavam mais e mais rapidamente.

Os autores do estudo observaram também que dietas ricas em gorduras danificavam os neurônios produtores de NPY no sistema nervoso simpático e levavam à diminuição das células murais em torno das arteríolas. Como

consequência, os vasos sanguíneos se tornavam mais permeáveis e permitiam o extravasamento de líquido e a passagem de células de defesa que causam inflamação para o tecido adiposo, algo característico da obesidade.

**P**ara o neurocientista brasileiro Ivan de Araújo, diretor do Instituto Max Planck de Biologia Cibernética, na Alemanha, que não participou do estudo, o que mais surpreendeu foi o NPY estimular a diferenciação das células murais em adipócitos termogênicos. “O trabalho mostra pela primeira vez que esse neurotransmissor desempenha um papel biológico importante no sistema nervoso simpático, e abre a possibilidade de se criarem novas medicações que modulem o gasto energético”, comenta.

“Nossos achados sugerem que seria possível desenvolver compostos que estimulam o metabolismo basal e o gasto de energia, sem afetar o apetite”, afirma Domingos, de Oxford.

Medicações à base de análogos do hormônio GLP-1, como a semaglutida ou a tirzepatida, que ganharam notoriedade no tratamento do diabetes e da obesidade, agem no cérebro diminuindo o apetite, mas não estimulam o gasto energético. “A perda de gordura com esse tipo de tratamento é limitada, pois o corpo compensa a diminuição da ingestão reduzindo o gasto energético”, ressalta Velloso. Para ele, um medicamento com efeitos semelhantes aos do NPY estimularia a formação de gordura marrom e o gasto de energia, prolongando a perda de peso causada pelos remédios que diminuem o apetite.

“Um dos desafios”, lembra Araújo, do Max Planck, “é descobrir uma maneira de ativar apenas as células murais, já que em outras partes do corpo os receptores de NPY podem ter efeitos diversos”. Ruas, de Michigan, acrescenta que é preciso verificar se o aumento da gordura marrom ajudaria de fato a diminuir o peso. “Pode ser que ocorra aumento na temperatura corporal e na transpiração, e é preciso verificar se esses efeitos serão toleráveis”, pondera. ●

O artigo científico consultado para esta reportagem está listado na versão on-line.

# Alerta sonoro para fugir da extinção

Membrana na parte interna do ouvido surgiu em ancestral comum de lagartos, crocodilos, jacarés, cobras, tartarugas e aves há 250 milhões de anos

ENRICO DI GREGORIO

**P**ara um lagarto sobreviver no ambiente escuro, fumacento e com pouca comida que foi a Terra entre cerca de 250 milhões e 200 milhões de anos atrás, período marcado por dois eventos de extinção em massa, um bom ouvido era fundamental. Com ele, o réptil podia escutar melhor as presas e os predadores ou mesmo praticar a comunicação vocal com companheiros de espécie.

A membrana timpânica, uma película que se movimenta quando entra em contato com ondas sonoras, foi uma adição evolutiva que ampliou o espectro sonoro detectado por répteis. Essa pequena parte do sistema auditivo de aves, jacarés, crocodilos, cobras, lagartos e tartarugas foi fundamental para esses animais sobreviverem e se proliferarem ao longo da história evolutiva, segundo artigo publicado em outubro na revista *Current Biology*. As aves estão no estudo

porque, evolutivamente, elas e répteis têm o mesmo ancestral comum.

A pesquisa tem implicações em um dilema importante na biologia evolutiva. “Há um grande debate sobre a evolução da audição em répteis: se ela surgiu de maneira independente em vários grupos ou a partir de um único ancestral”, conta o paleontólogo Mario Bronzati, pesquisador brasileiro em estágio de pós-doutorado na Universidade de Tübingen, na Alemanha, e autor principal do artigo.

A disputa entre hipóteses era potencializada pelo tamanho do grupo dos répteis, que hoje tem mais de 20 mil espécies, e pela falta de estudos focados na evolução da audição desse grupo. “Muitas pesquisas se debruçaram sobre animais-modelo, como galinhas e camundongos”, diz Bronzati. Com esse diferencial, os resultados expostos no artigo recente apontam que a audição surgiu a partir de um único evento e foi herdada pelos descendentes.

Os pesquisadores chegaram a essas conclusões por meio do estudo de fósseis e embriões de répteis, em uma combinação de duas áreas do conhecimento: a paleontologia e a biologia evolutiva do desenvolvimento, que estuda a embriologia a partir da evolução e é chamada pelos pesquisadores de evo-devo.

“Não teríamos conseguido responder a todas as perguntas que fizemos sem essa combinação”, explica a bióloga Tiana Kohlsdorf, da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FFCLRP-USP) e coordenadora do estudo. “Por meio dos fósseis conseguimos inferir uma escala de tempo mais antiga, que inclui o ancestral comum, e o desenvolvimento no período de uma vida, a partir dos embriões, permite ver como a membrana se desenvolve em répteis ainda viventes.”

A análise dos embriões também é importante porque a membrana timpânica é um tecido mole, que não se preserva



Réptil ancestral, há mais de 250 milhões de anos, escutaria zumbido de inseto

nos fósseis. Mesmo os caracteres ósseos associados à audição são variáveis e nem sempre servem como pista, como ocorre com uma pequena concha do crânio de lagartos que não existe em jacarés.

“Os autores abordam a questão de uma maneira inovadora”, diz a paleontóloga brasileira Gabriela Sobral, do Museu de Stuttgart, na Alemanha, que não participou do estudo. Em 2019, ela publicou um artigo na revista *PeerJ* sobre a identificação do tímpano na linhagem ancestral que daria origem a crocodilianos e a aves. “O artigo mostra como a principal característica usada para identificar a audição timpânica em fósseis, a concha, é uma condição específica de cobras e lagartos.”

“A paleontologia e a evo-devo se complementam: uma área fornece à outra exemplos concretos do que é factível existir dentro de um universo quase infinito de possibilidades”, continua Sobral. “O artigo mostra como a paleontologia é uma peça fundamental para entendermos a evolução da vida na Terra.”

Uma parte da pesquisa foi comparar embriões de lagartos (*Tropidurus*) e jacarés (*Caiman*). Os pesquisadores coletaram os ovos em um ambiente urbano na cidade de São Simão, no interior paulista, no caso dos lagartos, e na fazenda de jacarés Caimasul em Corumbá, Mato Grosso do Sul. “Foi um grande desafio, ainda estávamos no período da pandemia”, lembra Bronzati.

**N**o laboratório, a equipe abriu com cuidado as finas cascas dos ovos para examinar os filhotes de jacarés e lagartos, ainda mergulhados na solução aquosa que forma o líquido amniótico. Com microscópios, aparelhos de tomografia e técnicas tradicionais de exames de tecidos, os pesquisadores viram que o processo de formação do ouvido timpânico era muito parecido entre os dois animais. O mesmo valia para os embriões de aves.

“Em todos esses animais, a cavidade timpânica se forma pela extensão da cavidade faríngea, conectada com a garganta”, detalha Bronzati. “E a membrana timpânica surge em uma região chamada segundo arco faríngeo.” Para Kohlsdorf, outro ponto importante é que “enquanto vemos essa similaridade entre aves, jacarés e lagartos, nos embriões dos mamíferos o desenvolvimento é diferente, com a formação da membrana timpânica a partir do primeiro arco faríngeo”.

“Isso tudo fica ainda mais intrigante quando notamos que vários parentes extintos dos répteis não tinham o ouvido timpânico”, completa Bronzati. “Nós achamos que a evolução desse atributo favoreceu a sobrevivência do grupo, ainda mais considerando os eventos de extinção em massa.”

Dois desses eventos de extinção marcaram o período crucial para o surgimento do ouvido timpânico. O primeiro, há 250 milhões de anos, ocorreu durante o período Permiano e varreu mais de 95% das espécies marinhas e 70% das terrestres. Não se sabe ao certo o que causou a extinção, mas a possibilidade envolve uma combinação de mudanças climáticas e erupções vulcânicas. Fatores semelhantes levaram a uma nova catástrofe 50 milhões de anos depois, entre os períodos Triássico e Jurássico, com a extinção de 80% das espécies do planeta.

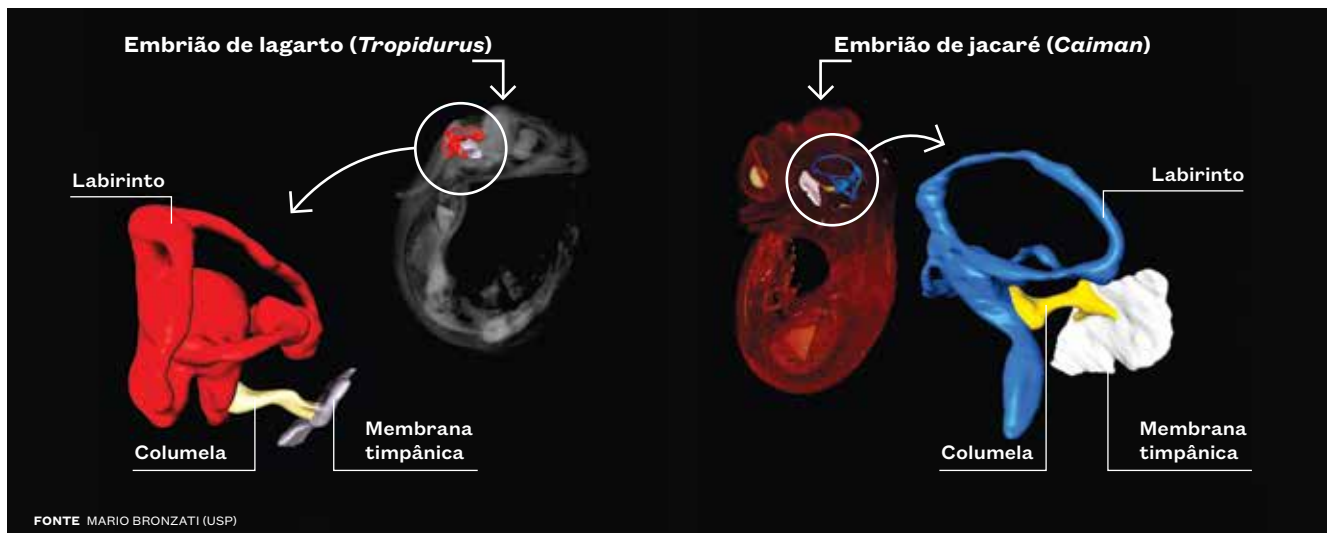
Para Sobral, é preciso investigar melhor a origem e o desenvolvimento da cavidade do ouvido médio e de estruturas relacionadas. “Essas questões só recentemente estão sendo analisadas em mamíferos, mas ainda são desconhecidas em répteis.”

Outras respostas residem na genética. “Não sabemos se os genes que formam a membrana timpânica nas galinhas e nos outros animais são os mesmos”, diz Bronzati. Há, ainda, a necessidade de investigar a perda de partes do aparelho auditivo em alguns répteis, como as serpentes, que perderam a membrana timpânica, e alguns lagartos. “É um artigo que abre portas para novas áreas de pesquisa”, conclui Sobral. ●

Os projetos e os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

## Estruturas semelhantes em animais distintos

Jacarés têm orelha externa e lagartos não, mas os ouvidos médios e internos se desenvolvem de forma similar, indicando uma origem comum



FONTE MARIO BRONZATI (USP)



# Os primeiros animais da

# América do Sul

Entre 575 milhões e 538 milhões de anos atrás, seres de corpo mole com e sem concha ocupavam os mares rasos nos atuais estados de Mato Grosso do Sul, Santa Catarina e Minas Gerais

CARLOS FIORAVANTI

**E**m novembro de 2017, o geólogo Bernardo Freitas, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), e a bióloga Luana Morais, então em um estágio de pós-doutorado na Universidade de São Paulo (USP), voltaram de uma expedição a Bonito, em Mato Grosso do Sul, com as mochilas cheias de rochas coletadas em uma área de mineração.

Meses depois, examinando ao microscópio lâminas cortadas a partir dessas rochas, formadas há 571 milhões de anos, esperavam encontrar sinais de organismos unicelulares, como as bactérias. O que viram – e confirmaram em amostras colhidas em outras sete viagens à serra da Bodoquena – foi algo melhor: fósseis milimétricos de organismos com carapaça semelhante à concha de organismos marinhos modernos. Detalhados em artigo publicado em junho na revista *Scientific Reports*, esses são possivelmente os registros mais antigos de animais com concha já encontrados no mundo.

As descobertas enriquecem um mapeamento dos primeiros organismos multicelulares identificados na América do Sul, todos no período geológico Ediacarano, iniciado há 635 milhões de anos e encerrado 538 milhões de anos atrás, quando o subcontinente estava conectado à África. Coordenado pelo geólogo Lucas Warren, da



Área de mineração em Bonito, Mato Grosso do Sul, onde foram encontrados os fósseis mais antigos de animais com concha

Universidade Estadual Paulista (Unesp), *campus* de Rio Claro, e detalhado em um artigo publicado em novembro na *Earth-Science Reviews*, esse mapeamento indica três regiões no Brasil com registros bastante antigos – o vale do Itajaí, em Santa Catarina; a região de Corumbá, em Mato Grosso do Sul; e o norte de Minas Gerais –, além de áreas no Paraguai, na Argentina, no Uruguai e possivelmente na Bolívia.

Por décadas, os geólogos não achavam que a bacia do Itajaí, uma área de 1,7 mil quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>) a nordeste de Santa Catarina, pudesse abrigar organismos da chamada biota ediacarana, formada por animais e algas marinhas. No entanto, um grupo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), no Rio Grande do Sul, anunciou no Congresso Brasileiro de Paleontologia de 1997 a descoberta de um exemplar de Chancelloriidae, uma família de animais fósseis extintos com o formato semelhante ao de esponjas com pelos. Esse fóssil foi depois reinterpretado como tendo sido formado pela ação de minerais, mas abriu o caminho para que outros pesquisadores buscassem por sinais de integrantes dessa biota na região.

Outras descobertas tornaram claro que, entre 565 milhões e 550 milhões de anos atrás, os terrenos ocupados hoje pelos municípios catarinenses

de Blumenau, Indaial e Apiúna eram cobertos por um mar raso, de águas calmas e quentes. Ali viviam *Palaeopascichmus*, possivelmente um protozoário, em forma de argolas empilhadas com ramificações; e *Aspidella*, que parecem discos e serviriam de ancoragem para estruturas em forma de folha. Também foram encontrados por lá trilhas e rastros fossilizados (icnofósseis) em forma de fios compridos, indicadores da presença de seres estranhos.

Organismos multicelulares como esses – os metazoários, formados por grupos de células diferentes com funções especializadas – também devem ter povoado outros mares rasos e quentes que na época cobriam partes do que hoje são Canadá, Estados Unidos, Argentina, Paraguai, Bolívia, Espanha, Reino Unido, França, Itália, Rússia, China, Irã, Senegal, Guiné-Bissau, Omã e Austrália. Tinham o corpo mole sem carapaça e foram encontrados em rochas com idade estimada em até 575 milhões de anos. Achados recentes indicam que animais com conchas apareceram nesses ambientes uns 20 milhões de anos mais tarde.

Antes da descoberta anunciada em junho, as rochas do Grupo Corumbá, que ocorrem em Bonito, eram conhecidas por causa dos fósseis de *Corumbella werneri*, coletados em 1982 pela equipe do geólogo alemão Detlef Walde, da Univer-

cidade de Brasília (UnB), e depois encontrados em outros lugares. Eram cnidários, o grupo das águas-vivas e dos corais, com esqueleto em forma de pirâmides invertidas empilhadas e até 10 centímetros (cm) de comprimento, o dobro dos bichos do mesmo gênero desenterrados depois no norte do Paraguai.

**P**or ali, entre 550 milhões e 538 milhões de anos atrás, viviam também organismos do gênero *Cloudina*. Provável membro dos anelídeos, o grupo do qual fazem parte as minhocas e os vermes marinhos chamados poliquetas, as cloudinas, identificadas em 1972 na Namíbia, na África, e depois em outros continentes, tinham esqueleto cônico e até 3 cm de comprimento (ver Pesquisa FAPESP nº 199).

Nessa mesma época, no mar raso que ocupava o norte de Minas e originou o chamado Grupo Bambuí, vivia uma biota pouco diversificada, com cloudinas e grupos de algas em formato de vesículas esféricas, antigamente chamadas *Bambuites erichsenii*, identificadas pelo geólogo de origem alemã Friedrich Wilhelm Sommer em 1971.

“A presença de fósseis de organismos multicelulares complexos em diferentes lugares com a mesma idade sugere uma possível conexão com o oceano”, comenta Freitas, da Unicamp. “Já ocor-

rências isoladas de alguns deles no tempo e no espaço apontam para ambientes restritos que funcionariam como oásis para a vida”, avança Moraes, que faz estágio de pós-doutorado na Unesp.

O que parece certo: os primeiros animais marinhos eram raros, frágeis e às vezes confundidos com sulcos deixados por um bloco de rocha ao deslizar sobre outro. “Os primeiros metazoários podem ter formado linhagens que evoluíram e persistiram, mas muitos se extinguíram, às vezes porque não eram viáveis”, comenta Warren, da Unesp. “Alguns eram estranhos, até mesmo sem simetria.” O mapeamento que ele coordenou inclui ainda icnofósseis, vestígios de antigos organismos, e microbialitos, rochas formadas pela atividade metabólica de comunidades microbianas (ver mapa).

“Só havia mapeamentos completos desse tipo para outras partes do mundo”, diz Warren. Em 2022, depois de concluir sua tese de livre-docência sobre a biota ediacarana, ele resolveu reunir e organizar no tempo e no espaço as descobertas de outros pesquisadores e dele próprio – como a de cloudinas no norte de Minas, em 2012, e vestígios de recifes marinhos no norte do Paraguai, em 2017 (ver Pesquisa FAPESP nº 256). Logo, ele descobriu que o biólogo Bruno Becker Kerber, do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), de Campinas, também preparava um artigo de revisão sobre a fauna ediacarana, e resolveram

## Os pioneiros do continente

Fósseis e vestígios de organismos multicelulares que viveram entre 575 milhões e 538 milhões de anos atrás foram encontrados no Brasil e em países vizinhos

**Terrenos do Neoproterozoico**  
(de 1 bilhão a 541 milhões de anos atrás)

**Grupo Jacadigo (MS)**  
Microfósseis, microbialitos

**Grupo Murciélagu/Tucavaca (Bolívia)**  
Microbialitos, possíveis icnofósseis

**Grupo Corumbá (MS)**  
Microfósseis, *Corumbella*, *Cloudina*, microbialitos, icnofósseis, algas

**Grupo Itapucumi (Paraguai)**  
*Cloudina*, microfósseis, microbialitos, icnofósseis

**Grupo Arroyo del Soldado (Uruguai)**  
Microfósseis, microbialitos, marcas de esteiras de cianobactérias fossilizadas

**Grupo La Providencia (Argentina)**  
*Aspidella*, microbialitos, icnofósseis, marcas de esteiras de cianobactérias fossilizadas

**Grupo Araras (MT)**  
Microfósseis, microbialitos, marcas de esteiras de cianobactérias fossilizadas

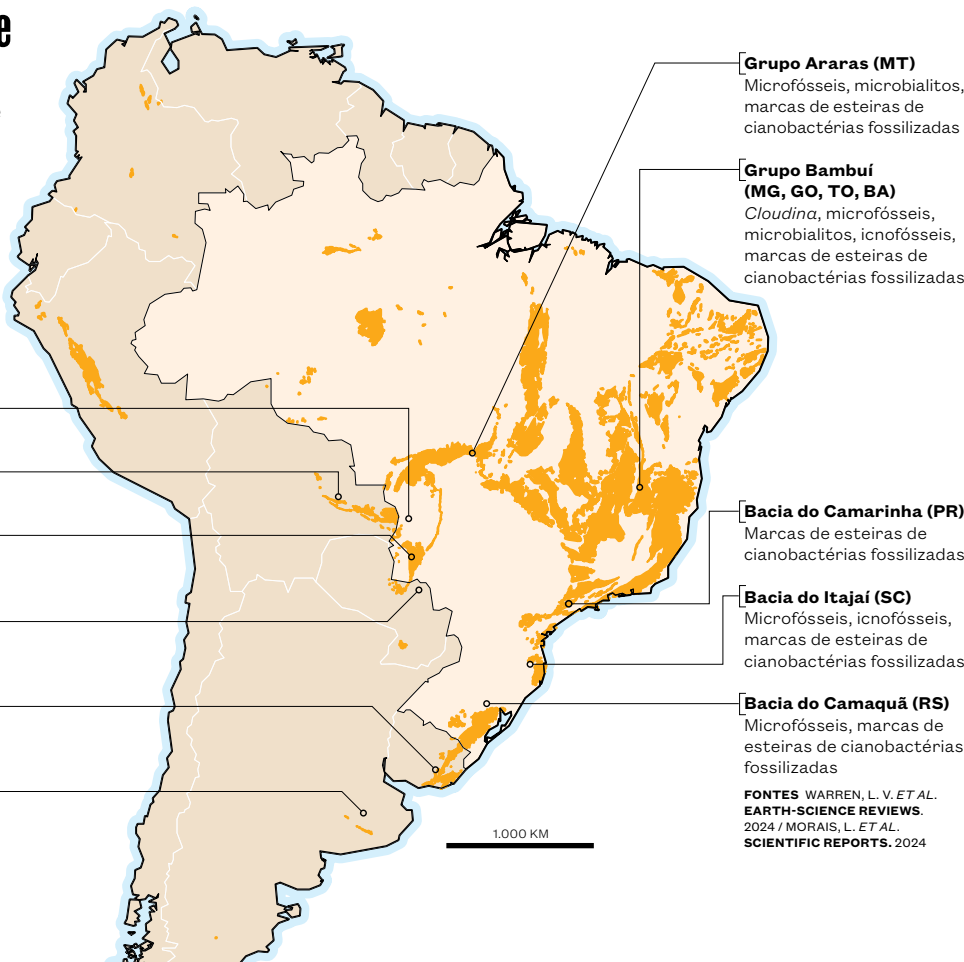
**Grupo Bambuí (MG, GO, TO, BA)**  
*Cloudina*, microfósseis, microbialitos, icnofósseis, marcas de esteiras de cianobactérias fossilizadas

**Bacia do Camarinha (PR)**  
Marcas de esteiras de cianobactérias fossilizadas

**Bacia do Itajaí (SC)**  
Microfósseis, icnofósseis, marcas de esteiras de cianobactérias fossilizadas

**Bacia do Camaquã (RS)**  
Microfósseis, marcas de esteiras de cianobactérias fossilizadas

**FONTES** WARREN, L. V. ET AL. EARTH-SCIENCE REVIEWS. 2024 / MORAIS, L. ET AL. SCIENTIFIC REPORTS. 2024



Fósseis de animais marinhos de 571 milhões de anos e espécie ainda desconhecida (imagens 1 e 2) e de exemplar de Corumbella (3) e de Cloudina (4)



1



2



3



4

trabalhar juntos. Aos poucos, outros especialistas do Brasil, incluindo Freitas e Moraes, e da Argentina reforçaram o grupo. Entre os autores da reconstituição da vida complexa na América do Sul está o geólogo norte-americano Thomas Fairchild, da USP, um dos pioneiros no estudo sistemático dessas formas de vida antigas no continente sul-americano, que identificou microfósseis em Mato Grosso do Sul no final dos anos 1980.

