

REVISTA DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA
VOLUME 75 - No. 2 - ABRIL | MAIO | JUNHO

Ciência & Cultura

**Ciência Básica para o
Desenvolvimento Sustentável**



Foto de capa: Foto de [Shane Rounce](#) na [Unsplash](#)

Todos os textos publicados na revista Ciência & Cultura estão licenciados sob a [Licença Creative Commons Atribuição 2.0 \(CC BY-NC-ND 2