“Essa proposta de ordenação é a melhor possível diante dos dados disponíveis”, observa o geólogo Claudio Riccomini, dos institutos de Geociências (IGc) e de Energia e Ambiente (IEE) da USP. O biólogo Antonio Carlos Marques, do Instituto de Biociências (IB) da USP, que também não participou do estudo, comenta: “Grande parte dos locais de ocorrência da fauna ediacarana não deixou fósseis, o que é normal em paleontologia”.

**O** utras descobertas recentes alimentam essa cronologia. Em agosto, na *Geosystems and Geoenvironment*, geólogos da Unisinos – entre eles Paulo Paim, que participou do achado dos primeiros fósseis no vale do Itajaí – descreveram microfósseis de organismos marinhos do final do Ediacarano na bacia do rio Camaquã, na região centro-sul do Rio Grande do Sul.

Ainda não se tem claro o que pode ter feito organismos unicelulares, que viveram nos primeiros 3,5 bilhões de anos da Terra, unirem-se em estru-

turas maiores e mais complexas, quase ao mesmo tempo, em várias partes do planeta, a partir de 575 milhões de anos atrás. “No Ediacarano ocorreram mudanças na química dos oceanos, a formação de um grande supercontinente, o Gondwana, e a elevação dos níveis de oxigênio na atmosfera”, relata Warren. No artigo da *Earth-Science Reviews*, ele e outros especialistas sugerem que os ambientes de águas rasas podem ter criado a temperatura e salinidade adequadas e fornecido os nutrientes necessários para o florescimento dessas formas de vida.

“A existência dos metazoários depende do ambiente marinho e do incremento da oxigenação no período Neoproterozoico, do qual o Ediacarano é a parte final, somado ao fornecimento crescente de nutrientes, provavelmente re-

lacionado à erosão de cadeias de montanhas de grande porte”, comenta Riccomini. “O problema é provar que essas montanhas existiram no intervalo de tempo adequado. Se existiram, não foi em regiões próximas às ocorrências dos fósseis.”

Kerber reitera a importância do aumento da oxigenação no Ediacarano para promover a formação e a multiplicação de organismos multicelulares. Mas ressalva: “Na bacia de Corumbá, a maior parte dos microfósseis está em ambiente anóxico [sem oxigênio]”.

Marques aumenta a incerteza: “Não sabemos se outros ou os mesmos grupos já existiam antes e não fossilizaram. Algumas datações por relógio molecular jogam a origem dos metazoários algumas centenas de milhões de anos para trás do que nos dizem os fósseis”.

Segundo o pesquisador, muitos dos grupos considerados como as primeiras linhagens dos metazoários não existem mais: “Alguns poucos ainda têm representantes viventes, mas distintos das linhagens primitivas”. Como exemplos mais conhecidos, ele cita o grupo Porifera, formado pelas esponjas, e Cnidaria. De todo modo, a vida multicelular permaneceu restrita ao mar por uns 100 milhões de anos. As primeiras plantas terrestres apareceram há cerca de 450 milhões de anos e os primeiros vertebrados com pernas, os tetrápodes, 397 milhões de anos atrás. ●

Os projetos e os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

# Vão-se os corais, os peixes também

Mesmo resistentes às mudanças ambientais, espécies formadoras de recifes estão sendo eliminadas

MEGHIE RODRIGUES

**A** perda de corais nos recifes brasileiros pode ter consequências maiores do que se imagina. Um estudo publicado em agosto na *Global Change Biology* sugere que a costa brasileira corre o risco de perder um quarto das espécies desses organismos. Como consequência, um efeito em cascata poderia eliminar metade das espécies de peixes dependentes desse tipo de ecossistema marinho no país.

Os recifes brasileiros não se parecem com os caribenhos e os do Indo-Pacífico, ricos em cores e diversidade. “Eles não têm aquele aspecto de ‘floresta submarina’, com espécies de corais muito ramificadas, como os galhos de uma árvore, por exemplo”, explica a bióloga Mariana Bender, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e coautora do estudo. Por terem uma cobertura menor que em outros lugares, os corais brasileiros eram menosprezados, explica ela. “Nosso estudo prova que os corais da nossa costa são muito importantes para peixes que se associam a eles.”

A questão é que esses corais estão desaparecendo, de acordo com monitoramentos de longo prazo, e isso afeta outros animais. Usando simulação computacional, a pesquisa considerou oito espécies e analisou como mais de uma centena de peixes – e suas funções ecológicas – seriam afetados em três cenários diferentes. No primeiro, os pesquisadores simularam o que aconteceria em um ambiente de recife se fossem retirados, primeiramente, os corais que têm o maior número de associações com espécies de peixes – ou, no jargão da área, os de maior centralidade. No segundo, a equipe simulou a retirada de corais mais vulneráveis à morte por branqueamento e, no terceiro cenário, a equipe removeu as espécies aleatoriamente do recife.

Embora nas três possibilidades testadas o ambiente marinho fosse afetado em algum grau, o cenário em que a diversidade de peixes e as funções ecológicas do ecossistema sofreram mais foi no primeiro. Na simulação, a retirada de duas variedades de corais de grande centralidade afetou diretamente quatro em 10 espécies de peixes que têm relação di-



reta com recifes. Uma em cada cinco espécies que interagem com esses peixes – e que, portanto, têm relação indireta com corais – também foi prejudicada. Daí deriva o efeito cascata. No total, mais da metade de todas as espécies de peixe estudadas na simulação foram afetadas.

Segundo o oceanógrafo Miguel Mies, do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP), o estudo é robusto por ter um alto rigor estatístico. “E usa uma abordagem ecossistêmica, integrando diferentes organismos no recife para ver como o que acontece com uma espécie interfere nas outras”, diz o pesquisador, que não participou do estudo.

A pesquisa acende um alerta por tratar da perda de corais que são mais resistentes do que os de outras partes do mundo, onde as áreas marinhas têm águas cristalinas. Isso acontece, segundo Mies, porque a costa brasileira não é um ambiente favorável à formação de corais. “Existe uma grande quantidade de rios desaguando na plataforma continental, e rios trazem muitos sedimentos e turbidez”, explica. Essa turbidez diminui a incidência de luz solar no ambiente marinho, ingrediente essencial para o desenvolvimento de corais. “Semelhantemente, esses rios trazem muito nitrogênio, fósforo e outros nutrientes que servem como filtros para selecionar as espécies mais fortes.” Assim, só se fixaram na costa brasileira os corais mais resistentes. Por outro lado, a diversidade é relativamente baixa: “Se há centenas de espécies no Indo-Pacífico, aqui no Brasil temos cerca de 20”, avalia Mies. “Mas elas são especiais, mais tolerantes às mudanças climáticas.”

Perder essas espécies significa um impacto abaixo do nível do mar, mas também acima, diz o ecólogo marinho e coautor do estudo Guilherme Longo, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. A supressão de corais na costa brasileira resulta em um ambiente marinho menos saudável. “E impacta populações humanas do ponto de vista da nutrição, da pesca e do turismo, que tem um efeito socioeconômico importante”, observa.

Para monitorar a redução de corais na costa brasileira de forma mais eficaz, é preciso traçar uma linha de base para que seja possível dimensionar a perda, dizem os pesquisadores. Perder 10 espécies em um conjunto de 100 é bem diferente de perder 10 em um cenário com 20 espécies.

Ambiente submarino no Boqueirão, em Abrolhos, tem declínio da presença de espécies-chave



Esse esforço resultou na tese de doutorado da bióloga Carine Fogliarini, da UFSM. A pesquisa, publicada em agosto na *Ocean & Coastal Management*, reuniu dados históricos sobre corais na costa brasileira ao longo de 150 anos, baseando-se em materiais que iam de manuscritos de naturalistas do século XIX a dados de museus e publicações de décadas recentes.

**F**ogliarini notou que o número de registros de corais aumentou ao longo do período, especialmente depois da década de 1960. O desenvolvimento de tecnologias que permitiram um melhor detalhamento de ambientes marinhos, conta ela, teve papel decisivo. Até 1960, havia dados de corais em 13 localidades da costa brasileira, do Ceará a São Paulo, somando 20 espécies. Entre 1997 e 2019, ela encontrou mais oito lugares em que havia corais, totalizando 21.

Ao mesmo tempo que os registros aumentaram ao longo dos últimos 150 anos, Fogliarini observou o declínio de

duas espécies-chave de corais no Banco dos Abrolhos, sul da Bahia: *Millepora alcicornis* e *Mussismilia braziliensis*. “Essas espécies são formadoras de recifes, e com o declínio delas, se perdem funções importantes, como o abrigo para peixes menores”, conta.

Segundo Longo, que também participou desse estudo, a análise é importante porque resgata a referência do que seria um ambiente saudável no passado. E tem valor fundamental para políticas de conservação. “Não dá para dizer se uma espécie está ameaçada de extinção nos parâmetros da União Internacional para a Conservação da Natureza [que elabora listas de animais classificados por estado de conservação e risco de extinção] se não temos dados históricos para comparar.”

“Combinando ambos os estudos com as evidências de outras pesquisas que vão juntando o quebra-cabeça”, diz Mies, “vemos que, em conjunto, eles preveem e explicam bem, em escala ecossistêmica, o que está acontecendo”. ●

Os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

# Resiliências da Amazônia

O território tem capacidade variável de resposta à crise climática e algumas regiões parecem ter chegado ao ponto de colapso ecológico

LAURA TERCIC

**U**m estudo internacional uniu informações de satélite com dados de solo e relevo do vasto bioma amazônico para revelar uma visão abrangente e heterogênea das áreas que apresentam diferentes graus de vulnerabilidade às condições impostas pelos crescentes períodos de seca. A pesquisa, publicada em maio na revista *Nature*, teve participação de brasileiros e foi atrás de apontar os principais mecanismos responsáveis pela resposta da vegetação ser tão variável conforme sua posição geográfica.

Distribuições de múltiplas características no espaço, incluindo profundidade do lençol freático, altura das árvores e fertilidade do solo, foram adicionadas ao modelo que, ao final, mostrou que a vegetação com características naturalmente mais sensíveis à falta de água coincide com as terras mais produtivas e férteis que compõem parte do sul e sudeste amazônicos. A localização

preocupa, já que é também a mais impactada pelo arco do desmatamento, do sul do Pará ao norte de Mato Grosso.

“Há muitos trabalhos da Amazônia com medidas em nível local para falar sobre os impactos do clima nos ecossistemas, especialmente os da seca, mas o nosso mais recente olhou para um panorama climático de grande escala”, avalia o biólogo norte-americano Bruce Nelson, especialista em sensoriamento remoto do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa) e coautor do estudo, a respeito da abordagem holística adotada pelo grupo de pesquisadores. “É um grande exemplo de como se pode juntar dados do chão, dos satélites e das plantas para considerar o sistema como um todo.”

Para a chinesa Shuli Chen, primeira autora do estudo e especialista em análises espaciais na Universidade do Arizona, nos Estados Unidos, que conversou por e-mail com *Pesquisa FAPESP*, outra preocupação com as áreas ambientais de



Amapá: floresta do escudo das Guianas revelou ser a mais resiliente

menor resiliência à seca encontradas nas análises é a de que boa parte delas integra o território do leste do bioma amazônico. A floresta remanescente na porção oriental é também responsável por lançar para a atmosfera um imenso volume de vapor-d'água que segue para o oeste (ver Pesquisa FAPESP nº 226), irrigando cerca de 50% do que é necessário às árvores dali. Reciclada pela floresta, essa água segue sua viagem pelos céus, direcionando chuvas ao restante do país e à parte sul do continente. O fenômeno ficou conhecido como rios voadores. “Por isso, perder a vegetação dessa parte da Amazônia é um dano que vai além daquele causado à floresta ou à agricultura da América do Sul: a interrupção da ciclagem de água afeta a integridade do sistema global inteiro”, explica Chen.

Um dos pesquisadores responsáveis pela popularização do conceito de rios voadores é o geocientista Antonio Donato Nobre, pesquisador aposentado do Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais (Inpe), coautor do estudo recente na *Nature*. O trabalho prévio de seu grupo na detecção e no mapeamento da água subterrânea ao longo do território amazônico por meio do modelo topográfico conhecido como “Hand”, sigla para Height Above Nearest Drainage (altura acima da drenagem mais próxima), motivou o coordenador da pesquisa, o cientista do clima norte-americano Scott Saleska, também da Universidade do Arizona, a procurar fatores que pudessem explicar as diferenças observadas nos padrões de morte da vegetação. “Boa parte das áreas que mais sofrem com a seca parecia ter a profundidade do lençol freático como causa direta e principal, mas faltava investigar as que não podiam ser resumidas a esse fator para termos uma resolução mais precisa do cenário”, contou Saleska, também por e-mail.

Com uma resolução mais detalhada em mãos e mais informações sobre o mosaico de fragilidades da Amazônia, os pesquisadores defendem que as ações em planos de conservação e políticas públicas possam se tornar mais focadas e eficientes.

Nobre ressalta que isso não quer dizer que áreas que não foram definidas como prioritárias pelo trabalho possam ser desmatadas, já que as partes da floresta dependem umas das outras na dinâmica do clima. O segredo para combater a crise climática, segundo ele, é a diversidade do sistema. “A floresta é complexa e precisa ser respeitada em sua complexidade e integridade.”

## EVOLUÇÃO E RELEVO

De forma geral, o norte amazônico demonstrou conseguir lidar melhor com secas intensas do que o sul do bioma. Ainda assim, o sul apresenta regiões resilientes: áreas alagadas (com vegetação conhecida como igapó) ou as com o lençol freático próximo à superfície, que têm o acesso à água facilitado. No caso dos igapós, os períodos de seca podem até ser bem-vindos para um alívio temporário e oxigenação das raízes normalmente submersas, desde que a estiagem tenha curta duração.

Onde o lençol freático é profundo, sobrevivem há centenas de anos as espécies com raízes que alcançam a água. Como raízes profundas geralmente representam árvores mais antigas e mais altas, a estatura na fisionomia vegetal também foi um dos fatores no mapa de resiliência.

Mas o critério do lençol freático não se aplica a todo o território por onde se espalha o bioma. No escudo das Guianas, planalto ao extremo norte que abriga as árvores gigantes da Amazônia (ver Pesquisa FAPESP nº 336), foi encontrado o perfil de vegetação com a maior resiliência de todas. Lá, a distância entre a superfície e a água subterrânea não é um fator determinante. A constatação talvez seja explicada por uma característica marcante e conhecida da região: o solo infértil.

Estudos feitos ao longo dos últimos anos têm mostrado que, em solos pobres em nutrientes, o crescimento é extremamente lento, o que implica madeira e vasos internos da planta mais densos, possivelmente com maior resistência ao embolismo, processo em que os vasos internos da planta colapsam pela entrada de ar onde só deveria haver água, quando o solo seca demais.

**O** tamanho das árvores, a fertilidade do solo e a proximidade do lençol freático são fatores que atuam em combinação, com vantagens e desvantagens que se compensam. O pior cenário, típico da região do arco do desmatamento, é o que soma solo fértil, plantas baixas e lençol freático profundo. As árvores nessas condições são propensas ao embolismo, pois desenvolvem raízes que não conseguem alcançar o lençol freático.

Entre os parâmetros considerados pelo grupo de pesquisa, estava o da “verdidão”. O Índice Aprimorado de Vegetação (EVI) quantifica a concentração de folhas de árvores saudáveis nas copas do dossel superior. Além do EVI, também levaram em conta medidas diretas da fotossíntese por meio do índice SIF (sigla para fluorescência de clorofila induzida por radiação solar). Ambos os índices são baseados em informações colhidas ao longo de mais de 20 anos por satélites da agência espacial norte-americana (Nasa).

## Floresta em transformação

Uma das respostas adaptativas pode ser o surgimento de uma nova flora, resistente às novas condições

Tanto o trabalho do cientista climático norte-americano Scott Saleska quanto o da matemática Marina Hirota olharam para a vegetação pelo seu aspecto funcional, e não exatamente para a composição da flora, escolhendo focar nas capacidades e propriedades das plantas, sem distinguir espécies. Outra pesquisa, publicada em 2018 na revista *Global Change Biology* pela ecóloga brasileira Adriane Esquivel-Muelbert, à época na Universidade de Leeds, no Reino Unido, olhou para informações das espécies amazônicas coletadas ao longo de 30 anos e detectou que já estava em curso uma substituição na composição das árvores.

A pesquisadora mostrou que indivíduos de espécies que sobrevivem melhor em terras úmidas estão nascendo menos na Amazônia, dando lugar a plantas normalmente encontradas em ambientes mais secos e com maior abundância de gás carbônico na atmosfera. A troca gradual por árvores que sobrevivem nessas condições, no entanto, não acompanha a velocidade das alterações climáticas globais. Os indícios apontam para a mesma direção: as mudanças têm sido rápidas demais para que a floresta consiga se adaptar.



Sul do Amazonas: floresta suscetível do arco do desmatamento sofre drástica pressão humana

Para os participantes do estudo, o critério apoiado nos índices de fotossíntese se justifica pela correlação que o EVI e o SIF têm com taxas de mortalidade e de crescimento da vegetação. “O embolismo também é fundamental para entender o estudo porque descobrimos, em uma pesquisa anterior, que essa foi a maior razão por trás das mortes das árvores em uma das piores secas do sul amazônico, a de 2015”, explica Nelson. “Outros pesquisadores também demonstraram que esse efeito foi o mecanismo da morte das árvores expostas a uma longa seca artificial”, completa, referindo-se ao trabalho do grupo da ecóloga britânica Lucy Rowland, atualmente na Universidade de Exeter, no Reino Unido (ver Pesquisa FAPESP nº 238).

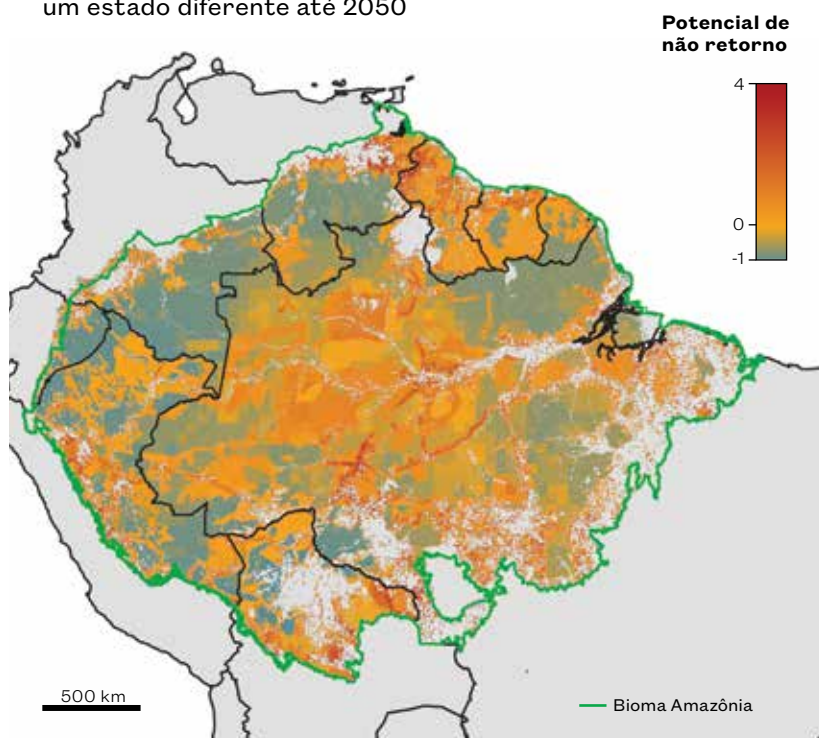
### MAIS MODELOS

Outras ameaças ao ciclo de chuvas podem ser adicionadas aos modelos, deixando-os mais detalhados, precisos e realistas na missão de projetar estratégias de conservação do ecossistema e da biodiversidade da Amazônia. A necessidade de abordagens multifatoriais para tratar do tema é um foco da matemática Marina Hirota, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e colegas, em um artigo que ganhou a capa da revista *Nature* em fevereiro deste ano.

Hirota também chegou a um mapa heterogêneo de respostas e fragilidades do território amazônico. Para isso, combinou uma série de outras perturbações ambientais, incluindo, além de secas passadas, a propensão à morte por inundações, incêndios e desmatamento. Ao fim, chegou à estimativa de que, até 2050, entre 10% e 47% da floresta amazônica estará exposta ao risco do

## Rumo ao ponto de virada

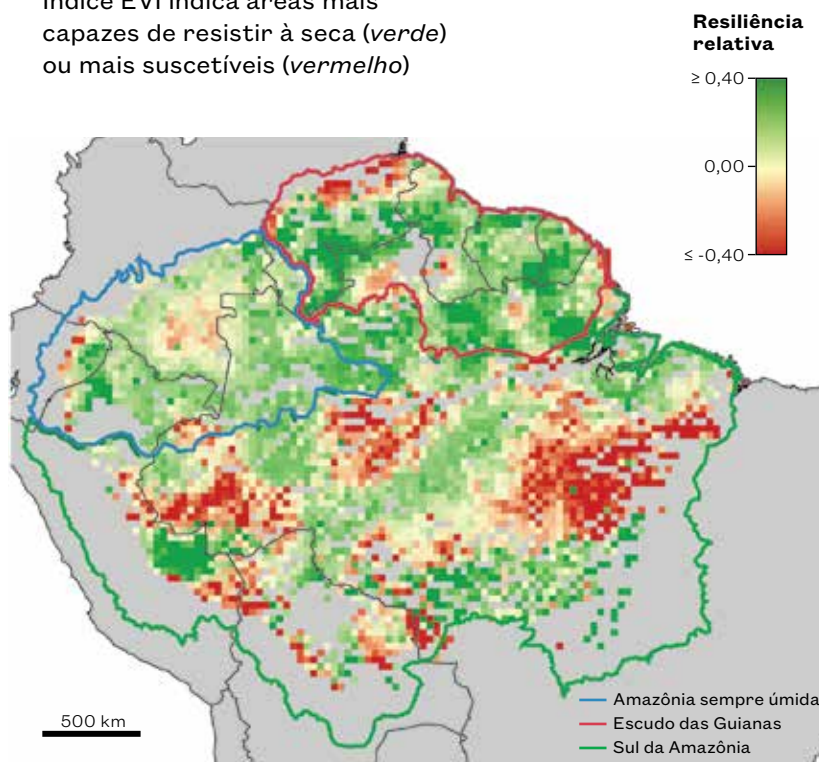
As áreas vermelhas são as com maior risco de transição para um estado diferente até 2050



FONTE FLORES, B. M. ET AL. NATURE, 2024

## O mapa da resiliência à seca

Índice EVI indica áreas mais capazes de resistir à seca (verde) ou mais suscetíveis (vermelho)



FONTE CHEN, S. ET AL. NATURE, 2024

chamado “ponto de não retorno”, ou ponto de inflexão, quando o ecossistema não consegue mais se recuperar do distúrbio que lhe foi infligido. Além das perturbações, a pesquisadora considerou forças que tendem a proteger a vegetação, como os limites de terras indígenas.

Segundo ela, os cientistas estão descobrindo que algumas regiões da Amazônia são mais resilientes às mudanças climáticas do que se sabia antes dos anos 1990, quando se começou a falar de pontos de inflexão climática para o bioma inteiro, de forma homogênea. Hirota lembra que o fato de a floresta ter mecanismos de resistência não significa que ela não vá sucumbir caso as alterações sejam drásticas demais. “Apenas significa que temos um pouco mais de tempo, mas não muito”, esclarece.

**H**irota é coautora de um estudo, publicado em 2023 na *Nature*, incluído no estudo de Shuli Chen, que aponta as florestas do sudeste da Amazônia como evolutivamente mais resistentes quando avaliadas por uma medida de resistência ao embolismo. “Quanto mais negativos os valores, mais tensão de água a árvore aguenta nos vasos antes de sofrer embolismo”, explica. Mas a ameaça sobre a região é descrita por outra medida, HSM (margens de segurança hidráulica), que mostra se as plantas estão operando dentro dos limites ecofisiológicos seguros para evitar a mortalidade por seca. Com base nisso, embora as florestas do sudeste sejam mais resistentes à seca, elas já estão operando fora dos limites seguros por estarem experimentando mais déficit hídrico. Já as florestas do oeste, sudoeste e noroeste, embora menos resistentes, não sofrem tanto impacto de mudança na disponibilidade de água. O trabalho foi liderado pela ecóloga Julia Tavares, atualmente pesquisadora em estágio de pós-doutorado na Universidade de Uppsala, na Suécia. A continuidade de estudos que integrem os indicadores e as características de cada parte da floresta deve permitir entender melhor os riscos e as áreas com maior probabilidade de permanecer íntegras.

Antonio Nobre atribui as estratégias de defesa aos sistemas da natureza que qualifica como elegantes e complexos, especialmente nos contextos de diversidade biológica e geofísica. “Sistemas assim, quando intactos, tendem a dar respostas apropriadas dentro de sua capacidade de se autorregular – até o momento em que os limites são ultrapassados, levando ao colapso ecológico, que é o que estamos vivendo agora.” ●

Os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Incêndio florestal em julho deste ano no Parque Nacional de Jasper, em Alberta, no Canadá

# Mais lenha no aquecimento global

## Emissões de carbono decorrentes de incêndios florestais, sobretudo em regiões temperadas e boreais, aumentaram 60% entre 2001 e 2023

MEGHIE RODRIGUES

**E**ntre 2001 e 2023, as emissões de carbono causadas por incêndios florestais aumentaram em 60% em todo o planeta. O fogo em florestas extratropicais, situadas fora dos trópicos, em áreas de clima temperado e boreal, como as coníferas do Canadá, teve maior peso na elevação das emissões do que as queimadas em matas tropicais. A conclusão é de um estudo, realizado por pesquisadores do Brasil, da Europa e dos Estados Unidos, publicado em outubro na revista *Science*. A combustão de vegetação é um dos processos que liberam para a atmosfera gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que provocam o aumento do aquecimento global, o motor das mudanças climáticas.

A equipe analisou e agrupou as florestas do planeta em 12 áreas denominadas piromas, uma combinação das palavras fogo – *pyros*, em grego – e bioma. Os pesquisadores buscaram entender como os incêndios nas florestas dessas regiões respondem a pressões ambientais, climáticas e de ocupação humana. Cobrindo desde as áreas de taiga (floresta de coníferas) próximas ao Ártico aos pinheiros do sul da Austrália, os piromas incluem todas as grandes zonas de floresta do planeta, e não apenas as tropicais, como a Amazônia.

De acordo com o estudo, o incremento geral de emissões pela queima de biomassa em áreas florestadas se deu por mudanças na extensão dos incêndios, que abrangem territórios cada vez maiores. Também teve um peso significativo o aumento da severidade do fogo. Em 2023, as emissões de carbono por unidade de área queimada foram 50% maiores do que em 2001.

Um achado que surpreendeu os pesquisadores foi a ampliação significativa de emissões de CO<sub>2</sub> provindas de incêndios nas florestas boreais da Eurásia e da

América do Norte. O volume de carbono liberado para a atmosfera quase triplicou nessas regiões entre 2001 e 2023.

“De fato esperávamos um aumento, especialmente porque essas áreas têm sofrido cada vez mais ondas de calor e condições de seca, mas não dessa magnitude”, diz a geógrafa e cientista ambiental brasileira Thais Rosan, que faz pós-doutorado na Universidade de Exeter, no Reino Unido, e é coautora do estudo.

Entre as causas da elevação dos níveis de fogo em florestas de latitudes mais altas, o artigo destaca a ocorrência frequente de tempo seco em decorrência das mudanças do clima, a menor umidade dos solos e a maior taxa de crescimento da vegetação. Nessas condições, as plantas passam a produzir mais biomassa nas folhas e nos troncos, fornecendo material passível de ser queimado.

O aumento de emissões em florestas boreais não quer dizer que as tropicais estão em uma posição confortável. Apesar de, no período analisado, as emissões de carbono em incêndios florestais terem diminuído em regiões como a Amazônia e a bacia do Congo, na África, o fogo também é um risco para a manutenção das florestas de clima quente. Nos trópicos, segundo o estudo, os principais fatores que impulsionam os incêndios são a elevação da densidade populacional, a abertura de estradas e alterações no uso da terra para implementar novas áreas agrícolas, além, claro, das mudanças climáticas. É preciso levar em conta que o estudo não abrange dados deste ano, quando a ocorrência de incêndios se intensificou acentuadamente em biomas sul-americanos, como a Amazônia e o Pantanal.

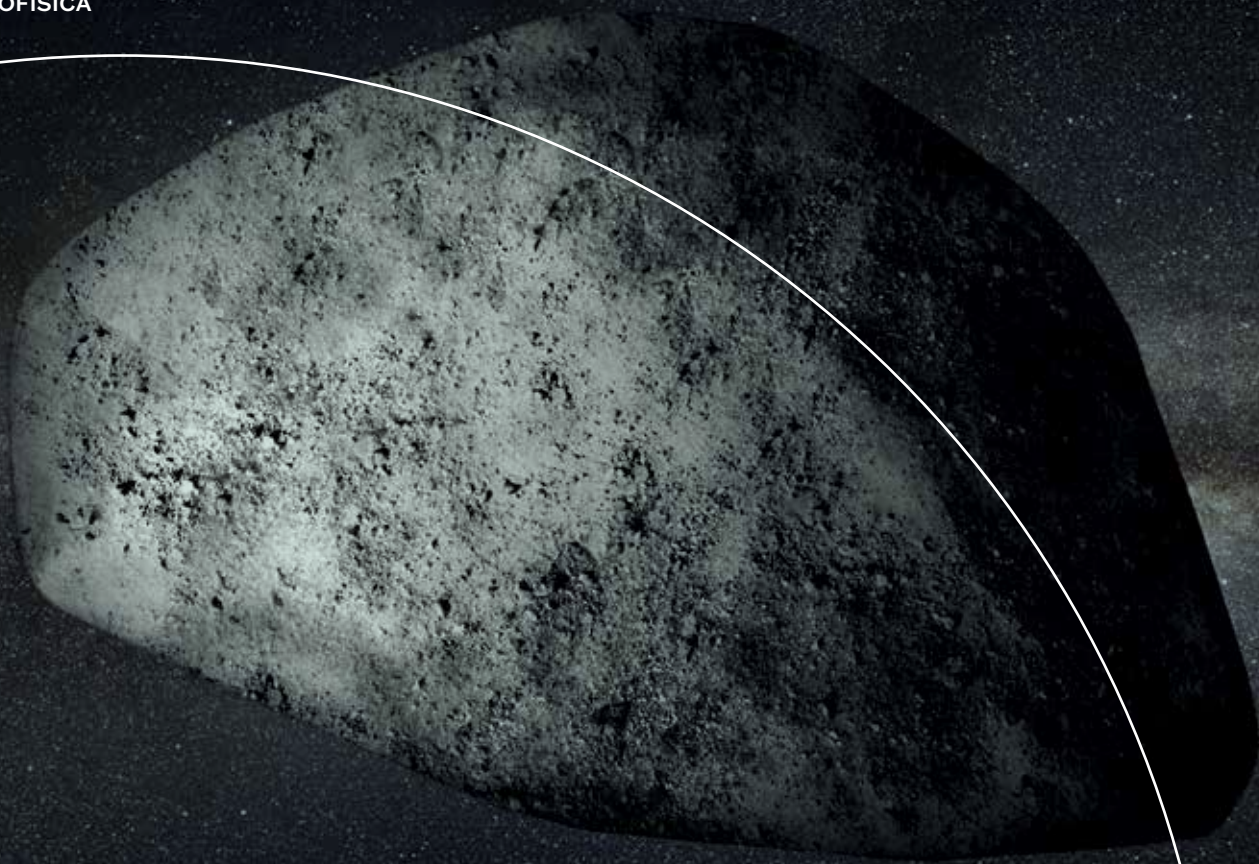
Para obter os resultados divulgados no novo artigo, a equipe de pesquisadores usou primeiramente um algoritmo para analisar dados de sensoriamento remoto de 414 ecorregiões florestais do planeta. “Dentro dessa ecorregiões, consideramos

uma série de variáveis, como densidade de rodovias e populacional, área queimada e dados de clima”, explica outro coautor do artigo, o especialista em sensoriamento remoto Guilherme Mataveli, que faz pós-doutorado, com bolsa concedida pela FAPESP, no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).

O passo seguinte foi utilizar uma ferramenta de inteligência artificial para encontrar padrões para as variáveis e, assim, agrupar ecorregiões com características parecidas e regime de fogo semelhante. Dessa forma, a equipe encontrou os 12 piromas, conta Mataveli, que trabalhou na pesquisa enquanto passava uma temporada na Universidade de East Anglia, no Reino Unido. Lá trabalhou com o cientista do clima Matthew Jones, que liderou o estudo.

“A pesquisa é importante porque falamos muito das emissões decorrentes do desmatamento, mas pouco das do fogo”, diz Celso H. L. Silva-Junior, especialista em ciclo do carbono do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam), que não participou do estudo. “Achávamos que as florestas extratropicais não contribuíam nessa magnitude para as emissões de gases de efeito estufa. Esses novos resultados são realmente uma grande surpresa.”

Para Silva-Junior, os achados adicionam mais evidências ao que a ciência vem alertando há décadas: as mudanças climáticas provocadas por atividades humanas estão deixando as florestas mais vulneráveis a incêndios. Um problema alimenta e é alimentado pelo outro. As mudanças climáticas favorecem os incêndios florestais e as emissões decorrentes da combustão de vegetação acentuam o aquecimento global. “O imenso estoque de carbono guardado na biomassa das florestas é liberado para a atmosfera quando uma área queima. Como o sistema terrestre é interligado, isso pode virar uma bola de neve”, alerta o pesquisador do Ipam. ●



# Ameaça futura

Asteroide que vai passar perto da Terra em 2029 pode criar chuva de meteoros com potencial de atingir a Lua daqui a 100 anos

MARCOS PIVETTA

Representação artística do asteroide Apophis, que tem 340 metros de comprimento e ao menos 20 milhões de toneladas



**E**m 13 de abril de 2029, o asteroide 99942 Apophis, uma estrutura rochosa com cerca de 340 metros (m) de comprimento e ao menos 20 milhões de toneladas, vai se encontrar no ponto mais próximo da Terra de sua órbita atual. Os dois objetos celestes vão estar separados por apenas 32 mil quilômetros (km), 12 vezes menos do que a distância média do planeta à Lua – alguns satélites artificiais giram em torno da Terra a essa altitude. Quando foi descoberto em junho de 2004, Apophis causou apreensão entre os astrônomos e gerou notícias preocupantes na imprensa. Ele foi considerado o maior asteroide conhecido em rota de colisão com a Terra. Seu nome, de significado assustador, parecia fazer sentido. Na mitologia egípcia, Apophis era uma divindade associada ao caos e à escuridão, representado por uma serpente gigante.

Os dados iniciais, obtidos em observações incompletas de sua órbita, apontavam que havia 2,7% de probabilidade de Apophis se chocar com o planeta na data de abril de 2029 – uma sexta-feira 13, como lembraram os mais supersticiosos. Não seria um cataclismo global, como a queda de um asteroide muito maior, com cerca de 10 km de comprimento, que teria provocado a extinção dos dinossauros e de boa parte da vida na Terra cerca de 66 milhões de anos atrás. Mas a trombada espacial com Apophis, que viaja a uma velocidade média ligeiramente maior do que a da Terra, poderia, em tese, destruir uma área de algumas centenas de km. Estudos posteriores, com informações mais detalhadas sobre a trajetória do asteroide, indicaram, porém, que o corpo celeste não fazia jus à sua alcunha catastrófica. O risco de choque com a Terra nos próximos 100 anos acabou sendo totalmente afastado.

Além de descartar a probabilidade de colisão, um trabalho recente do grupo de dinâmica orbital e planetologia da Universidade Estadual Paulista (Unesp), *campus* de Guaratinguetá, analisou outra possível consequência da passagem de Apophis em abril de 2029. Se o asteroide estiver rodeado por um conjunto de rochas menores, a proximidade extrema com a Terra pode fazer com que esses pequenos pedaços de matéria sólida se desprendam de seu entorno devido a perturbações gravitacionais e gerem uma chuva de meteoros.

De acordo com o estudo, publicado em maio na revista *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS)*, simulações computacionais descartam a probabilidade de que eventuais fragmentos rochosos expulsos do asteroide possam atingir a Terra até pelo menos 2229. “Mas existe uma pequena possibilidade dessa chuva de meteoros cair sobre a Lua depois de 2129”, diz o físico Othon Winter, coordenador da equipe da Unesp e um dos autores do artigo. O hipotético evento não teria provavelmente grandes repercussões sobre o satélite natural da Terra, mas poderia produzir alguma pequena deformação na superfície da Lua. Essas simulações levam em conta as interações gravitacionais entre a órbita do asteroide e a dos principais corpos em torno do Sol, basicamente os planetas do sistema.

Em um artigo anterior, publicado no fim de 2021 também na *MNRAS*, o grupo de Winter calculou que a extrema aproximação de Apophis com a Terra pode produzir alterações no formato, na massa e na órbita do asteroide. A força gravitacional do planeta poderia provocar pequenos deslizamentos de rocha na superfície do corpo celeste, deformações e causar ejeção de massa. “Quando isso ocorre, o asteroide ganha um impulso, como se tivesse virado um foguetinho”, comenta o físico e engenheiro aeroespacial Antônio Bertachini, do

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), especialista em mecânica celeste, que também já estudou Apophis.

A matéria expelida poderia originar em torno do asteroide o que os astrônomos denominam um disco de partículas. Na verdade, as partículas são corpos rochosos menores, com alguns poucos centímetros ou metros de diâmetro. Inicialmente, elas ficariam girando em torno do asteroide, atraídas pela força gravitacional do maior astro. Com o passar do tempo, algumas poderiam escapar do disco, mudar de direção e eventualmente serem arremessadas para fora de sua trajetória normal e tomarem a direção da Terra.

Se Apophis for rodeado por um disco com 15 mil partículas, o trabalho de 2021 estimou que cerca de 80% delas poderiam escapar da influência do campo gravitacional do asteroide no momento de maior proximidade com a Terra e produzir uma chuva de meteoros. “A suposição de que exista um disco de partículas em torno de Apophis é plausível”, comenta Winter. “Essa característica já foi vista em outros asteroides.”

**A**pophis é considerado um asteroide do tipo S, formado por sílica (rocha), misturada com ferro e níquel. Em vez de ser constituído por um único bloco rochoso maior e acabado, esse tipo de corpo celeste pode ser composto pela junção incompleta de vários fragmentos sólidos de menor tamanho. Pela ação da gravidade, esses pedaços de rocha se uniram, mesmo sem se fundir totalmente, e originaram um objeto maior. “Se esse for o caso de Apophis, o campo gravitacional da Terra tem ainda mais chance de arrancar pedaços do asteroide, mesmo não havendo nenhuma colisão”, diz Winter.

Não há imagens com resolução suficiente para discernir o formato de Apophis. Tudo o que se vê nos poucos registros do asteroide é um pontinho no espaço, que, ampliado, se torna um borrão disforme. As poucas informações disponíveis sugerem que ele tenha um formato alongado, talvez parecido com um amendoim. “Quando a sonda Dart atingiu deliberadamente em 2022 a lua Dimorphos do asteroide Didymos, houve tanto mudança na órbita do satélite natural como ejeção de matéria”, lembra Bertachini. O evento foi um teste da Nasa, a agência espacial norte-americana, para ver se seria possível desviar do caminho da Terra um eventual asteroide em rota de colisão. Deu certo. A sonda Dart, com cerca de 600 quilos, deu um encontrão em Dimorphos, que tem 170 metros de comprimento e 5,5 milhões de toneladas, e alterou seu rumo.

Nenhum trabalho recente considera ainda factível um choque de Apophis com a Terra nos próximos 100 anos. “A margem de erro atual para a trajetória de Apophis é de menos de 1 km”, diz Winter. A única exceção é um artigo assinado apenas pelo astrofísico Paul Wiegert, da Universidade de Ontário Ocidental, no Canadá, publicado no fim de agosto no periódico *The Planetary Science Journal*. No estudo, o pesquisador simula um cenário remotíssimo, que beira a ficção científica, mas que, segundo seus cálculos, poderia colocar o asteroide na rota de colisão com o planeta.

## Asteroide Apophis vai passar a uma distância de 32 mil km da Terra em 13 de abril de 2029



Se, antes de abril de 2029, um asteroide menor e desconhecido, com cerca de 3 metros de comprimento, colidisse com Apophis, tal trombada poderia desviar a órbita da rocha espacial de 340 m e talvez empurrá-la no caminho da Terra. “Até agora, os cálculos da trajetória de Apophis não consideraram a hipótese de ele ser atingido por um pequeno asteroide ou meteoróide, como os que ocasionalmente e de forma imprevisível batem na Terra e são observados como meteoros ou estrelas cadentes”, disse Wiegert, em seu website, quando o trabalho foi divulgado.

**N**as contas do astrônomo canadense, a probabilidade de um pequeno asteroide nunca observado bater em Apophis e alterar sua órbita é menor do que uma em 1 milhão. A chance de essa mudança de trajetória representar algum perigo para a Terra é ainda mais ínfima: uma em 1 bilhão. “Esse cenário está praticamente descartado”, comenta Winter. “Para ele se materializar, seria preciso que ocorresse uma sucessão de eventos extraordinários.” A passagem do asteroide em abril de 2029 poderá ser vista a olho nu, como ocorre com o planeta Vênus, especialmente antes do amanhecer e do anoitecer.

A origem de Apophis é a mesma dos milhões de corpos rochosos que formam o cinturão de asteroides em órbita do Sol, entre Marte e Júpiter. É um resquício do processo de formação do Sistema Solar, com seus planetas, luas e outros objetos, há cerca de 4,6 bilhões de anos. A maioria dos asteroides permanece no cinturão. Alguns, devido a interações gravitacionais, sobretudo com Júpiter, o maior planeta do sistema, têm sua trajetória alterada com o passar do tempo e acabam sendo empurrados para mais perto da Terra.

Esse é o caso de Apophis, que, em sua nova órbita fora do cinturão, se aproxima mais da Terra a cada sete ou oito anos. A mais recente delas foi em março de 2021, quando passou a 17 milhões de km da Terra, cerca de 500 vezes mais longe do planeta do que estará em abril de 2029.

Dias depois da passagem de Apophis pelas proximidades da Terra em abril de 2029, a sonda espacial Osiris-Apex da Nasa vai começar a segui-lo de perto por um ano e meio. Sua missão é obter imagens detalhadas do asteroide e coletar amostras da superfície de Apophis. Para ter sucesso nesse segundo objetivo, ela vai, em certo momento, voar praticamente colada ao asteroide e acionar seus motores diretamente sobre a superfície do astro. Essa perturbação deverá fazer com que pequenas pedras soltas e poeira de Apophis se alcem do chão e possam ser capturadas pela espaçonave. Em setembro do ano passado, a sonda, então denominada Osiris-Rex, fez exatamente isso com outro asteroide relativamente perto da Terra, o Bennu, cujo diâmetro é de aproximadamente 500 metros.

Há quem trabalhe para que outra missão espacial estude Apophis antes de sua passagem pelas cercanias da Terra em abril de 2029. O astrônomo Daniel Scheeres, da Universidade do Colorado, em Boulder, nos Estados Unidos, quer redirecionar a missão Janus, cancelada pela Nasa em meados do ano passado, para perseguir esse novo objetivo. Os dois satélites da Janus, que seriam usados inicialmente para estudar um sistema com dois asteroides, estão prontos, mas se encontram armazenados, sem um fim aparente.

“O custo para construir e operar a missão original é de menos de US\$ 55 milhões. Como o lançamento dos satélites não ocorreu, nem todo o dinheiro foi gasto”, explica Scheeres, investigador principal da por ora aposentada missão Janus, em entrevista a *Pesquisa FAPESP*. “Estou trabalhando agora com alguns grupos de pesquisadores com o objetivo de enviar a Janus para realizar um sobrevoo nas proximidades de Apophis. Ainda estamos formulando planos e precisamos que a Nasa concorde com nossa proposta.”

Para Winter, da Unesp, seria muito importante que uma missão espacial fosse enviada para estudar Apophis antes de 13 abril de 2029. O acompanhamento do astro depois dessa data já está assegurado pelo envio da sonda Osiris-Apex. “Com observações antes e depois da grande aproximação de Apophis da Terra, poderíamos ter dados mais detalhados sobre quais foram os impactos desse evento”, diz o pesquisador. A Europa planeja lançar uma sonda, a Ramses, para registrar Apophis antes do quase encontro com a Terra. Pode ser uma chance única. Os astrônomos estimam que uma vez a cada 5 mil ou 10 mil anos um asteroide desse porte chega tão perto do planeta. ●

3



Imagem do asteroide Bennu e de equipamento da sonda Osiris retirando amostra do solo do astro (ao centro e à dir.). Ilustração mostra (à esq.) como a espaçonave deverá ser usada para explorar o asteroide Apophis

# Quanto mais quente, mais perto de congelar

Fenômeno misterioso da água, o efeito Mpemba também pode ser produzido em sistemas quânticos

DANILO ALBERGARIA

**E**m 1966, uma pergunta de um aluno do ensino médio em uma palestra desconcertou o físico britânico Denis Osborne (1932-2014), da Universidade de Dar es Salaam, na capital da Tanzânia. “Se você pegar dois copos de igual volume de água, um a 35 graus Celsius [°C] e o outro a 100 °C, e colocá-los num refrigerador, o que começou a 100 °C congela primeiro. Por quê?”, indagou ao professor universitário Erasto Mpemba, que morreu no início desta década em data incerta. O questionamento tinha origem em uma observação do jovem tanzaniano quando, algum tempo atrás, preparava sorvete em casa. O estudante havia notado que, estranhamente, uma mistura de leite fervido e açúcar congelava mais rápido do que outra mais fria, que não fora ao fogo. Em vez de desconsiderar o relato do menino, Osborne decidiu testá-lo. O resultado, confirmando as observações iniciais do aluno, foi publicado em 1969 em artigo redigido por ambos no periódico *Physics Education*.

A capacidade de a água quente, e também de outros líquidos, solidificarem-se antes de seus congêneres mais frios é denominada efeito Mpemba. O fenômeno, macroscópico e contraintuitivo, desafia a lei do resfriamento de Isaac Newton (1643-1727), segundo a qual a perda de calor de um corpo é diretamente proporcional à diferença entre sua temperatura

e a do ambiente. O efeito Mpemba já havia sido percebido na água por Aristóteles na Antiguidade, mais de 2 mil anos antes, e posteriormente pelo filósofo britânico Francis Bacon (1561-1626) e o matemático francês René Descartes (1596-1650). Nunca foi explicado de forma convincente pela termodinâmica, que estuda a transferência de calor e de outras formas de energia em um sistema. Ainda hoje não há consenso sobre o que faz a água mais quente se solidificar antes da fria.

Nos últimos anos, tem crescido o interesse na compreensão de fenômenos análogos ao efeito Mpemba nos domínios da mecânica quântica, que estuda o comportamento da luz e da matéria na escala atômica e subatômica, no mundo microscópico. Um estudo publicado em outubro no periódico *Physical Review Letters* propõe uma explicação teórica da versão quântica do fenômeno e sugere um caminho para que ela seja manipulada. “Estudos anteriores focavam em sistemas e condições muito restritos. Nosso trabalho expande o escopo teórico para compreender e ativar o efeito Mpemba em qualquer sistema quântico”, explica a física brasileira Krissia Zawadzki, do Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo (IFSC-USP) e coautora do artigo, ao lado de uma equipe do Trinity College de Dublin, na Irlanda.

O efeito Mpemba pode ser entendido como a aceleração de um processo que



tenta levar o estado inicial de um sistema para outro que ficará fixo no tempo, chamado de estacionário. Se esse estado tem uma temperatura bem definida, ele está em equilíbrio. Nessa situação, é possível saber exatamente a proporção de moléculas que estão quietas e em movimento e o grau de agitação segue uma distribuição de probabilidades conhecida. Quando a água está congelando ou fervendo, essas informações são perdidas e o sistema é considerado fora do equilíbrio. Estar inicialmente fora de equilíbrio pode ser interessante quando essa situação permite tomar uma rota mais rápida para o estado final que se deseja alcançar.

**U**m raciocínio similar é adotado para sistemas quânticos. “Chamamos de efeito Mpemba quântico qualquer fenômeno que faz com que um sistema quântico chegue mais rápido ao equilíbrio quanto maior for seu estado inicial de desequilíbrio”, esclarece Zawadzki. É o mesmo princípio paradoxal do efeito Mpemba original, em que o mais quente congela antes do que o menos quente. No universo quântico, quando esse fenômeno ocorre, o mais desequilibrado se equilibra antes do menos desequilibrado.

Para ativar uma versão quântica do efeito Mpemba, o estudo propõe sele-

cionar as partes de um sistema, chamadas de modos, que apresentam maior desequilíbrio de energia, ou seja, que exibam propriedades quânticas em um nível mais intenso, como emaranhamento ou superposição de estados. Se mais modos (partes) em maior desequilíbrio forem selecionados, mais rápido o sistema pode se mover para o equilíbrio e, como no mundo clássico, literalmente se tornar mais frio.

“Nosso trabalho fornece essencialmente uma receita para gerar o efeito Mpemba em sistemas quânticos, nos quais uma transformação física que efetivamente ‘aquece’ o sistema quântico pode ser realizada”, diz o físico John Gould, do Trinity College, em material de divulgação do estudo. “Essa transformação, então, paradoxalmente permite que ele relaxe ou ‘esfrie’ exponencialmente mais rápido explorando características únicas na dinâmica quântica.”

O estudo pode ser útil para o desenvolvimento de tecnologias que permitam o resfriamento mais rápido de computadores quânticos, que funcionam a temperaturas próximas do zero absoluto, -273,15 °C. O artigo não propõe uma técnica específica de arrefecimento, mas Zawadzki aponta a manipulação de campos magnéticos sobre materiais, a exemplo do alumínio de cromo e potássio, como uma técnica atualmente promissora.

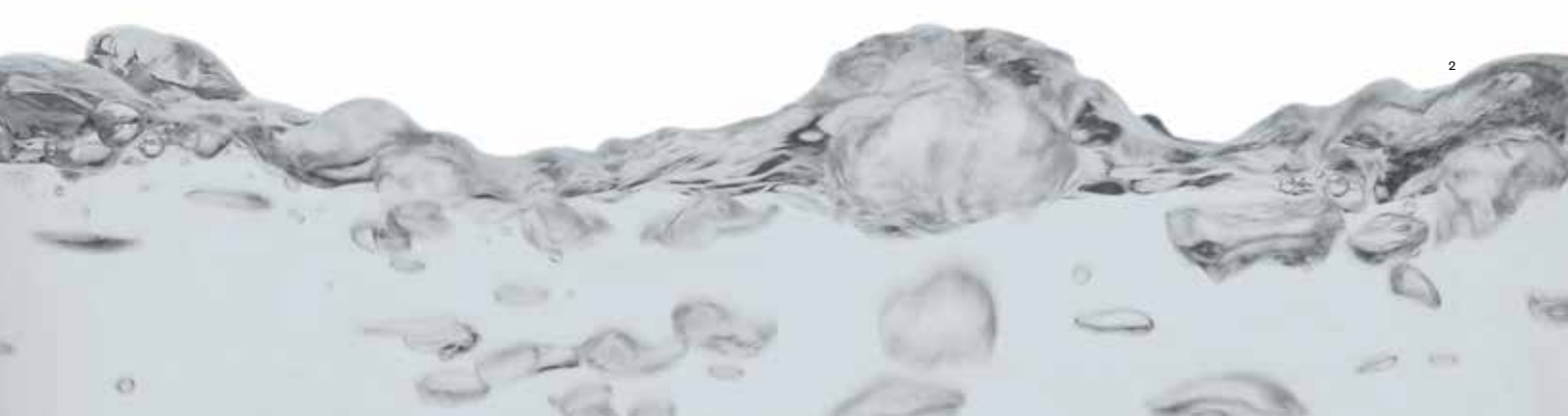
Zawadzki é cautelosa em associar o estudo ao desenvolvimento de novas

tecnologias, mas aponta para a possibilidade de o efeito Mpemba ser relevante para a emergência de baterias quânticas, com carregamento muito mais rápido e maior capacidade de armazenamento, além do potencial para ser empregado em sistemas de resfriamento necessários na área de computação quântica. “Ainda não é possível prever quão longe ou quão perto estamos da criação de possíveis novas tecnologias de resfriamento. Isso pode acontecer daqui a algumas décadas ou em menos tempo”, pondera o físico Roberto Serra, da Universidade Federal do ABC (UFABC), que não participou do estudo.

No curto prazo, a abordagem proposta no trabalho abre caminho para a física experimental testá-la em diferentes condições e materiais. Para o físico Marcelo Terra, do Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual de Campinas (Imecc/Unicamp), que também não fez parte do estudo, a teoria proposta é interessante e pode ser aplicada em diferentes sistemas experimentais. Serra diz que o trabalho é muito convincente e deve atrair o interesse de vários grupos de pesquisa experimental. “É questão de tempo para alguém fazer os experimentos e testar essas ideias”, comenta o pesquisador da UFABC. ●

---

Os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.





BIOTECNOLOGIA

# Os múltiplos usos das microalgas

Em laboratório, esses organismos microscópicos produzem fertilizante, filtram contaminantes em afluentes e acenam com novas estratégias para os biocombustíveis; o desafio é ampliar a escala

CARLOS FIORAVANTI

**D**ois grupos de pesquisa, um em Curitiba, no Paraná, e outro em São Carlos, no interior paulista, desenvolvem novas técnicas de produção de biocombustíveis a partir de microalgas. Esses organismos aquáticos unicelulares, que estão entre os mais antigos do planeta, reproduzem-se rapidamente e são considerados usinas de produção de biomassa e compostos bioativos. Além de fazerem fotossíntese como as plantas, aproveitando a luz solar e o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) da atmosfera, podem usar fontes orgânicas de carbono presentes em resíduos. Como resultado, desde que estejam em condições adequadas de luminosidade e temperatura, produzem oxigênio e matéria orgânica da qual, por meio de diferentes processos de separação, podem ser extraídos compostos químicos usados como combustíveis, cosméticos ou suplementos alimentares. Em laboratório e em plantas-piloto, os microrganismos se mostraram capazes de se nutrir com resíduos – da produção de petróleo e de etanol ou mesmo da criação de animais, como suínos, entre outros – e transformá-los em compostos químicos úteis e ambientalmente aceitáveis. Em todos os casos,



Cultivo de *Chlorella sp.* e *Chlorolobion sp.* em diferentes concentrações de vinhaça em laboratório da UFSCar

ainda há uma grande dificuldade de aumentar a escala de produção.

O Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento de Energia Autossustentável da Universidade Federal do Paraná (NPDEAS-UFPR) tem feito experimentos tentando contornar esse problema. O objetivo de longo prazo do grupo é produzir diesel verde, biocombustível com composição semelhante à do diesel do petróleo. Um dos estudos utiliza fotobiorreatores em escala industrial, com capacidade para 12 mil litros. O passo inicial é a produção, nesses equipamentos, de biomassa a partir das microalgas. Depois de colhido, o material é seco e dissolvido em um solvente quente, formado por uma mistura de compostos químicos. Na etapa seguinte, os pesquisadores retiram o solvente e, por destilação, separam os óleos resultantes.

Os primeiros resultados indicaram que a taxa de conversão do concentrado de microalgas *Tetrademus obliquus* em óleo bruto poderia chegar a 25%, um salto considerável em comparação com os atuais 10%. “Está caminhando bem”, avalia o engenheiro de petróleo e químico Iago Gomes Costa, responsável pelo trabalho. “Estamos na fase de ajuste de faixas de temperatura, mas já conseguimos recuperar o solvente do concentrado, que poderia ser reaproveitado, e separar as frações do óleo.”

Como detalhado em um artigo publicado em setembro na *Journal of Environmental Management*, por meio da destilação do óleo bruto de algas, os pesquisadores obtiveram 25 compostos diferentes, incluindo hidrocarbonetos como alcanos, usados em gás de cozinha e na gasolina, e alcenos, matéria-prima para embalagens plásticas. A pesquisa da UFPR é uma das poucas no país que avança para além da etapa de produção de biomassa a partir de microalgas.

Outra possibilidade de produzir biocombustíveis com microalgas está sendo avaliada no laboratório da bióloga Ana Teresa Lombardi, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). No início de setembro, em uma das salas do laboratório, corria o primeiro teste em escala um pouco maior, em um tanque com capacidade para 20 litros. O objetivo era elevar, talvez para 70%, como já verificado em ensaios em menor escala, o rendimento de óleo das microalgas por meio de processo patenteado pela equipe.

“Conseguimos ótimos resultados estimulando as microalgas com nutrientes específicos, de modo que o crescimento é mantido e a biomassa, com alto teor de óleos, é gerada”, diz Lombardi. “A abordagem tradicional é submetê-las a estresse, o que interrompe o crescimento.” A pesquisadora da UFSCar planeja levar seus resultados para aplicações industriais.

Trabalhando de modo independente, as equipes da UFPR e da UFSCar renovam o interesse científico e tecnológico pelas microalgas. Há cerca

de 15 anos, elas foram vistas como alternativa para amenizar o excesso de CO<sub>2</sub> da atmosfera, transformando-o em biocombustíveis que poderiam ser usados em carros, aviões e navios, com menor emissão de poluentes que os combustíveis fósseis.

**N**o entanto, as microalgas não apresentaram o rendimento desejado. Verificou-se também que a produção em escala comercial não seria viável e o preço final ficaria mais que o dobro dos derivados de petróleo. Como resultado, muitas empresas que investiram na produção de biocombustíveis a partir desse microrganismo fecharam ou mudaram o foco da pesquisa. “A grande dificuldade é passar da escala de produção laboratorial, de 100 a mil litros, para a industrial, de 10 mil litros para cima”, comenta o engenheiro-agrônomo Sergio Goldemberg. Em laboratório, equipes de centros de pesquisa e de empresas identificaram as melhores faixas de temperatura e luminosidade e combinações de nutrientes para as microalgas formarem a massa da qual se extraía compostos de interesse comercial. Porém, à medida que aumentava a produção para volumes 10 ou 20 vezes maiores, era mais difícil manter a temperatura estável, porque a biodigestão gera calor. Com isso, o risco de contaminação por bactérias aumentava e o rendimento caía, inviabilizando o processo.

Em 2009, Goldemberg fundou uma das poucas empresas nessa área no Brasil, a Algae Biotecnologia. Durante anos, a Algae se manteve com o apoio de agências de financiamento à pesquisa, entre elas a FAPESP. Em 2014, começou na InterCement, do grupo Camargo Corrêa, um projeto de aproveitamento do CO<sub>2</sub>, por microalgas, gerado na produção de cimento. Após alguns anos, o contrato para continuar a pesquisa não foi renovado e, em setembro deste ano, a InterCement entrou em recuperação extrajudicial.

Um fertilizante foliar para fornecimento de micronutrientes e ação bioestimulante vegetal produzido pelos microrganismos, desenvolvido pelas duas empresas, segundo Goldemberg, mostrou bons resultados em laboratório. Mas a dificuldade de conseguir financiamento para os testes em campo fez com que o trabalho parasse. “Usamos vinhaça [resíduo da produção de açúcar e álcool] para fazer crescer as microalgas, mas tivemos muitas dificuldades técnicas”, conta. Em 2019, sem clientes, Goldemberg fechou a empresa.

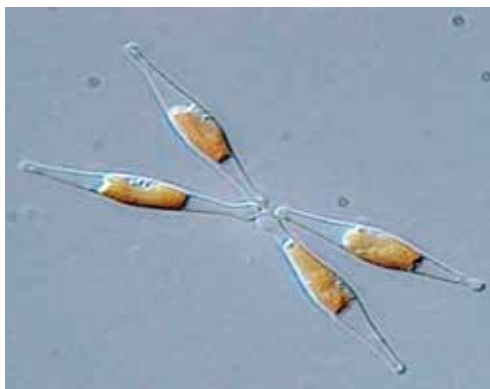
A bióloga Sílvia Helena Govoni Brondi viveu situação parecida. Em 2020, com apoio da FAPESP, havia obtido um pigmento alaranjado, os carotenoides, importantes para a saúde humana, a partir de microalgas como *Chlorella vulgaris*, mas não conseguiu evitar a oscilação de temperatu-

ra no processo, que prejudica a produção. “Os equipamentos são muito caros”, diz ela. Sem financiamento complementar, também fechou sua empresa, a AlgaeTech Pesquisa, de São Carlos.

Permanecem em pé as empresas dedicadas a nichos de mercado, que utilizam microalgas para a produção de ingredientes para cosméticos e alimentos, como pigmentos que conferem o tom róseo ao salmão criado em cativeiro. No Brasil, a Fazenda Tamanduá, em Santa Teresinha (PB), e a Ocean Drop, em Balneário Camboriú (SC), produzem spirulina (*Arthrospira platensis*). Microalga de processamento relativamente simples, ela pode ser usada como suplemento alimentar por ser uma rica fonte de proteínas, minerais, vitaminas do complexo B, ferro e antioxidantes. Em Orindiúva (SP), a Terravia, filial de uma empresa multinacional sediada nos Estados Unidos, utiliza microalgas que consomem a sacarose da cana-de-açúcar para produzir ácidos graxos, um tipo de óleo usado como ingrediente de sabonetes e cremes faciais.

**E** mergem também possibilidades de empregar microalgas para aproveitamento de resíduos e efluentes industriais e agroindustriais. Em um período de estágio de pós-doutorado na UFSCar, o engenheiro de pesca Lucas Guimarães Cardoso desenvolveu em parceria com a equipe de Lombardi um processo utilizando microalgas para tratar a chamada água produzida. O líquido, carregado com minerais, óleo, produtos químicos e gases, é usado para fazer o petróleo subir dos poços à superfície.

Em biorreatores de 1,5 litro contendo culturas de *Chlorella vulgaris*, o grupo verificou que as microalgas consomem (se alimentam) os compos-



A microalga *Phaeodactylum tricornutum* foi capaz de remover metais de uma solução aquosa

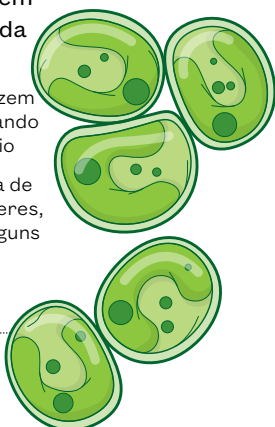
tos presentes na água produzida. A partir dessa experiência, geraram dois grupos de produtos de valor comercial: ácidos linoleico e palmitoleico, que entram na composição do biodiesel, e carboidratos e proteínas, que podem ser empregados para produzir etanol. Os pesquisadores também conseguiram remover da água produzida metais pesados como cobre, manganês e molibdênio, conforme detalhado em artigo publicado em 2022 na *Environmental Technology & Innovation*.

A partir daquele ano, como professor contratado na Universidade Salvador (Unifacs), na Bahia, e do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal da Bahia (UFBA), Cardoso prosseguiu a pesquisa. Em um congresso internacional de biotecnologia, realizado em agosto em Florianópolis, ele apresentou uma descoberta da engenheira química Ingrid Rocha Teixeira, sua orientanda de doutorado: alimentada por uma solução de 50% de água produzida e 50% de glicerol bruto, a microalga *Phaeodactylum tricornutum* removeu com mais eficiência metais pesados e produziu um polímero biodegradável que pode ser um substituto aos plásticos conven-

## Organismos versáteis

As microalgas são um grupo heterogêneo de seres unicelulares que crescem em água doce ou salgada

- Como as plantas, elas fazem fotossíntese, transformando gás carbônico em oxigênio
- Já foram descritas cerca de 35 mil espécies desses seres, cujo tamanho varia de alguns poucos micrômetros a centenas deles
- *Chlorella vulgaris* é uma das espécies mais cultivadas no mundo, com várias aplicações



### De combustíveis a vitaminas

Microalgas têm potencial para produzir vários tipos de compostos orgânicos

Microalga (espécie)	Produto
<i>Chlorella vulgaris</i>	Bio-hidrogênio e ácido ascórbico (vitamina C)
<i>Chlorella sorokiniana</i>	Lipídios e bio-hidrogênio
<i>Chlorella pyrenoidosa</i> , <i>Schizochytrium limacinum</i> e <i>Dunaliella tertiolecta</i>	Biodiesel
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	Bioetanol e bio-hidrogênio
<i>Cyanobacteria sp.</i> e <i>Nannochloropsis sp.</i>	Bioóleo
<i>Emiliania huxleyi</i>	Biogás
<i>Schizochytrium sp.</i>	Ômega 3 do tipo ácido docosa-hexaenoico (prevenção de doenças cardiovasculares)
<i>Spirulina sp.</i>	Metano e ácido linolênico (anti-inflamatório)
<i>Spirulina platensis</i>	Ficocianina (pigmento azul com ação antioxidante) e bio-hidrogênio





Fotobiorreator da UFPR usado para o cultivo de microalgas e a produção de biomassa

cionais. “Pretendo apresentar os resultados em novembro para as empresas que nos fornecem os resíduos da exploração de petróleo”, diz.

Em outro experimento, Cardoso e o grupo do também engenheiro de alimentos Jorge Alberto Vieira Costa, da Universidade Federal do Rio Grande (Furg), no Rio Grande do Sul, verificaram que duas espécies de microalgas, *Spirulina sp.* e *Chlorella fusca*, cultivada em água salobra, produzem lipídeos e carboidratos, respectivamente, como relatado em um artigo de 2022 na *Bioresource Technology*. Com colegas da unidade Semiárido da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e apoio do Ministério

da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Costa prepara uma unidade-piloto a ser construída em Petrolina (PE) para, com as microalgas, produzir alimentos, ração, fertilizante e água potável a partir da água salobra, comum no sertão do Nordeste.

**O**tra estratégia para absorver contaminantes de águas poluídas é um carvão poroso obtido por meio de um aquecimento leve de uma massa de microalgas. O método foi desenvolvido pelo grupo da Furg e detalhado em um artigo na *Enzyme and Microbial Technology*, em 2023. Costa, coordenador do grupo, que trabalha nessa área há 30 anos, está otimista: “A pressão da legislação por aproveitamento dos resíduos aumenta no Brasil”.

As microalgas também parecem se deliciar com resíduos, como o esterco de suínos e aves, que a equipe da NPDEAS da UFPR diluiu e usou como nutriente para esses seres microscópicos. “Elas cresceram mais rápido, em três dias, em vez de 15”, relata o farmacêutico industrial André Bellin Mariano, vice-coordenador do grupo, integrado também pela pós-doutoranda Ihana de Aguiar Severo. A pesquisa está em escala-piloto, com biodigestor de 6 mil litros. As microalgas removeram 99% do fósforo e do nitrogênio dos resíduos e produziram uma água que poderia ser usada para saciar a sede de animais de criação. “Apesar dos bons resultados, ainda temos arestas a acertar em vários processos de aproveitamento de resíduos usando microalgas”, comenta. ●

Os projetos e os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

### As faxineiras do mundo

Em laboratório, várias espécies de microalgas se mostraram capazes de filtrar contaminantes

Microalga	Poluente	Remoção (%)	100%
<b><i>Chlorella vulgaris</i></b>	Nitratos	72	
	Fosfatos	76	
	Nitrogênio	90	
	Fósforo	98	
	Ferro	88	
	Manganês	79	
	Cobre	58	
	Zinco	85	
	Amônia	82	
<b><i>Chlorella sp.</i></b>	Óxido de nitrogênio	48	
	Dióxido de enxofre	50	
	Cádmio	48	
<b><i>Spirulina platensis</i></b>	Cobre	99	
	Zinco	95	
	Cromo hexavalente	62	

### Fermento para as plantas

Cultivadas em diferentes ambientes, microalgas podem resultar em fertilizantes destinados a culturas agrícolas

Microalga	Ambiente	Cultivo
<b><i>Chlorella sp.</i> e <i>Scenedesmus sp.</i></b>	Águas residuais municipais	Trigo
<b><i>Scenedesmus sp.</i></b>	Águas residuais (tratamento secundário)	Aveia
<b><i>Scenedesmus sp.</i></b>	Águas residuais domésticas e gases de combustão de carvão	Arroz
<b><i>Monoraphidium sp.</i></b>	Resíduos líquidos de usina de biogás agrícola	Tomate
<b><i>Spirulina platensis</i></b>	Águas residuais da aquicultura	Rúcula
<b><i>Scenedesmus obliquus</i></b>	Águas residuais de cervejaria	Agrião



# Carro voador estreia no Brasil

Modelo da chinesa EHang decolou em setembro no interior paulista; protótipo do eVTOL da Embraer deve iniciar ensaios em voo em breve

YURI VASCONCELOS



**P**assava um pouco das 11 horas de 20 de setembro quando uma aeronave de design incomum, com uma cabine semiovalada para apenas dois passageiros e 16 hélices ao redor dela, decolou do Clube de Voo Aeroquadra, situado no município de Quadra, a 160 quilômetros da capital paulista. Sem ninguém a bordo, o aparelho controlado remotamente se elevou a 40 metros (m) de altura e deslizou sobre a pista gramada do aeroclube. Durante seis minutos, percorreu um trajeto de 1.800 m. Instantes depois, fez um segundo voo, mais curto.

As duas decolagens marcaram o primeiro voo teste no país de um eVTOL, acrônimo em inglês para veículos elétricos que decolam e pousam na vertical, popularmente conhecidos como carros voadores. O feito coube à distribuidora brasileira Gohobby Future Technology, responsável pela importação do modelo EH216-S, fabricado pela empresa chinesa EHang.

“O Brasil foi escolhido para receber o voo experimental da aeronave chinesa porque é um dos maiores mercados potenciais para essa tecnologia, depois dos Estados Unidos, da China e da Europa”, afirma o engenheiro mecânico William Roberto Wolf, professor da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas (FEM-Unicamp) e especialista em engenharia aeroespacial.

Dotados de motores elétricos, esses aparelhos estão sendo projetados para deslocamentos rápidos nas cidades e como uma alternativa menos poluente e mais econômica do que os helicópteros. “O custo operacional deles deverá ser menor, assim como a emissão de ruídos e poluentes por serem dotados de baterias”, destaca Wolf. “A redução de ruídos é um dos grandes desafios tecnológicos dessa mobilidade”, diz o pesquisador, que tem um projeto financiado pela FAPESP em que estuda como diminuir o ruído de rotores e hélices de aeronaves e equipamentos industriais.

Os primeiros modelos comerciais de eVTOL, segundo especialistas, deverão entrar em operação no mundo em 2025. A fabricante brasileira Embraer está na disputa pelo nascente segmento de mobilidade aérea urbana por meio de sua subsidiária, a Eve Air Mobility, criada em 2020. Em julho, a Eve apresentou em uma feira de aviação na Inglaterra o primeiro protótipo em escala real de seu eVTOL, 100% elétrico e com capacidade para quatro passageiros e um piloto. O modelo encontra-se na fase de testes em solo e deve iniciar em breve os ensaios em voo. A fabricante já recebeu cartas de intenção de compra de 2.900 unidades de eVTOL. ●

O protótipo em escala real do eVTOL da Eve (*acima*) e o voo pioneiro do EH216-S, acompanhado por 60 pessoas (*no alto*)

Os projetos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

# Calor sob controle

Temperaturas mais altas impõem adaptações em materiais, equipamentos e técnicas construtivas de edifícios

ENRICO DI GREGORIO

FOTO: LÉO RAMOS CHAVES / REVISTA PESQUISA FAPESP

**D**urante os escaldantes verões dos últimos anos, os britânicos mal conseguiram ficar dentro de suas casas, adaptadas ao clima frio típico do país. Em 2020, o calor foi tamanho que cerca de 2 mil pessoas morreram na Inglaterra, a maioria delas em casa. Não são apenas países do hemisfério Norte que estão sujeitos a essa situação. Também no Brasil, edifícios e casas não estão preparados para as temperaturas elevadas e as ondas de calor mais intensas e longas previstas para os próximos anos em razão do aquecimento global.

Em um dos poucos estudos brasileiros nessa área, arquitetos e engenheiros examinaram 92 imóveis de Florianópolis, em Santa Catarina, por meio de análises de consumo de energia em 2010 e fizeram projeções para 2050 e 2090. Do total de construções avaliadas, 39% eram lojas, 31% escritórios, 21% restaurantes e 9% residências. De acordo com a análise, detalhada em um

artigo publicado em julho na revista *Sustainable Cities and Society*, 37% deles poderiam sofrer superaquecimento, com temperaturas a níveis desconfortáveis para seus ocupantes já em 2050, porque adotaram técnicas construtivas que retêm o calor, em vez de amenizá-lo.

**O**s prédios mais modernos e mais caros da região central da capital catarinense são também os mais inadequados, por terem janelas que não abrem e pintura de cor escura, que absorve o calor, apontam os pesquisadores. Em São Paulo, essa situação pode ser vista principalmente em edifícios comerciais por toda a cidade, como no Itaim, bairro da zona oeste da cidade.

“Edifícios selados, com fachadas envidraçadas, são incompatíveis com as mudanças climáticas”, comenta a engenheira Denise Duarte, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo (FAU-USP), que pesquisa, com apoio da FAPESP, como adaptar prédios às mudanças climáticas.

Um dos estudos de seu grupo, publicado em maio de 2021 na *Energy and Buildings*, analisou a situação em edifícios construídos nos anos 2000 na cidade de São Paulo. O estudo indicou que, em consequência das temperaturas provavelmente mais altas, poderia haver nesses imóveis uma redução de 81% para 65% na quantidade de horas de conforto até 2074.

“Tenho visto muitos edifícios residenciais novos com fachadas grafite, azul-petróleo ou mesmo preto, que absorvem mais calor”, relata Duarte. “Não precisa ser branco, mas cores claras tornam a absorção de radiação menor.”

“Em prédios com janelas de vidros claros, com uma boa transparência, os riscos de superaquecimento são altos, ainda mais se não houver sombreamento”, observa o engenheiro Roberto Lamberts, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e um dos autores do artigo na *Sustainable Cities and Society*. “Ainda adotamos os critérios de planejamento e construção dos prédios com base em um clima do passado, mais ameno. E os próximos anos serão muito mais quentes do que hoje.” O sombreamento é uma estratégia fundamental para proteger edificações da incidência solar intensa nos períodos mais quentes e consiste na adoção de estruturas como brises (quebra-sóis), varandas ou beirais

Os pesquisadores da UFSC, em colaboração com os da Universidade da Califórnia em Berkeley, nos Estados Unidos, buscaram soluções que não dependessem exclusivamente do ar-condicionado. Entre outras medidas, propõem a implantação de coberturas (telhados ou lajes) revestidas com materiais e tintas que absorvem pouco calor e janelas com vidros de controle solar, para evitar que o interior es quente muito (*ver infográfico abaixo*).

Coberturas com telhados frios, que absorvem pouca radiação solar, com cores claras, mas uma emissividade térmica (capacidade de determinada superfície de emitir o calor absorvido) elevada, seriam soluções simples e de baixo custo.

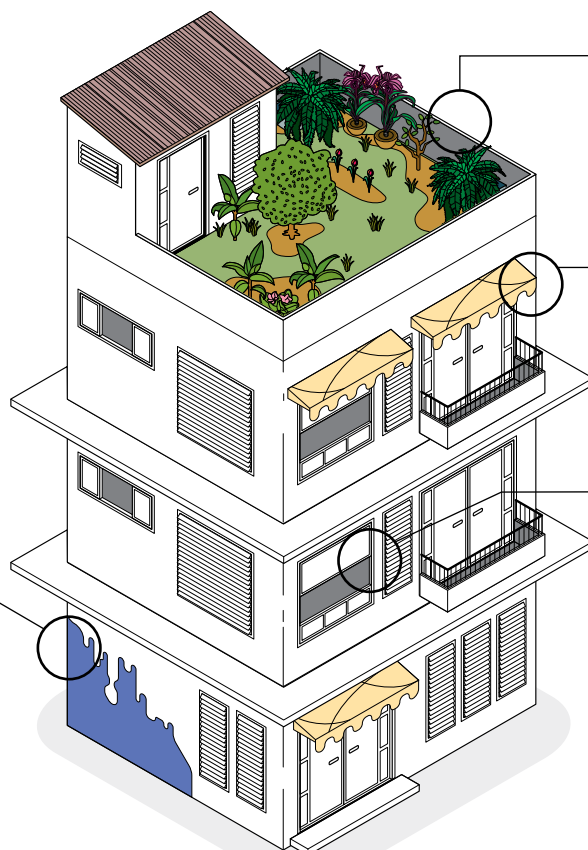


## Em busca do conforto térmico

Possíveis soluções para evitar o superaquecimento em edifícios

### Telhados e paredes claros

Revestimento com materiais e tintas que absorvem pouca radiação solar



### Tetos verdes

Vegetação plantada em telhados e lajes sobre uma camada de solo

### Fachadas sombreadas

Adoção de estruturas de sombreamento, como brises (quebra-sóis), varandas e beirais

### Janelas

Aberturas para permitir ventilação natural e sombreamento ou vidros de controle solar

FONTE: KRELLING, A.F. ET AL. SUSTAINABLE CITIES AND SOCIETY. 2024 (ADAPTADO)



Edifício com teto verde em Belo Horizonte: alternativa para reduzir a temperatura interna

“A adaptação das técnicas construtivas é indispensável para, onde for possível, reduzir o uso do ar-condicionado”, comenta Duarte. De acordo com o estudo da UFSC, o consumo de energia para resfriamento tende a aumentar em 48% até 2050. Atualmente, o ar-condicionado já é responsável por 3% das emissões globais de carbono. Segundo a pesquisadora, os sistemas passivos de controle térmico, como o sombreamento de fachadas e coberturas, a ventilação natural, inclusive noturna, deveriam ser mais valorizados.

“O uso generalizado do ar-condicionado pode aumentar o impacto urbano do efeito ilha de calor, porque eleva as temperaturas locais fora dos ambientes refrigerados”, comenta o engenheiro Alberto Hernandez Neto, da Escola Politécnica (Poli) da USP, que não participou do estudo de Lamberts (*ver Pesquisa FAPESP nº 331*).

Como será praticamente impossível abolir o ar-condicionado, pesquisadores buscam formas de usar o equipamento de forma mais sustentável. Em um estudo publicado em março na revista *Brazilian Journal of Technology*, um grupo dos institutos federais de Rondônia e do Amazonas argumenta que um controle mais apurado do volume de entrada do ar externo e o ajuste da temperatura ambiente poderiam ajudar a reduzir o consumo de energia.

#### AVANÇOS E DIFICULDADES

Engenheiros e arquitetos tentam disseminar essas propostas, às vezes com sucesso, outras nem tanto. No ano passado, Lamberts, com sua equipe, ajudou a preparar os requisitos de resiliência térmica para as casas mais baratas (faixa 1) do programa Minha Casa, Minha Vida, regulamentadas na Portaria nº 725, de 15 de junho de 2023.

O grupo da UFSC definiu os parâmetros de transmitância térmica, um indicador de desempenho térmico de edificações, e elaborou estratégias de controle térmico, como a adoção de telhados claros, os limites mínimos de abertura de janelas e o nível adequado de sombreamento. “Apesar de ter sido somente na faixa 1, tivemos um avanço significativo”, comenta Lamberts. “Conseguimos uma redução de carga térmica de 84% em Palmas, no Tocantins, de 92% em Fortaleza, no Ceará, e uma média acima de 50% nos climas mais quentes do Brasil.”

Duarte, por sua vez, participou da elaboração do Plano de Ação Climática 2050 do Estado de São Paulo, por meio do projeto Biota Síntese, financiado pela FAPESP. O projeto é voltado principalmente para áreas rurais, mas um dos grupos de pesquisa mostrou que a restauração florestal poderia aliviar a temperatura em áreas próximas às cidades. Divulgar essas soluções para as construtoras e empreiteiras privadas tem sido mais difícil. “Ainda há um certo negacionismo climático, e muitas empresas insistem em seguir os critérios mínimos de resiliência”, constata Lamberts.

**D**uarte e Lamberts se encontraram entre os dias 19 e 22 de junho na 50ª Convenção Nacional da Associação dos Escritórios de Arquitetura (ASBEA), realizada em Florianópolis. No dia 20, os jornais noticiaram a morte de mais de mil pessoas durante uma peregrinação à Meca, na Arábia Saudita, em consequência da ocupação excessiva e do desconforto térmico. “Situações como essa causam uma certa comoção, mas mudar de fato é um longo caminho”, diz a pesquisadora.

Hernandez Neto, da Poli-USP, nota alguns avanços: “Em cidades como São Paulo e Rio de Janeiro, projetos de construção sustentável têm incorporado telhados verdes, fachadas ventiladas e sistemas de sombreamento para reduzir a carga térmica e melhorar a eficiência energética”.

Em cursos e palestras para arquitetos e construtores, os pesquisadores da Poli-USP procuram disseminar as práticas de construção sustentável e resiliência térmica, como técnicas de aproveitamento passivo da energia solar e a ventilação natural. As conversas geralmente incluem uma visita ao Centro de Inovação em Construção Sustentável (Cics), que desenvolve alternativas para reduzir a emissão de gases do efeito estufa e aumentar a eficiência térmica das edificações (*ver Pesquisa FAPESP nº 278*). “Precisamos explorar e adotar soluções alternativas e mais sustentáveis”, conclui Hernandez Neto. ●

Os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.



SOCIEDADE

# Sobrevivência e idealismo

Estudos procuram compreender as motivações e os desafios enfrentados por empreendedores de bairros periféricos

**CHRISTINA QUEIROZ**

**P**esquisas centradas em bairros periféricos vêm mapeando o perfil e os anseios de empreendedores populares que atuam na cidade de São Paulo. Por um lado, a dificuldade de acesso a vagas formais de emprego tem levado essas pessoas a investir cada vez mais em alternativas de geração de renda por meio de atividades autônomas e na abertura de pequenos comércios de rua. Por outro, um processo de valorização da cultura da periferia registrado nos últimos 15 anos impulsiona parte dos moradores dessas regiões a criar negócios que aliam a busca por ganhos financeiros com impactos sociais em suas comunidades.

“O fenômeno do empreendedorismo nas periferias é complexo e diverso”, diz o sociólogo Henrique Costa, que desde 2015 estuda as relações de regiões periféricas paulistanas com o mercado de trabalho. No estágio de pós-doutorado que realiza atualmente no Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (Cebap), o pesquisador vem analisando as motivações, expectativas e frustrações daqueles que buscam autonomia financeira por meio de atividades empreendedoras em bairros e comunidades da zona sul de São Paulo, como Jardim Ângela, Campo Limpo e Paraisópolis, além do comércio popular no Largo 13, em Santo Amaro. Parte dos resultados do trabalho, feito por meio de entrevistas e observação etnográfica, saiu neste ano em artigo na *Revista do Instituto de Estudos Brasileiros*, da Universidade de São Paulo (USP). Nos próximos meses, será publicado em livro pela editora Brill,

dos Países Baixos, sob o título provisório *In the remains of progress – Utopia and suffering in Brazilian popular entrepreneurship* (*Nos resquícios do progresso – Utopia e sofrimento no empreendedorismo popular brasileiro*).

Para analisar o empreendedorismo popular, Costa utiliza o conceito de “vida sem salário”. Segundo o sociólogo, essa experiência não se limita à ausência de um emprego formal, mas representa uma forma de subsistência que está enraizada na cultura popular brasileira. No caso, é caracterizada pela busca de renda fora do circuito tradicional de trabalho. “Essa procura por alternativas se manifesta através do termo ‘se virar’, frequentemente utilizado por meus interlocutores para descrever a capacidade de se adaptar e encontrar soluções para lidar com a precariedade e a falta de oportunidades”, comenta o pesquisador, que realizou cerca de 50 entrevistas com empreendedores da periferia paulistana entre 2017 e 2022.

Um dos principais focos de Costa foi a população de Paraisópolis. “Essa comunidade representa um microcosmo da utopia e do sofrimento inerentes ao empreendedorismo popular no Brasil, onde a busca por autonomia e sucesso se mescla com a precariedade e a desilusão”, analisa. Segundo o pesquisador, a partir de 2003, o crescimento da renda e o acesso ao microcrédito impulsionaram a emergência de uma nova classe média e de um grupo de empreendedores na localidade. “A periferia busca adaptar as experiências da classe média tradicional à sua realidade. Isso se manifesta na forma como as pessoas consomem e no estilo de vida que almejam.”

Outro fenômeno que vem chamando a atenção de pesquisadores é o empreendedorismo social de moradores dessas comunidades, que articula práticas econômicas com medidas de impacto nos territórios. Com estudos sobre trabalhadores de periferias desenvolvidos ao longo dos últimos 10 anos, o sociólogo Leonardo de Oliveira Fontes, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), explica que na década de 1990 a presença de organizações não governamentais (ONG) em franjas da cidade se intensificou.

**S**obre esse cenário, o sociólogo Jacob Carlos Lima, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), destaca que, na década de 1990, o Brasil vivenciou um processo de abertura econômica e ideias neoliberais se disseminaram entre as esferas governamentais. Nesse contexto, uma das propostas que ganhou força foi a de reduzir a participação do poder público na oferta de serviços de saúde, educação e cultura, por exemplo. “ONGs financiadas por grandes corporações passaram a atuar com esse tipo de serviço em regiões vulneráveis, ocupando espaços que deveriam ser de responsabilidade do Estado”, analisa. Essas organizações ofereciam serviços sociais e programas de geração de renda e capacitação, estimulando o empreendedorismo entre jovens.

Também nos anos 1990, movimentos culturais que historicamente promovem uma valorização da identidade periférica ganharam força no país, como o hip hop, que abarca grupos de rap, grafite, dentre outras manifestações (ver Pesquisa FAPESP nº 334). A partir do ano 2000, saraus de literatura passaram a ser organizados por escritores e poetas como Sérgio Vaz e Ferréz

(pseudônimo de Reginaldo Ferreira da Silva) em bairros como Campo Limpo e Capão Redondo. “Esses eventos colaboraram com a construção de uma identidade cultural de pertencimento ao território, associada ao orgulho de viver e atuar politicamente no próprio local em que moravam”, detalha Fontes.

Além disso, entre 2003 e 2015, o governo federal promoveu editais de fomento a coletivos de cultura na periferia, estimulando o desenvolvimento de iniciativas de inclusão social. Entre essas ações estão, por exemplo, os Pontos de Cultura, naquela época financiados e apoiados institucionalmente pelo Ministério da Cultura (MinC) e implementados por entidades governamentais e não governamentais.

“Essa movimentação ultrapassou os limites do campo cultural. Junto com outros fatores, como as cotas de ingresso em universidades, colaborou para incentivar os moradores de periferias a investirem em negócios que também se preocupam com causas sociais e expressam raízes culturais”, afirma Fontes, que realizou pesquisa de pós-doutorado sobre o assunto com financiamento da FAPESP entre 2019 e 2023. Para conhecer a situação do Jardim Ângela, fez 20 entrevistas com empreendedores locais e frequentou feiras e encontros organizados por eles. De acordo com o sociólogo, essas pessoas enxergam a periferia não apenas como um espaço geográfico, mas também como local de resistência e construção de novas narrativas identitárias. Parte dos resultados do estudo foi publicada neste ano em artigo no *International Journal of Urban and Regional Research*.

“Bairros periféricos da zona sul registraram a abertura de salões de beleza e lojas de roupas que valorizam a cultura afro-brasileira, restaurantes que promovem alimentação saudável, além de agências de comunicação centradas em notícias e questões comunitárias”, concorda Costa. Como exemplo desse perfil de empreendedor que emergiu nos últimos anos, o pesquisador cita Thiago Vinicius de Paula, líder comunitário do Campo Limpo e idealizador de uma série de iniciativas, que incluem espaços culturais, um *coworking* e rádios comunitárias. Paula fundou, em 2019, o restaurante Organicamente Rango, que prepara refeições a partir de ingredientes adquiridos da agricultura familiar e utiliza insumos do comércio local.

Outro caso similar envolve a história de Adriana Barbosa. “Na minha juventude, vendi roupas na rua, fui secretária e distribuí panfletos”, conta. Na década de 1990, ela entrou para a faculdade, mas acabou desistindo do curso de moda. Nascida na zona sul paulistana, Barbosa fundou o Festival Feira Preta em 2002, considerado hoje um dos maiores eventos culturais e de empreendedoris-

Pesquisadores defendem legislação específica para trabalhadores autônomos, como entregadores (abaixo) e motoristas de aplicativo







Sacolão no Jardim São Luís, na periferia de São Paulo: pequenos negócios oferecem alternativa de renda

mo da comunidade negra da América Latina. Mais tarde, em 2018, criou a PretaHub, que promove iniciativas para acelerar negócios e desde então capacitou mais de 5 mil afroempreendedores.

**O** caminho não é fácil para quem vem da periferia, conforme estudo de 2021 realizado pelo Centro de Empreendedorismo e Novos Negócios da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas (FGVcenn), em parceria com a Fundação Arymax. Por meio de entrevistas feitas com 101 empreendedores sociais em periferias de cidades brasileiras, a análise identificou que esses negócios são majoritariamente formados por mulheres negras (70%) e que 60% geram um rendimento líquido de até R\$ 2 mil por mês. Por outro lado, fora das periferias, os empreendedores sociais são, em sua maioria, brancos, com rendimento líquido mensal superior a R\$ 12 mil, evidenciando o cenário de desigualdade entre empreendedores do país. “Além disso, o capital inicial para negócios fora das periferias é, em média, R\$ 712 mil, valor 37 vezes mais alto do que o montante destinado a empreendimentos periféricos”, pontua Edgard Barki, formado em administração de empresas e coordenador do FGVcenn.

Sobre os afroempreendedores, a psicóloga Vânia Maria Jorge Nassif, da Universidade Nove de Julho (Uninove), em São Paulo, analisou os impactos da pandemia de Covid-19 em 25 mulheres negras residentes em Paraisópolis. O estudo envolveu uma pesquisa com 65 mulheres

empreendedoras de 10 estados brasileiros, com financiamento da FAPESP e finalizado em 2022. De acordo com Nassif, mulheres empreendedoras periféricas enfrentam uma série de dificuldades estruturais e culturais. O quadro é especialmente complexo para as mulheres pretas, devido à discriminação racial e de gênero.

Segundo a psicóloga, antes da crise sanitária, as entrevistadas tinham ocupações como babás, empregadas domésticas e diaristas. “Com a pandemia, muitas perderam os empregos e precisaram encontrar novas formas de sustento, investindo em trabalhos autônomos ou negócios próprios como forma de garantir alguma fonte de renda”, diz a pesquisadora, que coordena a linha de pesquisa em Inovação, Empreendedorismo e Negócios Sustentáveis e o Núcleo de Estudos em Gestão do Esporte e Empreendedorismo daquela instituição. “É preciso desenvolver políticas e práticas institucionais para fomentar um ambiente mais igualitário e propício ao empreendedorismo feminino”, diz.

Em relação a essas dificuldades, Barki considera que modelos de negócios criados para subsidiar atividades empreendedoras devem ser adaptados à situação das periferias. Ele comenta, por exemplo, que a grande maioria desses empreendedores não possui recursos para recomeçar, caso o negócio dê errado, em uma realidade diferente de pessoas que dispõem de poder aquisitivo mais alto. “Os planos de negócios devem levar em conta a linguagem e os saberes periféricos para se adaptarem melhor aos contextos locais”, propõe.

Outro grupo de empreendedores mapeado por Costa em seu estágio de pós-doutorado no

Cebrap é composto por evangélicos. Segundo o pesquisador, entre as igrejas pentecostais há uma forte valorização da independência financeira e a subordinação a terceiros é rejeitada. Tais princípios fazem parte da chamada teologia da prosperidade e são divulgados em cultos e pregações nesses espaços religiosos. “Os fiéis são incentivados a criar o próprio negócio”, relata.

**C**osta afirma, no entanto, que o universo de empreendedores comprometidos com causas sociais é restrito e grande parte do empreendedorismo popular das periferias abarca trabalhadores que, historicamente, sempre existiram como pequenos comerciantes autônomos. Além disso, apesar das histórias de sucesso de pessoas como Thiago Vinicius de Paula e Adriana Barbosa, há um descompasso entre a expectativa e a realidade de grande parte dos moradores de periferia que investem no próprio negócio. “Exemplos bem-sucedidos são exceções e a promessa de ascensão social, autonomia e reconhecimento muitas vezes se choca com a instabilidade financeira do próprio empreendedor”, comenta.

O discurso empreendedor foi absorvido de maneiras diferentes por trabalhadores das periferias nos últimos anos, observa Fontes, da Unicamp. Assim, enquanto alguns passaram a se identificar dessa forma e a ver a atividade como algo que lhes confere dignidade profissional, outros mantiveram uma postura crítica em relação ao empreendedorismo, apontando que o rótulo oculta situações de precariedade. Elaborado pela Rede Nossa São Paulo, o *Mapa da desigualdade*, publicado em 2022, identificou uma grande incidência de Microempreendedores Individuais (MEI) em regiões historicamente marcadas pela falta de oportunidades formais de emprego. A partir desses dados, Fontes diz que a cidade de São Paulo conta com mais de 1 milhão de pessoas cadastradas nesse regime e o Jardim Ângela, onde realizou seu estudo, é o segundo distrito paulistano com maior proporção de MEI – só perdendo para o Capão Redondo.

Para o pesquisador, esse mapeamento reforça a interpretação de que o empreendedorismo se tornou uma estratégia de sobrevivência comum à população de periferias. “Em muitos desses bairros, o registro como MEI é a única forma de regularizar negócios informais e garantir algum grau de segurança jurídica. Porém, na prática, ele é insuficiente para proteger os trabalhadores em situações de crise”, analisa o pesquisador. Levantamento da Central Única de Favelas (Cufa) mostra que, entre os 17,9 milhões de moradores de favelas no Brasil, 5,2 milhões se autodenominam empreendedores. No entanto, apenas 37%

dessas pessoas estão formalizadas, o que evidencia sua precariedade.

Outro dado que evidencia essa questão é trazido por Lima, da UFScar. Segundo o pesquisador, metade dos MEI do país está inadimplente. “Apesar de a lógica empreendedora ter se tornado dominante nas periferias, muitos desses profissionais não acessam direitos sociais”, reforça o sociólogo, que desde 2010 pesquisa alternativas de geração de renda e trabalho desenvolvidas por setores da sociedade brasileira. Ao recordar da situação de instabilidade financeira de muitas famílias de periferias, ele menciona estudo realizado em 2009 pelo sociólogo Gabriel Feltran, à época pesquisador da UFScar, na região de Sapopemba, na zona leste de São Paulo. O levantamento identificou que, em uma mesma família, podem coexistir pessoas que trabalham com carteira assinada, outras que vivem por meio de trabalhos autônomos diversos e aquelas que optam por obter renda com atividades relacionadas ao crime.

O pesquisador Mauro Oddo Nogueira, do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), explica que, no universo de MEI, é preciso separar quem é prestador de serviço autônomo daqueles que efetivamente são empreendedores. Ele menciona a situação de pessoas que abrem registro como MEI para atuar em atividades como motoristas de aplicativo, empregadas domésticas e cabeleireiras. “Elas até podem sentir-se profissionais autônomos, mas, na realidade, enfrentam limitações que não condizem com o conceito de empreendedorismo”, observa o pesquisador, que é coordenador de estudos sobre cadeias produtivas e micro e pequenas empresas no Ipea. Segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae), “empreender é a atividade de abrir negócios e gerar empregos, atuar como agente de inovação e melhorar a qualidade de vida das pessoas”.

Levando em conta esse panorama, Nogueira afirma que o Brasil precisa de dois instrumentos distintos para regulamentar o trabalho desses profissionais. Assim, a estrutura do MEI é adequada para quem desempenha atividades empresariais, como artesanato, serviços de alimentação e pequenos comércios, onde há potencial de crescimento, contratação de empregados e abertura de

**Capital inicial para empreendimentos periféricos é 37 vezes menor do que o destinado a outros negócios**



Feira Preta, em São Paulo: festival estimula práticas econômicas e medidas de impacto social

filiais. Já os trabalhadores autônomos, como os entregadores e motoristas de aplicativo, deveriam contar com uma legislação trabalhista específica.

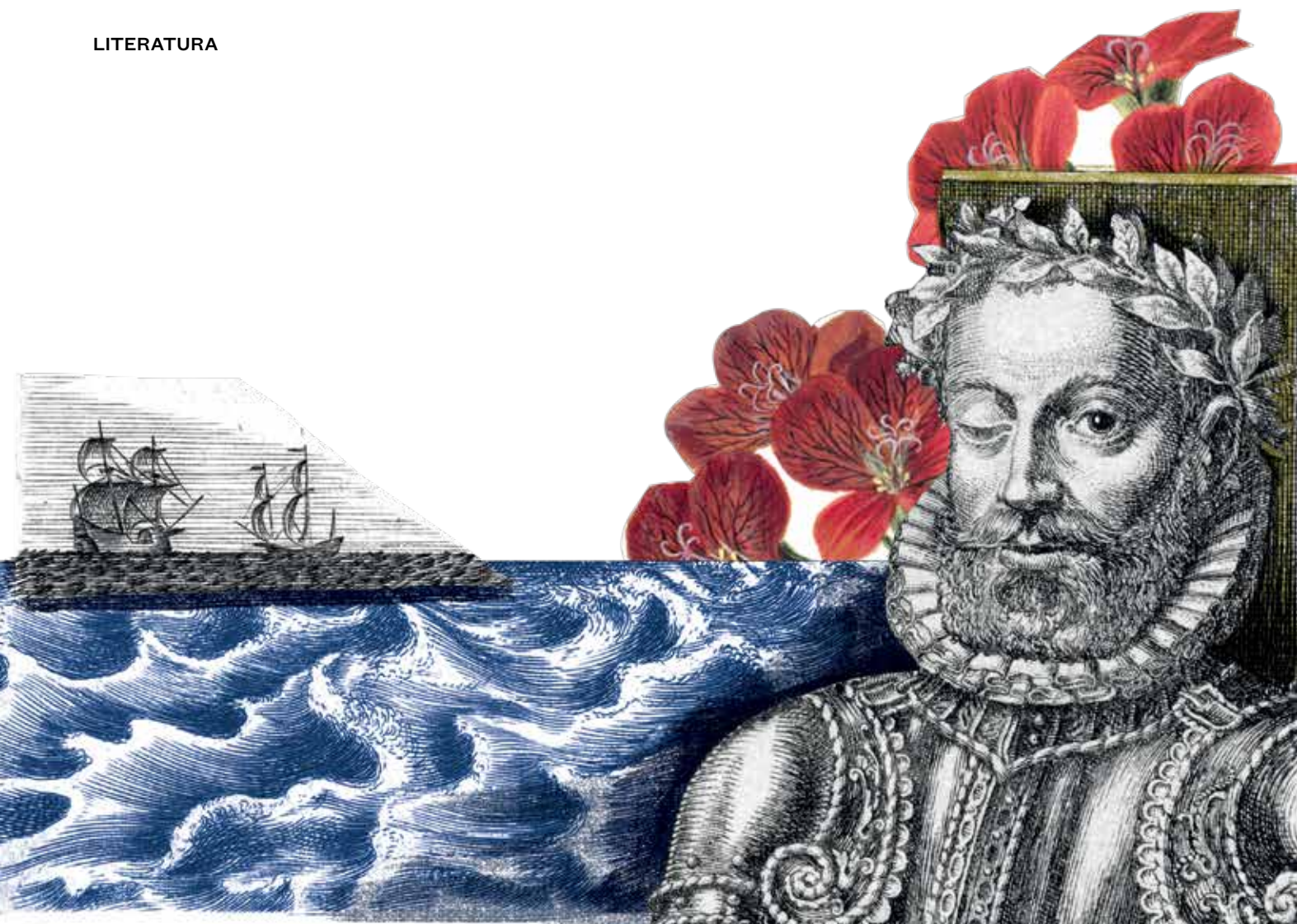
**F**ontes, da Unicamp, recorda que a virada para o século XXI trouxe uma série de mudanças no mercado de trabalho brasileiro. Segundo ele, essas transformações foram impulsionadas pela intensificação do processo de desindustrialização do país, a partir da década de 1990, e pela flexibilização de leis trabalhistas, após 2016. Segundo o pesquisador, até a década de 1970, o trabalho formal, especialmente na indústria, era visto como porta de entrada para a cidadania, garantia de direitos e caminho à ascensão financeira. Ainda que essa modalidade de trabalho não estivesse ao alcance da maioria da população e não fosse desejada por muitos trabalhadores que preferiam a informalidade como alternativa para ter flexibilidade e, eventualmente, obter ganhos maiores, o trabalho regido pela CLT oferecia um horizonte de possibilidades. Além disso, a fábrica funcionava como espaço de solidariedade entre operários, que se uniam na busca por melhores condições de trabalho. De acordo com Fontes, o aumento da instabilidade profissional e a perda de direitos associados ao trabalho levaram a uma diminuição da coesão entre os trabalhadores e o discurso individualista ganhou força, passando a colocar a responsabilidade pela ascensão social no sujeito e não mais na coletividade.

Em pesquisa financiada pela FAPESP, concluída em 2022, a socióloga Maria Carla Cor-

rochano, da UFSCar, analisou as políticas públicas voltadas a trabalho e juventude criadas em São Paulo, de 2013 a 2020. “Nos últimos 10 anos, essas medidas passaram a ter como foco o empreendedorismo juvenil”, afirma. Em 2023, parte dos resultados do estudo, elaborado em parceria com pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) e Escola de Administração de Empresas de São Paulo (Eaesp) da FGV, foi publicada em artigo na revista *Cadernos Gestão Pública e Cidadania*. Entre as iniciativas citadas pelos pesquisadores, há o programa estadual São Paulo Criativo, de 2015, que provê formação para jovens que buscam se tornar empreendedores em setores como gastronomia, design, audiovisual e turismo. Já o programa municipal Don@ do meu Trampo, de 2019, fornece capacitação teórica e prática em empreendedorismo para jovens de 18 a 29 anos residentes em Cidade Tiradentes, na zona leste paulistana.

De acordo com Corrochano, a partir de 2014, o Brasil enfrentou uma crise econômica que resultou em altas taxas de desemprego, impactando especialmente os jovens. “Diante da crise, as propostas de estímulo ao empreendedorismo aparecem como principal alternativa”, diz. Na sua avaliação, muitas das iniciativas voltadas ao empreendedorismo concentram-se exclusivamente em ações de formação, acabando por responsabilizar apenas o próprio jovem na busca por caminhos para obtenção de renda e autonomia financeira. ●

Os projetos, os artigos científicos e os livros consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.



# O fôlego do poeta

Livros e eventos evidenciam a longevidade da obra de Luís Vaz de Camões em seus 500 anos de nascimento

PAULA CARVALHO E ANA PAULA ORLANDI  
ilustrações VERIDIANA SCARPELLI

**A**pós ser internado no Hospital de Lisboa para tratar de sífilis, Luís Vaz de Camões escreveu a um amigo por volta de 1550. “Em tom jocoso e com referências à mitologia greco-romana, ele fala a respeito do lugar e das doenças provocadas pelas flechas de Cupido, pelo desejo sexual”, conta Marcia Arruda Franco, professora de literatura portuguesa da Universidade de São Paulo (USP). A missiva, até então inédita, está reunida ao lado de outras cinco cartas atribuídas ao poeta português no livro *Cartas em prosa e descrição do Hospital de Cupido* (Editora Madamu, 2024), organizado por Franco. “Camões transitava por tabernas e prostíbulos, e nesses textos mostra os vícios e demais ‘pecados’ do período quinhentista”, acrescenta a pesquisadora, que levantou o material na Biblioteca Nacional de Portugal.

O lançamento ocorre no marco dos 500 anos de nascimento de Camões, apontado como um dos maiores poetas da língua portuguesa e autor de *Os Lusíadas* (1572), épico de 8.816 versos que narra a viagem marítima de Portugal até a Índia, entre 1497 e 1499, liderada pelo navegador Vasco da Gama (1469-1524). A efeméride vem suscitando uma série de homenagens ao literato. No Brasil, por exemplo, o Real Gabinete Português de Leitura, no Rio de Janeiro, promove até junho de 2025 o evento Quinhentos Camões – O Poeta Reverberado, que prevê a cada mês uma mesa-redonda com convidados do Brasil e exterior. Já a Biblioteca Nacional sediou até outubro de forma presencial a exposição *A língua que se escreve sobre o mar – Camões 500 anos*, cujos 38 itens podem também ser vistos virtualmente. Estão lá, por exemplo, capas das primeiras edições de *Os Lusíadas* e obras literárias inspiradas pelo universo camoniano, inclusive da literatura de cordel.

Em Portugal, as comemorações devem se estender até 2026 e se iniciaram oficialmente em 10 de junho, na Universidade de Coimbra. A data é considerada o dia da morte de Camões, que faleceu em 1580. Isso porque a data exata de nascimento do poeta é uma incógnita. “Trata-se de uma das várias zonas nebulosas na trajetória de Camões”, informa a escritora portuguesa Isabel Rio Novo, autora da recém-lançada *Fortuna, caso, tempo e sorte: Biografia de Luís Vaz de Camões* (Contraponto, 2024), inédita no Brasil. “O que se sabe é que ele nasceu entre 1524 e 1525, pois segundo um documento de 1550 o poeta tinha então 25 anos de idade.”

A autora, que tem doutorado em literatura comparada pela Universidade do Porto, levou cinco anos para escrever o livro. Um dos desafios foi navegar em meio à série de boatos e mitos que

envolvem a trajetória do escritor. Franco, da USP, enfrentou problema parecido ao editar o livro *Vidas de Camões no século XVII* (Madamu, 2024). A pesquisadora brasileira, que integra o Centro Interuniversitário de Estudos Camonianos, da Universidade de Coimbra, cotejou quatro das chamadas “relações da vida” de Camões e um epítome, todos do século XVII e assinados por autores como Manuel de Faria e Sousa (1590-1649). “São textos impressos junto com as edições das obras de Camões, que buscam construir uma imagem mítica do poeta, mas que estão cheios de lacunas e parecem falar de pessoas diferentes dado o número de contradições entre eles”, diz.

Outro obstáculo apontado por Rio Novo é a escassez de fontes. Além de Portugal, ela conta ter levantado informações em outros países, tanto de forma virtual, a exemplo do site da Biblioteca Nacional brasileira, como presencial, em acervos na Índia e em Moçambique. Durante a pesquisa, descobriu fontes inéditas, como um documento sobre o episódio que levou o poeta ao cárcere em 1552. “Ele desacatou Gonçalo Borges, criado da Casa Real, durante uma festa religiosa em Lisboa, e ficou confinado na Prisão do Tronco. Camões foi preso várias vezes, sobretudo por causa de brigas”, relata.

O escritor acabou sendo libertado no ano seguinte mediante uma carta de perdão concedida por dom João III (1502-1557). Em troca, seguiu como soldado no Exército lusitano rumo à Índia até chegar a Goa em 1554. Não era sua primeira experiência no campo militar, de acordo com a biógrafa. Em 1549, quando participava de uma missão portuguesa no norte da África, perdeu um dos olhos. “Camões foi vítima de um acidente com arma de fogo, provavelmente um canhão disparado por um dos companheiros, cuja faísca atingiu seu globo ocular”, conta Rio Novo.

O poeta serviu o Império português por 17 anos. “Camões tinha origem nobre, mas o patrimônio de sua família foi se perdendo ao longo de gerações. Embora fosse bem relacionado, era um homem de poucas posses que precisava trabalhar para sobreviver”, prossegue Rio Novo. Dentre outras funções, em 1562 se tornou Provedor-mor dos Defuntos e Ausentes e passou a cuidar da guarda dos bens daqueles que não haviam nomeado procuradores em seus testamentos. Ele assumiu a função em Macau, na época entreposto comercial português, que hoje faz parte da China.

Após ser afastado do cargo e sobreviver a um naufrágio no delta do rio Mekong, no Sudeste Asiático, Camões embarcou, em 1567, para Moçambique, onde viveu em condições precárias. Três anos depois, voltou para Portugal com a ajuda de amigos e finalizou *Os Lusíadas* na terra natal. O livro foi publicado em 1572. Naquele mesmo ano, o poeta passou a receber até o fim

da vida uma pensão não muito elevada e cujo pagamento era irregular. De acordo com a biógrafa, isso se deu sobretudo como retribuição aos 17 anos em que Camões trabalhou para o Império português, mas o processo foi agilizado em função da epopeia ter sido dedicada ao então rei dom Sebastião I (1554-1578).

“Camões é um dos maiores poetas que já existiram. Antes de tudo, pela síntese que sua poesia faz de uma experiência aristocrática, de elementos da filosofia cristã elaborada, principalmente, por Santo Agostinho [354-430] e São Tomás de Aquino [?-1274], e também da cultura greco-romana, a partir dos escritos de Platão [c. 428-347 a.C.] e Cícero [106-43 a.C.], dentre outros. Ele tem ainda grande influência do poeta italiano Francesco Petrarca [1304-1374]”, enumera João Adolfo Hansen, professor aposentado da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH) da USP. “Todos esses elementos estão em *Os Lusíadas*.”

**D**ividida em 10 cantos, a epopeia é considerada sua obra-prima. “Talvez seja o primeiro poema moderno da língua portuguesa, pois, dentre outras coisas, é aberto à contradição, à ambiguidade, que não responde, mas pergunta”, avalia Luis Maffei, professor de literatura portuguesa da Universidade Federal Fluminense (UFF), que deve lançar neste ano uma nova edição da obra em parceria com Paulo Braz, do Departamento de Letras Vernáculas da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). “Tentamos recuperar o ritmo presente na primeira edição do livro, que foi sendo alterado ao longo dos anos, sobretudo no século XX, bem como corrigir intervenções equivocadas feitas pelos editores no passado, como mudanças de palavras e de pontuação”, explica Maffei, que desde 2012 promove o evento anual “Um dia com Camões”, na UFF. Em razão do aniversário do poeta, o encontro será realizado até meados de 2025 com periodicidade mensal.

Ao associar história e literatura, a epopeia ganhou versões em outros idiomas. A primeira tradução em inglês saiu em 1655. “Camões foi lido em lugares como Inglaterra e Alemanha, influenciando o surgimento do romantismo nesses dois países a partir do final do século XVIII”, diz Matheus de Brito, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), que desenvolveu estágio pós-doutoral na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) sobre Camões com apoio da FAPESP.

A variedade de traduções é um dos assuntos abordados pelo dossiê “Além da Taprobana... memórias gloriosas: *Os Lusíadas* 450 anos”, lançado pela revista *Desassossego*, da USP, no ano passado.

“Na Rússia, por exemplo, houve uma tradução indireta do francês no final do século XIX, depois outra incompleta nos anos 1940 e, por fim, a versão da estudiosa Olga Ovtcharenko em 1988. Já no Japão, há ao todo três traduções disponíveis, sendo que a primeira foi publicada em 1972”, conta Mauricio Massahiro Nishihata, professor do Instituto Federal de Rondônia (Ifro) e um dos organizadores do dossiê, sob a supervisão de Adma Muhana, professora de literatura portuguesa da USP.

#### EM BUSCA DE UM HERÓI

Por outro lado, a junção entre história e literatura fez com que *Os Lusíadas* se confundisse com a identidade da nação portuguesa. “Em 1580, Portugal perdeu a sua autonomia política e ficou sob o jugo da Espanha por 60 anos. Foi um grande trauma para os portugueses e Camões passou a ser usado como símbolo daquele passado glorioso”, informa Sheila Hue, da Uerj, que também prepara uma edição crítica de *Os Lusíadas*, com Simon Park, da Universidade de Oxford, no Reino Unido. “Ele se tornou um cânone logo cedo e essa grande imagem camoniana praticamente apagou outros poetas contemporâneos portugueses.”

A apropriação da figura de Camões atravessou os séculos. “Quando dom João VI [1767-1826] transferiu a Corte para o Brasil em 1808 para escapar de Napoleão [1769-1821], Portugal se viu acéfalo e em dificuldades financeiras. Em busca de um herói, o Romantismo português divulgou a imagem de um Camões subversivo e revolucionário”, comenta Sabrina Sedlmayer, professora de literatura portuguesa da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). No século XX, foi a vez da ditadura salazarista (1933-1974) lançar mão do estratagema. “Para difundir o civismo, o patriotismo e a honra, o Estado Novo português voltou-se para o passado heroico e glorioso de povo conquistador. Assim, elegeu Camões como ícone de sua propaganda nacionalista”, acrescenta a pesquisadora, atual presidente da Associação Internacional de Lusitanistas (AIL).

*Os Lusíadas* é uma das poucas obras cuja autoria pode ser creditada a Camões. “Em vida, ele publicou outros três poemas e grande parte de sua poesia lírica só foi sair no livro *Rhythmas*, lançado 15 anos após sua morte, porque até então só se publicava poesia épica ou religiosa em Portugal”, conta Hue, que integra o Centro Interuniversitário de Estudos Camonianos, da Universidade de Coimbra. A obra ganhou uma segunda edição em 1598, acrescida de poemas, como o célebre *Amor é fogo que arde sem se ver*, e duas cartas. De acordo com a pesquisadora, o editor do livro pediu na época que pessoas lhe enviassem poemas escritos por Camões. “Mas nada era autógrafa. Ou seja, nada tinha a assinatura



do poeta”, informa Hue. “Há também poemas manuscritos nos chamados cancioneiros, que são livros do século XVI copiados à mão. Ali, vários são atribuídos a Camões.”

**A**o lado das cartas e sonetos, Camões escreveu as peças de teatro *Auto de Filodemo* e *Auto dos anfitriões*, ambas de 1587, além de *Auto d’el-rei Seleuco*, cuja autoria é atribuída ao poeta e foi encenada em 1645. “Desde o século XVI, o *corpus* camoniano é como uma sanfona, que se estende e encolhe de acordo com os critérios filológicos predominantes e os interesses dos editores de cada época”, constata Alcir Pécora, da Unicamp. “Eu me interessava muito mais pela leitura do poema do que tentar descobrir a real autoria do poema. Para quem trabalha com obras dos séculos XVI e XVII, isso é quase uma impossibilidade. Naquela época, a poesia era oralizada e os poemas eram copiados à mão. Muitas vezes quem copiava se sentia autorizado a ‘melhorar’ o poema. Ou seja, na prática, eu penso Camões como o nome de um *corpus*, mais do que de um homem em particular.”

Alguns estudiosos tentaram organizar a produção camoniana. Em edição realizada em 1980, a escritora Cleonice Berardinelli (1916-2023), professora da UFRJ, reuniu 400 poemas que haviam sido atribuídos a Camões alguma vez. “Ela não tenta definir o que Camões realmente escreveu por saber que isso é impossível”, diz Hue. “Ao reuni-los, enfatiza a forma de ser da poesia da

época, baseada na imitação, na circulação oral e manuscrita, o que gerava múltiplas versões e diferentes autorias.” Já o filólogo pernambucano Leodegário de Azevedo Filho (1927-2011), da Uerj, publicou entre 1985 e 2001 a *Lírica de Camões*, série em sete volumes bancada pela editora Imprensa Nacional Casa da Moeda, do governo português. Nela, define que o *corpus minimum* de Camões teria 133 sonetos a partir do que chamou de “duplo testemunho dos manuscritos”. Ou seja, cada um dos textos ali reunidos teria dois comprovantes oriundos do século XVI.

Camões conheceu boa parte do Império português, mas nunca visitou o Brasil. “De qualquer forma, a obra dele começa a ser lida aqui no período colonial e podemos ver essa influência em épicas como *Prosopopeia* [1601], de Bento Teixeira [c. 1561-1618], e *À ilha de maré* [1705], de Manuel Botelho de Oliveira [1636-1711]”, conta Marco Lucchesi, professor da UFRJ e atual presidente da Fundação Biblioteca Nacional. “No século XIX, sua presença já estava consolidada entre nós e desde então vários autores prestaram homenagens ao poeta, como é o caso de Machado de Assis [1839-1908], Jorge de Lima [1893-1953] e Manuel Bandeira [1886-1968].” Para Sedlmayer, da UFMG, essa influência se estende até os dias de hoje, em versos de autores como Caetano Veloso e Gregório Duvivier. “O fôlego de Camões parece não ter fim”, afirma. ●

O projeto, os artigos científicos e os livros consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

# Memória expandida

Para professor de Princeton, instituições devem repensar seus acervos em diálogo com a diversidade

**CHRISTINA QUEIROZ**



Com trânsito frequente entre os Estados Unidos e o Brasil, Pedro Meira Monteiro gosta de circular por várias áreas do conhecimento. Graduado em ciências sociais pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), em 1993, ele concluiu o mestrado em sociologia (1996) e o doutorado em teoria literária (2001) na mesma universidade, ambos com financiamento da FAPESP. Há mais de duas décadas é professor de literatura na Universidade de Princeton (EUA) e no ano passado se tornou pesquisador residente na Biblioteca Brasileira Guita e José Mindlin da Universidade de São Paulo (BBM-USP). Como parte desse trabalho, promoveu em maio com Hélio de Seixas Guimarães, da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH) da USP e vice-diretor da biblioteca, o colóquio “Novas comunidades, novas coleções”. A ideia prosperou e ganhou uma segunda edição em outubro. Em entrevista a *Pesquisa FAPESP*, ele

discorre sobre essa proposta, que busca, entre outras coisas, repensar os arquivos de instituições estabelecidas e criar diálogo com experiências comunitárias.

## **Como está sendo sua experiência na BBM-USP?**

Muito boa. Pode, por exemplo, organizar com Hélio Guimarães o colóquio “Novas comunidades, novas coleções”. Uma das convidadas da primeira edição foi Ana Flávia Magalhães Pinto, da UnB [Universidade de Brasília] e atual diretora do Arquivo Nacional. Ela é a primeira mulher negra a comandar aquela instituição, criada na primeira metade do século XIX, no Rio de Janeiro, e está promovendo uma série de encontros para buscar entender como incorporar arquivos comunitários àquela coleção. Também estiveram presentes Fernando Acosta-Rodríguez, bibliotecário responsável pelas coleções latino-americanas da Biblioteca Firestone, de Princeton, Mário Augusto Medeiros da Silva, diretor do Arquivo Edgard Leuenroth da Unicamp,

Paul Losch, diretor de campo da Biblioteca do Congresso dos Estados Unidos no Rio de Janeiro, e João Cardoso, curador das coleções da BBM-USP. Na ocasião, discutimos, por exemplo, o que é memória, o que se guarda e o que se esquece, e quem tem a autoridade de classificar e organizar documentos. A ideia era ficar por ali, mas o evento se desdobrou.

## **Por quê?**

Na plateia estavam representantes de diversas instituições, algumas delas já estabelecidas, mas havia também experiências mais recentes, independentes, muitas delas oriundas de regiões periféricas, que desenvolvem arquivos e bibliotecas em seus territórios, mesmo sob condições precárias. Durante o evento, essas pessoas compartilharam suas propostas. Foram relatos muito fortes, de quem está desafiando as formas tradicionais de catalogação e conservação dos registros de memória. Hélio e eu ficamos tão entusiasmados que decidimos organizar uma segunda edição, que aconteceu





O pesquisador em sua casa, em São Paulo: instituições tradicionais devem discutir a inclusão de acervos comunitários em suas coleções

em outubro, promovendo dessa vez uma inversão de papéis. Assim, alguns daqueles que estavam na plateia no primeiro semestre subiram ao palco para serem os protagonistas do colóquio. É o caso, por exemplo, de Fernando Filho, Renata Eleutério e Adriano Sousa, do Centro de Pesquisa e Documentação Histórica [CPDOC] Guaianás, que registra e difunde a história de bairros do extremo leste paulistano, como Guaianases, Lajeado e Cidade Tiradentes. Outro convidado foi Marcos Tolentino, do Acervo Bajubá, iniciativa que surgiu em Brasília, em 2010, e hoje está radicada em São Paulo, voltada para preservação da memória da comunidade LGBTQ+ brasileira. Já Thamiros Ribeiro de Oliveira representou o Museu da Maré, que desde 2006 abriga a história daquelas comunidades cariocas. Estavam também Paula Salles, da Casa do Povo [SP], e José Carlos Ferreira, do Zumbi Arquivo Fotográfico, de Salvador, além da diretora do Arquivo Nacional, uma vez mais. Nesse debate, explorou-se o papel dos arquivos comunitários e

como instituições consagradas devem se posicionar diante de mudanças no perfil de pesquisadores e de temáticas emergentes envolvendo populações negras, indígenas e periféricas.

### **Quais são os desafios enfrentados por esses arquivos comunitários?**

São muitos, a começar pelo reconhecimento. Para se ter ideia, no momento, representantes desses arquivos preparam um abaixo-assinado para para essas iniciativas serem inseridas de forma mais clara no Projeto de Lei nº 2.789, de 2021, que visa modernizar a Política Nacional de Arquivos Públicos e Privados, de 1991.

### **Por que é importante repensar os arquivos institucionalizados do país?**

Quando penso nos 22 anos que se passaram desde que fui para os Estados Unidos, vejo que o Brasil mudou de forma drástica. Naquela época, as universidades eram compostas principalmente por pessoas brancas. Estávamos distantes de debates que, hoje, são candentes no meio acadêmico, impulsionados pelo ingresso de mais pessoas negras, indígenas e periféricas em instituições de ensino e pesquisa. Grandes bibliotecas e museus precisam se abrir para incorporar acervos com a memória de territórios e identidades diversas.

### **Como o senhor se tornou professor de Princeton?**

A oportunidade surgiu de forma inesperada. Finalizei o doutorado em 2001 e estava me preparando para prestar concursos em universidades no Brasil. Na época, eu não tinha um projeto de sair do país, mas uma colega me avisou que Princeton estava abrindo um concurso. Decidi tentar a vaga. Me preparei durante seis meses, inclusive estudando inglês. Prestei o concurso e fui aprovado. Desenvolvi toda minha carreira em Princeton, mas sempre com a sensação de viver uma trajetória dupla, com um pé nos Estados Unidos e outro em nosso país. As redes de interlocução e os projetos de pesquisa mais importantes nos quais me envolvi sempre tiveram forte ligação com o Brasil.

### **O que ainda falta pesquisar no campo literário?**

Discussões sobre o próprio conceito de literatura merecem mais atenção de estu-

diosos. Onde está a literatura hoje? Será que ela ainda depende tanto do livro como há 10 ou 20 anos? Essa é uma questão central, que oferece várias abordagens, especialmente no que diz respeito à oralidade. Tenho refletido bastante sobre isso e estou planejando oferecer uma disciplina para alunos de doutorado sobre audiolivros. Há quem diga que as novas gerações, por estarem sempre em contato com telas e realizando múltiplas tarefas, desenvolvem uma atenção difusa, o que cria um impasse em relação ao livro tradicional. O texto no papel, afinal, exige um mergulho profundo, linear e exclusivo. Nesse contexto, os audiolivros, especialmente aqueles que contam com atores e direção caprichada, estão ganhando espaço e podem transformar a forma como consumimos literatura. Outro tema que venho explorando, sobretudo a partir da Flip [Festa Literária Internacional de Paraty] de 2021, em que fui um dos curadores, é a relação entre literatura e plantas. Naquela edição da festa literária, pela primeira vez não houve um autor homenageado, mas sim um tema: a virada vegetal. Dentre os autores convidados estava a sul-coreana Han Kang, recentemente laureada com o Prêmio Nobel de Literatura de 2024.

### **O que é a virada vegetal?**

Essa reflexão constitui uma das frentes mais promissoras do pensamento pós-humanista, na minha opinião. Ela questiona os limites da concepção antropocêntrica do ser humano, que sempre colocou o indivíduo como o único produtor de sentidos. No seminário de doutorado que estou ministrando agora em Princeton, discutimos essa questão. A virada vegetal nos ajuda a repensar o sujeito filosófico ocidental, não como uma entidade isolada e autossuficiente, mas como parte de um todo maior. De acordo com esse entendimento, seres animados ou inanimados, não humanos, possuem uma dignidade e uma importância tão grandes para a continuidade da vida quanto os humanos. Essa discussão é especialmente relevante hoje, em tempos de crise climática e de preocupação com o futuro do planeta. O fim do mundo, ou pelo menos o fim de um mundo habitável para nós, parece estar sempre à espreita. E a maneira como aceleramos esse processo nos força, cada vez mais, a repensar as nossas responsabilidades e aquilo que a filosofia tem chamado de “ser”. ●



Roberto Baruzzi (sentado, ao centro) consulta anotações durante atendimento em uma aldeia dos Kisêdjê, em 1984

# Cuidando da aldeia

Programa de extensão universitária que promove saúde indígena desde 1965 busca novas parcerias para ampliar alcance

RICARDO BALTHAZAR

O primeiro contato da enfermeira Lavinia Santos de Souza Oliveira com um povo indígena ocorreu no início dos anos 1980. Estudante de graduação na Universidade de São Paulo (USP), ela viajou com médicos residentes e outros alunos de enfermagem até Marabá (PA) e foi visitar uma aldeia dos Parkatêjê, que na época eram mais conhecidos como Gaviões. O objetivo do grupo era aplicar vacinas, mas, antes, era preciso se entender com o cacique.

Krohokrenhum, o líder dos Parkatêjê, quis saber se as vacinas eram boas. A enfermeira disse que sim. Ele a desafiou a provar que confiava nos imunizantes, tomando ela mesma a injeção antes que os indígenas oferecessem o braço. Oliveira pediu a uma colega que aplicasse nela uma dose de antitetânica, e só então o cacique liberou o grupo para fazer o seu trabalho. “É um povo guerreiro, e sua altivez me impressionou muito”, conta a enfermeira.

O encontro foi decisivo para as escolhas que ela fez mais tarde. Coordenadora de formação de recursos humanos do

Projeto Xingu, programa de extensão da Escola Paulista de Medicina da Universidade Federal de São Paulo (EPM-Unifesp) que desenvolve ações de promoção da saúde indígena desde a década de 1960, Oliveira gosta de repetir as lições recebidas nas aldeias. “Aprender é mais do que dominar a teoria”, diz. “O trabalho ensina, como os indígenas bem sabem.”

O projeto nasceu em julho de 1965, quando sete médicos da escola, liderados por Roberto Geraldo Baruzzi (1929-2016), organizaram uma expedição para avaliar as condições de saúde dos povos que viviam no Parque Indígena do Xingu, a pedido do sertanista Orlando Villas-Bôas (1914-2002), um dos articuladores do processo que levou à criação da reserva em 1961 e seu primeiro diretor. As 16 etnias que até hoje ocupam o território reuniam 1.135 pessoas na época.

Várias delas se viam ameaçadas de extinção, por causa de doenças infecciosas que desconheciam e não conseguiam controlar, que dizimavam suas aldeias. Em 1954, uma epidemia de sarampo matou 114 dos 640 indígenas que viviam no sul

da região do Xingu, em apenas um mês. O objetivo da criação do território era protegê-los contra as pressões que a urbanização do país estimulava, e nada assustava mais do que a falta de assistência médica.

Nos primeiros anos, as prioridades do Projeto Xingu eram vacinar a população, cuidar dos doentes e levantar dados sobre o estado nutricional das crianças e doenças crônicas. Um acordo feito por Villas-Bôas com a EPM previa o envio de equipes multidisciplinares ao parque pelo menos quatro vezes por ano e quando houvesse epidemias. Casos complexos seriam encaminhados para o Hospital São Paulo, instituição filantrópica ligada à faculdade.

Num depoimento que concedeu em 2015 à Associação Paulista para o Desenvolvimento da Medicina (SPDM), mantenedora do Hospital São Paulo, Baruzzi estimou que as caravanas do Projeto Xingu mobilizaram 300 voluntários em quatro décadas, incluindo médicos, enfermeiros, dentistas e estudantes. “Íamos lá ajudar e voltávamos humildes com o que não sabíamos”, afirma o oftalmologista Rubens Belfort Júnior, que esteve na região pela primeira vez em 1967.

Desde as primeiras viagens, os médicos do projeto adotaram a rotina de

preencher fichas detalhadas com informações sobre cada indígena atendido, o que permitiu formar em pouco tempo um banco de dados completo sobre os moradores da reserva, incluindo o histórico clínico de todos, suas relações de parentesco e fotografias atualizadas de tempos em tempos. As fichas foram essenciais para o acompanhamento da evolução das condições de saúde no território.

Grças a esse cuidado, foi possível também verificar os resultados do programa. Em 1985, o banco de dados dos médicos indicava 2.555 indígenas vivendo no Xingu, o que significava que a população do parque havia dobrado de tamanho em duas décadas. Doenças adquiridas nos primeiros anos de contato com os brancos haviam sido controladas, fazendo cair as taxas de mortalidade. A última epidemia de sarampo registrada no território indígena ocorreu em 1979.

Com a redemocratização do país e o processo de construção do Sistema Único de Saúde (SUS), os integrantes do projeto passaram a investir em outras duas frentes, a formação de pessoas que pudessem ampliar as ações da saúde

no Xingu e o fortalecimento da precária estrutura de atendimento com a qual os indígenas podiam contar. Um passo inicial foi dado em 1989, com a criação em São Paulo de um ambulatório especializado, que até hoje funciona como porta de entrada para os indígenas que buscam tratamento no hospital da universidade.

O primeiro curso, nos anos 1980, foi voltado para a formação de 24 monitores da saúde que pudessem ajudar a acompanhar os doentes nos postos e nas aldeias do parque, aproveitando a disposição que vários indígenas tinham para auxiliar médicos e enfermeiros no trabalho. “Percebemos que havia uma demanda deles mesmos por formação e conversamos muito com as lideranças para pensar a metodologia adequada”, conta a sanitarista Sofia Beatriz Machado de Mendonça, que começou a participar do Projeto Xingu como estudante em 1981 e hoje é sua coordenadora-geral. Em 1996, uma turma de 63 agentes indígenas da saúde formou-se após quatro anos de curso.

Lavinia Oliveira entrou no projeto no ano seguinte, depois de concluir o mestrado na Faculdade de Saúde Pública da USP, em que tinha analisado um programa de formação de auxiliares de enfermagem

O médico recém-formado Laercio Joel Franco aplica vacina em criança Kayapó, em 1971; ficha do cacique Raoni Metuktire (à dir.)



Foto		Nome	RAONI
Data		Sexo	M
Data		Idade	37
Data		Profissão	Cacique
Data		Endereço	Aldeia Metuktire
Data		Telefone	
Data		Religião	
Data		Estado Civil	
Data		Grupos Sanguíneos	
Data		Doenças	
Data		Operações	
Data		Medicamentos	
Data		Observações	
Data		Assinatura	
Data		Local	
Data		Data	



O pneumologista José Roberto Jardim, então estudante, atende um grupo de Kayapó, em 1970; Baruzzi conversa com Claudio Villas-Bôas (*de óculos*), irmão de Orlando, durante voo, em 1971



em São Paulo. A primeira turma de auxiliares indígenas que fez curso no Xingu se formou em 2002. No mesmo ano, Oliveira concluiu seu doutorado na USP, em que estudou o processo de formação dos agentes indígenas da saúde e sua inserção no SUS. Desde então, a Unifesp participou da formação de 110 auxiliares de enfermagem no Xingu e em outros territórios indígenas de Mato Grosso.

Em 1999, com a criação do Subsistema de Atenção à Saúde Indígena (Sasi-SUS), o Ministério da Saúde reorganizou o atendimento, criando dezenas de distritos sanitários especiais nos territórios e casas de acolhimento nas cidades. No ano seguinte, por meio de um convênio do ministério com a Unifesp, os médicos do programa de extensão assumiram a administração do distrito do Xingu, tornando-se responsáveis não só pelas ações de saúde, mas também pela contratação de pessoal, construção de infraestrutura e distribuição de remédios e equipamentos.

A mudança gerou tensões nas relações com as lideranças indígenas, como Mendonça reconheceu ao fazer um balanço da experiência em sua tese de doutorado, defendida na Unifesp em 2021. “Distribuir equitativamente recursos humanos e materiais entre os diferentes povos não foi uma tarefa fácil”, escreveu. Em 2004, o Ministério da Saúde assumiu a gestão de todos os distritos indígenas e passou a recorrer à SPDM para a contratação das equipes que atuam no Xingu, por meio de convênios que têm sido renovados periodicamente.

Os sanitaristas da Unifesp voltaram então a se concentrar em atividades de

apoio e formação, mas trocas de governo e cortes orçamentários prejudicaram a continuidade do trabalho. A segunda turma de agentes indígenas da saúde, com 62 alunos, concluiu o curso em 2011. No ano seguinte, o Projeto Xingu produziu um amplo diagnóstico da situação da saúde no território, a partir de oficinas realizadas com lideranças indígenas, gestores do distrito e profissionais da saúde que atuavam na área, mas as recomendações feitas pelo grupo não foram implementadas.

Uma questão que preocupa os coordenadores do projeto desde o início e tem recebido maior atenção é a articulação da biomedicina com a medicina indígena. “A valorização das práticas e dos saberes desses povos é muito importante para aumentar a resolutividade, criar vínculos de confiança com os profissionais, estimular o autocuidado e viabilizar medidas de prevenção e vigilância da saúde”, afirma Mendonça. “O aumento da oferta de serviços e medicamentos nos territórios acabou deixando isso de lado nos últimos anos.”

Nas oficinas conduzidas no Parque do Xingu para elaboração do diagnóstico apresentado aos moradores das aldeias e aos gestores do território, os médicos sanitaristas perceberam que os próprios indígenas estavam perdendo contato com a sabedoria dos mais antigos. Os participantes dos cursos foram então incentivados a entrevistar pajés, especialistas em plantas e demais conhecedores das práticas tradicionais das suas aldeias, para depois compartilhar os resultados de suas pesquisas com o resto do grupo nas outras etapas da formação.

“Muitos médicos da cidade resistem a essas práticas e acham que não respeitamos o seu trabalho, mas o diálogo tem levado alguns a rever suas posições”, diz o professor Autaki Waurá, morador de uma das aldeias dos Waujas no Xingu, que atualmente faz pesquisa para seu doutorado em antropologia na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). “Nosso conhecimento pode contribuir para entender a origem das doenças e auxiliar no seu tratamento.”



Estudos de pesquisadores da Unifesp e outras universidades têm apontado mudanças dramáticas no perfil epidemiológico das populações indígenas, com aumento de doenças crônicas como hipertensão arterial, diabetes e obesidade. Os primeiros casos do Xingu foram registrados nos anos 1980, mas a situação se agravou com o crescimento das cidades no entorno do território e o consumo pelos indígenas de alimentos industrializados. O censo feito pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2022 contou 6.204 indígenas vivendo no Xingu.

O sanitarista Douglas Antonio Rodrigues dá instruções a estudantes em aldeia dos Kuikuro, em 2017



### AÇÕES PREVENTIVAS DE SAÚDE

Fatores genéticos também podem ter contribuído para a mudança, de acordo com um estudo internacional de 2010, que teve a participação de pesquisadores da Unifesp e analisou amostras de sangue dos Xavantes em busca de um marcador associado a maior risco de diabetes e outras doenças (ver Pesquisa FAPESP nº 182). A coordenação do Projeto Xingu quer ampliar o estudo e rastrear esse marcador,

especialmente em povos pressionados pelo avanço do agronegócio na Amazônia, como os que vivem no Xingu e os Panará. “Isso ajudaria a planejar ações preventivas e educativas”, diz o sanitarista Douglas Antonio Rodrigues, que coordenou o programa de 1996 a 2010. (Rodrigues e Sofia Mendonça se conheceram na faculdade e se casaram numa aldeia dos Kuikuro, que os tratam como parentes.)

Outra ideia em discussão é a criação de uma organização da sociedade civil de interesse público, o que permitiria captar recursos de doadores e agências internacionais para financiar projetos e ampliar suas atividades. Segundo um levantamento recente feito pela coordenação do programa, seus pesquisadores atuaram em 18 projetos financiados por agências de fomento desde os anos 2000 e produziram 22 dissertações de mestrado, 20 teses de doutorado e 148 artigos publicados em revistas científicas indexadas.

FOTOS ACERVO DO PROJETO XINGU / EPM-UNIFESP



Em 2002, formatura da primeira turma de auxiliares de enfermagem indígenas, em Cuiabá (MT)

Agentes indígenas de saúde que participaram de curso de formação do projeto, em setembro de 2024: protesto contra queimadas



Neste ano, o programa retomou os cursos de formação para aqueles que trabalham no Xingu, com uma turma de 210 agentes da saúde e saneamento básico e apoio financeiro do governo do estado de Mato Grosso, onde fica a reserva. No fim de setembro, médicos e enfermeiros enviados para o primeiro ciclo programado foram surpreendidos pela fumaça das queimadas na região e seu impacto nas comunidades indígenas. “Eles começaram a plantar mandioca, estão perdendo tudo por causa do fogo e não conseguem repor seus estoques de comida”, conta Mendonça.

Técnicas de plantio e controle de queimadas desenvolvidas pelos indígenas com assessoria do Instituto Socioambiental e de outras organizações têm se revelado insuficientes, prejudicando os novos cultivos e colocando em risco a segurança alimentar das aldeias. As consequências poderão ser o aumento do consumo de alimentos industrializados e, no longo prazo, de doenças crônicas como as que têm preocupado os médicos no Xingu. “É um ciclo perverso que precisa ser interrompido”, afirma a sanitarista. ●

# A arte como irmã da ciência

Após a graduação em biologia, William Coelho optou pela música e hoje se divide entre as salas de concerto e a carreira acadêmica

Venho de uma família simples. Nasci na Vila Matilde, na zona leste de São Paulo. Meu pai trabalhava na área de publicidade e minha mãe é professora. Tenho duas irmãs, que hoje também são professoras. No início da década de 1990, nos mudamos para Cunha [SP], cidade natal da minha mãe. Aos 10 anos, ganhei uma flauta doce de um tio e me lembro de passar horas no meu quarto tirando músicas de ouvido. Logo entrei no coral da escola. O professor, ao perceber minha inclinação, me pediu para ensaiar as vozes masculinas do coro. Costumo brincar que minha primeira experiência na música já foi como maestro. Mesmo sem saber ler as partituras, eu tinha facilidade para decifrar a notação musical. No entanto, meus pais não tinham condições financeiras de me matricular em uma escola de música ou de contratar um professor particular.

Só fui ter aulas de música mais tarde, quando comecei a aprender violino em

um projeto social em Cunha, coordenado pelo maestro Carlos Kaminski, professor do Instituto de Artes da Unesp, *campus* da cidade de São Paulo, hoje aposentado. Eu já tinha 15 anos, idade avançada para iniciação musical, especialmente em violino. O projeto começou em 1998 e no ano seguinte eu me tornei um dos monitores. Nessa época, resolvi montar o “meu” coral, um madrigal com oito vozes, composto por pessoas do curso de violino, alguns músicos amadores e até minha mãe. Foi quando entendi que era aquilo que eu queria fazer, ser maestro.

No entanto, esse sonho precisou esperar. Como não possuía treinamento suficiente para passar na prova de habilidade específica, uma exigência do vestibular para música, acabei optando pelo curso de ciências biológicas, disciplina da qual gostava. Em 2001, comecei a graduação na Universidade Federal de Alfenas [Unifal], em Minas Gerais, e logo me interessei por duas áreas, o estudo dos répteis e a fisiologia vegetal. No primei-

ro ano, fui trabalhar como estagiário no serpentário da Unifenas [Universidade Professor Edson Antônio Velano] e depois comecei uma pesquisa de iniciação científica na Unifal sobre os efeitos alelopáticos dos frutos de quatro plantas: o tomate, a berinjela, a lobeira, que tem esse nome porque seu fruto está na dieta do lobo-guará, e o joá-bravo, um tipo de erva daninha nativa da América do Sul.

A alelopatia estuda a capacidade que algumas plantas têm de emitir substâncias no ambiente, como no solo e no ar, de modo a impedir ou prejudicar o crescimento de outras plantas ao redor. Na minha pesquisa, comprovei o efeito alelopático dos frutos dessas plantas no cultivo da alfaca, cujas mudas, quando cresciam, apresentavam raízes e folhas menores e em pouca quantidade devido a esse fator. Mas nunca deixei a música de lado. Até porque, para me sustentar, eu dava aulas de violino e de viola, além de ser regente do coro da Unifal e de um coral em Paraguaçu, cidade vizinha de Alfenas.

Após a formatura, em 2005, vim morar em São Paulo e, nos quatro anos seguintes, me dividi entre ser professor de ciências do Colégio Objetivo e músico profissional. Fui regente do coro da Caixa Econômica Federal e coordenador pedagógico de um projeto social da Igreja Presbiteriana de São Paulo, que incluía uma orquestra, além de diretor do recém-criado conservatório de Alfenas. Em 2009, tive a oportunidade de fazer um curso de regência de banda sinfônica no Canadá e voltei para o Brasil decidido a me aprofundar nesse campo. Finalmente, ingressei em 2010 no curso de bacharelado em regência no Departamento de Música da Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo [ECA-USP], onde me formei em 2016.

No mestrado, na ECA-USP, fiz um estudo sobre a Congada de São Benedito, sediada em Cunha. De origem afro-brasileira, a congada é uma manifestação popular que envolve dança, música e canto, mesclados à devoção católica e às tradições caipiras. Além da história e da organização geral desse folguedo, analisei no estudo, concluído em 2016, as transcrições musicais e os padrões rítmicos dos principais instrumentos

desse repertório, como a caixa de rastilho e os bastões. A dissertação foi publicada em 2023, pela editora Casa Cultura, e no início deste ano as escolas públicas de Cunha adotaram o livro como material de apoio para seus professores.

Ainda durante a graduação, ingressei a convite da professora Monica Isabel Lucas no Conjunto de Música Antiga da USP, onde hoje sou regente titular. Nos concertos, buscamos reproduzir as obras como foram originalmente criadas, especialmente nos séculos XVII e XVIII, tanto por meio do uso de réplica dos instrumentos do período quanto pelo estudo dos manuscritos originais e tratados musicais da época. Ao atuar no conjunto, conheci outras perspectivas do fazer musical para além da abordagem que se consolidou no século XIX, no chamado período romântico, e isso despertou meu interesse pela musicologia.

Foi a partir dessas discussões que escolhi o tema do meu doutorado, concluído em 2022, no qual analisei a obra sinfônica de Beethoven [1770-1827], compositor celebrado como precursor da linguagem musical romântica do século XIX. Porém, no trabalho, defendo que esse autor

SAIBA MAIS  
Coro da Osesp



está mais alinhado à tradição do século XVIII, conhecido como período clássico, sendo muito influenciado por antecessores como Haydn [1732-1809] e Mozart [1756-1791]. Em 2022, a pesquisa ganhou o Prêmio Tese Destaque do Programa de Pós-graduação em Música da ECA-USP, o que viabilizou a publicação de um livro em formato digital e de acesso gratuito pela Editora CRV, no ano passado.

Há cinco anos estou à frente do Coro da Osesp [Orquestra Sinfônica do Estado de São Paulo]. Em 2024 comemoramos os 70 anos da Osesp, os 30 anos do coro e os 25 anos da Sala São Paulo. Para celebrar as datas, incluí no programa do coro obras do italiano Antonio Lotti [1667-1740] e de autores contemporâneos, a exemplo da jovem compositora e pianista brasileira Juliana Ripke, além de Heitor Villa-Lobos [1887-1959], Gilberto Gil e Dorival Caymmi [1914-2008].

A formação de músico no Brasil tem como base compositores europeus e isso acaba sendo reproduzido nos programas dos concertos. Por isso, tento levar ao público um repertório mais variado e inclusivo, com compositoras e compositores de origens e gêneros musicais variados. Tenho uma relação afetiva com a música popular. Em casa, ouvíamos muita MPB, mas também muita música caipira. Para mim, não existe uma hierarquia entre a música popular e a erudita, um termo que, inclusive, considero equivocado e é motivo de muita discussão na academia. Existe música bem escrita e mal escrita em todos os estilos, seja na música de concerto ou na popular.

No âmbito pessoal, tenho também motivo para comemorar. Acabo de ser aprovado em um concurso para as disciplinas de regência coral e educação musical no Departamento de Música da ECA-USP. Estou muito feliz por poder dar continuidade à minha trajetória de pesquisador, mas espero não abandonar as salas de concerto. Afinal, como cantou Gilberto Gil em “Quanta” [1997], a arte é irmã da ciência. ●

DEPOIMENTO CONCEDIDO A PATRICIA MARIUZZO

Na outra página, Coelho na Sala São Paulo, que abriga a Osesp, e, ao lado, nos anos 2000, quando estagiava no serpentário de uma universidade em Alfenas (MG)



# Matemática para todos

PAOLO PICCIONE



**Histórias da matemática: Da contagem nos dedos à inteligência artificial**

Marcelo Viana  
Tinta-da-China Brasil  
256 páginas  
R\$ 84,90

**H**istórias da matemática: *Da contagem nos dedos à inteligência artificial*, de Marcelo Viana, é uma obra que transcende a natureza técnica da matemática para explorar essa disciplina como uma narrativa rica e envolvente. Viana, um dos matemáticos mais proeminentes do Brasil e diretor do Instituto de Matemática Pura e Aplicada (Impa), no Rio de Janeiro, oferece uma viagem fascinante pela história da matemática, destacando sua evolução desde os primórdios da humanidade até os desafios contemporâneos, como a inteligência artificial.

Compilação de colunas publicadas por Viana no jornal *Folha de S.Paulo*, em que escreve desde 2017, o livro aborda em cada capítulo um período ou conceito fundamental na história da matemática. A narrativa começa na antiga Mesopotâmia e no Egito, passando pela Grécia clássica, pelo mundo islâmico medieval e avança pelo Renascimento europeu, culminando nos desenvolvimentos matemáticos do século XXI. Essa jornada histórica é enriquecida com episódios que revelam não apenas a evolução dos números e das equações, mas também a maneira como a matemática influenciou a sociedade e a cultura ao longo dos séculos.

Viana demonstra um talento excepcional para transformar conceitos matemáticos abstratos em histórias envolventes e acessíveis. Um exemplo notável é a saga do teorema de Pitágoras, cuja origem remonta a civilizações muito anteriores a do grego Pitágoras (570-495 a.C.), desmistificando o senso comum e apresentando a matemática como uma construção coletiva. Outro exemplo é a discussão sobre a geometria não euclidiana, um campo revolucionário que desafiou séculos do pensamento matemático tradicional. Viana narra como o russo Nikolai Lobachevsky (1792-1856) e o alemão Bernhard Riemann (1826-1866) ousaram imaginar novas formas de geometria, abrindo caminho para uma revolução no pensamento matemático.

O autor também consegue incorporar leveza e humor à narrativa, características raramente associadas à matemática. A história do último teorema de Fermat, por exemplo, é contada de maneira divertida, destacando o enigma deixado pelo francês Pierre de Fermat (1607-1665) na margem de um

livro que intrigou matemáticos por séculos até sua solução pelo britânico Andrew Wiles em 1994.

Além de explorar os conceitos matemáticos em si, Viana trata da influência da matemática em eventos históricos e contemporâneos. Um exemplo marcante é a história da criptografia na Segunda Guerra Mundial (1939-1945), em que ele descreve o trabalho do britânico Alan Turing (1912-1954) e sua equipe na decifração do código Enigma, um feito que foi crucial para o desfecho do conflito. A narrativa é particularmente tocante, pois vai além das contribuições matemáticas e aborda os desafios pessoais enfrentados por Turing, que se submeteu a uma castração química após se declarar homossexual para as autoridades britânicas e se matou em 1954.

Na era contemporânea, Viana explora a revolução algorítmica e o papel central da matemática no desenvolvimento da inteligência artificial. Ele detalha de que forma conceitos matemáticos como cálculo e álgebra linear estão na base das tecnologias que moldam o mundo de hoje, desde motores de busca na internet até diagnósticos médicos. Ao mesmo tempo, Viana levanta questões éticas e filosóficas sobre o impacto desses avanços, convidando o leitor a refletir sobre as implicações da inteligência artificial.

Um tema recorrente no livro é a paixão de Viana pela matemática e seu desejo de compartilhá-la com um público amplo. Isso é evidenciado no texto sobre a Olimpíada Brasileira de Matemática das Escolas Públicas (Obmep), uma iniciativa que ele ajudou a fomentar nos anos 2000. Viana relata histórias inspiradoras de jovens que descobriram seu talento para a matemática por meio da Obmep, destacando como a disciplina pode ser uma ferramenta poderosa de transformação social e pessoal.

*Histórias da Matemática* é, portanto, mais do que um simples livro sobre números e equações; é uma celebração do pensamento matemático e de sua capacidade de moldar o mundo. Viana nos mostra que a matemática não é apenas para gênios, mas pode ser apreciada por qualquer um, desde que apresentada da maneira certa.

O matemático **Paolo Piccione** é professor titular da Universidade de São Paulo (USP).



**PRESIDENTE**

Marco Antonio Zago

**VICE-PRESIDENTE**

Carmino Antonio de Souza

**CONSELHO SUPERIOR**

Antonio José de Almeida Meirelles, Helena Bonciani Nader, Herman Jacobus Cornelis Voorwald, Marcílio Alves, Maria Arminda do Nascimento Arruda, Mayana Zatz, Mozart Neves Ramos, Pedro Luiz Barreiros Passos, Pedro Wongtschowski, Thelma Krug

**CONSELHO TÉCNICO-ADMINISTRATIVO****DIRETOR-PRESIDENTE**

Carlos Américo Pacheco

**DIRETOR CIENTÍFICO**

Marcio de Castro Silva Filho

**DIRETOR ADMINISTRATIVO**

Fernando Menezes de Almeida

**pesquisa**fapesp

ISSN 1519-8774

**COMITÊ CIENTÍFICO**Luiz Nunes de Oliveira (*Presidente*), Américo Martins Craveiro, Anamaria Aranha Camargo, Ana Maria Fonseca Almeida, Anapátricia Moraes Vilha, Carlos Américo Pacheco, Carlos Graeff, Célio Haddad, Claudia Mendes de Oliveira, Deisy de Souza, Douglas Zampieri, Eduardo Zancul, Euclides de Mesquita Neto, Fernando Menezes de Almeida, Flávio Vieira Meirelles, José Roberto de França Arruda, Jó Ueyama, Lillian Amorim, Liliam Sanchez Carrete, Marcio de Castro Silva Filho, Mariana Cabral de Oliveira, Marco Antonio Zago, Maria Julia Manso Alves, Marie-Anne Van Sluys, Marta Arnetche, Nina Stocco Ranieri, Paulo Schor, Reinaldo Salomão, Richard Charles Garratt, Rodolfo Jardim Azevedo, Sergio Costa Oliveira, Luiz Vitor de Souza Filho, Watson Loh**COORDENADOR CIENTÍFICO**

Luiz Nunes de Oliveira

**DIRETORA DE REDAÇÃO**

Alexandra Ozorio de Almeida

**EDITOR-CHEFE**

Neldson Marcolin

**EDITORES**Fabrício Marques (*Política Científica e Tecnológica*), Carlos Fioravanti (*Ciências da Terra*), Marcos Pivetta (*Ciências Exatas*), Maria Guimarães (*Ciências Biológicas*), Ricardo Zorzetto (*Ciências Biomédicas*), Ana Paula Orlandi (*Humanidades*), Yuri Vasconcelos (*Tecnologia*)**REPÓRTERES** Christina Queiroz e Sarah Schmidt**ARTE** Claudia Warrak (*Editora*), Júlia Cherem Rodrigues e Maria Cecilia Felli (*Designers*), Alexandre Afonso (*Editor de infografia*)**FOTÓGRAFO** Léo Ramos Chaves**BANCO DE IMAGENS** Valter Rodrigues**SITE** Yuri Vasconcelos (*Coordenador*), Jayne Oliveira(*Coordenadora de produção*), Kézia Stringhini (*Redatora on-line*)**MÍDIAS DIGITAIS** Maria Guimarães (*Coordenadora*), Renata Oliveira do Prado (*Editora de mídias sociais*), Vitória do Couto (*Designer digital*)**VIDEOS** Christina Queiroz (*Coordenadora*)**RÁDIO** Fabrício Marques (*Coordenador*) e Sarah Caravieri (*Produção*)**REVISÃO** Alexandre Oliveira e Margô Negro**REVISÃO TÉCNICA** Ana Maria de Almeida, Cassiana Carolina Montagner, Célio Haddad, Claudia Plens, Deisy de Souza, Gustavo Dalpian, Humberto Coda, Ilson Silveira, Jean Ometto, José Roberto Arruda, Patricia Brum, Rafael Oliveira, Reinaldo Salomão, Ricardo Hirata, William Wolf**COLABORADORES** Bárbara Cal, Enrico Di Gregorio, Frances Jones, Gilberto Stam, Giselle Soares, Guilherme Costa, Julia Jabur, Laura Tercic, Mariana Zanetti, Meghie Rodrigues, Patricia Mariuzzo, Paolo Piccione, Paula Carvalho, Ricardo Balthazar, Sinésio Pires Ferreira, Veridiana Scarpelli**MARKETING E PUBLICIDADE** Paula Iliadis**CIRCULAÇÃO** Aparecida Fernandes (*Coordenadora de Assinaturas*)**OPERAÇÕES** Andressa Matias**SECRETÁRIA DA REDAÇÃO** Ingrid Teodoro

É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DE TEXTOS, FOTOS, ILUSTRAÇÕES E INFOGRÁFICOS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO  
TIRAGEM 28.380 exemplares  
IMPRESSÃO Plural Indústria Gráfica  
DISTRIBUIÇÃO RAC Mídia Editora

GESTÃO ADMINISTRATIVA FUSP - FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PESQUISA FAPESP Rua Joaquim Antunes, nº 727, 10º andar, CEP 05415-012, Pinheiros, São Paulo-SP

FAPESP Rua Pio XI, nº 1.500, CEP 05468-901, Alto da Lapa, São Paulo-SP

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

**PESQUISA FAPESP 25 ANOS**

Parabéns para a revista com maior qualidade na apresentação de assuntos científicos. Abrangendo temas atuais e até espinhosos, como foi o incêndio do Museu Nacional/UFRJ em 2018, consegue, além de informar, dar voz à ciência. Nesses tempos complexos de cadeiradas e notícias falsas, com a crescente manipulação da inteligência artificial para anuviar os limites entre ficção e realidade, é muito importante ter um veículo confiável para esclarecer a sociedade sobre questões científicas.

Alexander Kellner – Museu Nacional/UFRJ

Parabéns pelo aniversário! Tenho e li todos os exemplares da revista, mesmo quando era *Notícias FAPESP*. O veículo é fundamental para a divulgação científica, ainda mais em tempos cada vez mais nebulosos.

Adilson Roberto Gonçalves – Unesp

Eu sempre uso *Pesquisa FAPESP* durante a minha disciplina de metodologia científica com os estudantes (“Ferramenta educacional”, edição 344).

Thais Schmidt

A revista é uma ótima estratégia de alfabetização científica.

Sara Dias

**ASSINATURAS, RENOVAÇÃO E MUDANÇA DE ENDEREÇO**

Envie um e-mail para [assinaturaspesquisa@fapesp.br](mailto:assinaturaspesquisa@fapesp.br)

**PARA ANUNCIAR**

Contate: Paula Iliadis  
E-mail: [publicidade@fapesp.br](mailto:publicidade@fapesp.br)

**EDIÇÕES ANTERIORES**

Preço atual de capa acrescido do custo de postagem.  
Peça pelo e-mail: [assinaturasrevista@fapesp.br](mailto:assinaturasrevista@fapesp.br)

**LICENCIAMENTO DE CONTEÚDO**

Adquirir os direitos de reprodução de textos e imagens de Pesquisa FAPESP.  
E-mail: [redacao@fapesp.br](mailto:redacao@fapesp.br)

**PESQUISA BRASIL**

Infelizmente, a desigualdade entre gêneros está muito presente na política, em algumas áreas da ciência e em cargos de destaque (“Como a política segrega as mulheres”, podcast *Pesquisa Brasil*, de 18 de outubro). É importante olhar para isso.

Alessandra Vidotto

**CATADORES**

Que tristeza (“Microbios indesejados no sangue de catadores de materiais recicláveis”, edição 344). Nenhuma pessoa deveria viver em condições tão precárias.

Maurício Caputo

**VIOLAÇÕES ÉTICAS**

Isso também explica por que o entusiasmo com a própria ciência também está esfriando (“Entusiasmo com terapia psicodélica esfria após retratação de artigos e pedido de ensaio clínico adicional”, disponível apenas no site). Não faltam fraudes, plágios e impunidade nas mais diferentes áreas.

Vitor Lima

Sua opinião é bem-vinda. As mensagens poderão ser resumidas por motivo de espaço e clareza.

**CONTATOS**

[revistapesquisa.fapesp.br](mailto:revistapesquisa.fapesp.br)

[redacao@fapesp.br](mailto:redacao@fapesp.br)

PesquisaFapesp

pesquisa\_fapesp

@pesquisa\_fapesp

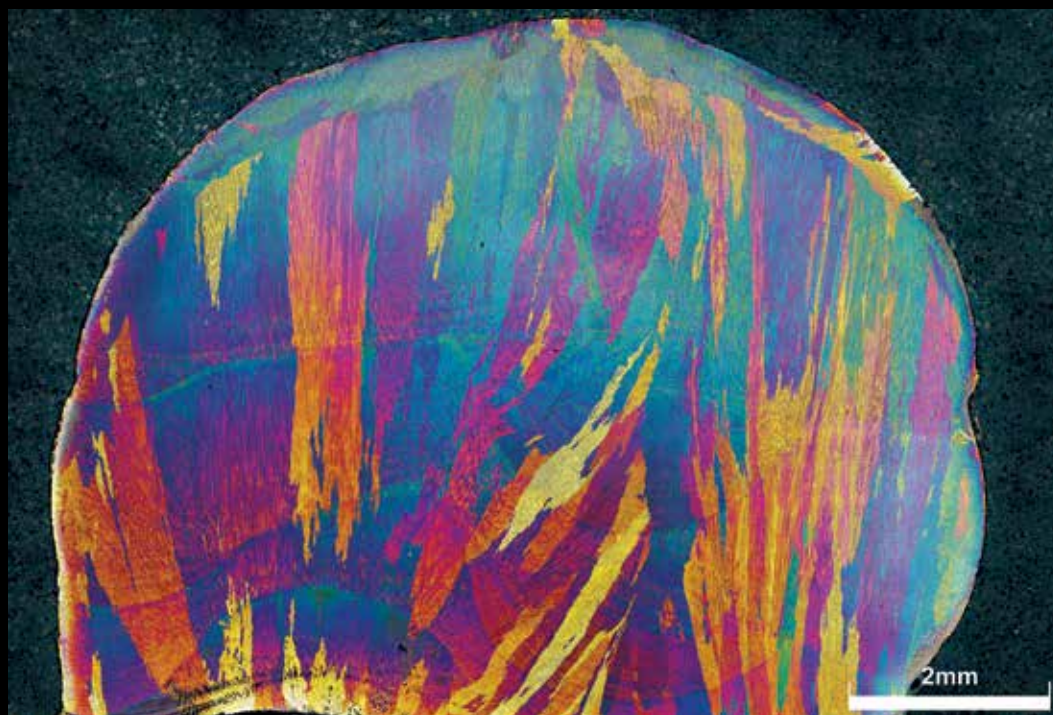
PesquisaFapesp

pesquisafapesp

[cartas@fapesp.br](mailto:cartas@fapesp.br)

R. Joaquim Antunes, 727  
10º andar  
CEP 05415-012  
São Paulo, SP

Sua pesquisa rende fotos bonitas?  
Mande para [imagempesquisa@fapesp.br](mailto:imagempesquisa@fapesp.br)  
Seu trabalho poderá ser publicado na revista



## Quanto menor, melhor

Finas camadas de aço inoxidável empilhadas em um processo de impressão em 3D, formando sutis meias-luas, ao microscópio revelam um rajado colorido que reflete o ordenamento dos átomos nessa esfera com largura de 8 milímetros. Quanto mais curtas as colunas de cores, mais uniforme a estrutura atômica e mais forte o material. Para o engenheiro de materiais brasileiro Luiz Unti, o mais satisfatório desse trabalho feito na Universidade Estadual de Ohio, Estados Unidos, pelo grupo do colombiano Antonio Ramirez, foi obter a fotografia – agora premiada na categoria de microscopia óptica do XXII Metmat, concurso promovido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP).

Imagem enviada por **Luiz Fernando Kultz Unti**, pesquisador em estágio de pós-doutorado na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)



# O FUTURO DOS COMBUSTÍVEIS PARA MOBILIDADE NO BRASIL

29 NOV 2024  
das 10h às 11h30

Foto: arquivo pessoal




## Luiz Augusto Horta Nogueira

EVENTO PRESENCIAL

Instituto de Recursos Naturais/UNIFEI  
e Núcleo Interdisciplinar de Planejamento  
Energético/UNICAMP

MODERAÇÃO

Rubens Maciel Filho e Ciro Antonio Rosolem  
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

 **Auditório FAPESP**  
Rua Pio XI, 1500  
Alto da Lapa  
São Paulo/SP

Para mais informações e inscrições, acesse  
[fapesp.br/conferencias](https://fapesp.br/conferencias)





revista **pesquisa** fapesp

25 ANOS NOTICIANDO A CIÊNCIA BRASILEIRA  
À VENDA EM BANCAS DE TODO O PAÍS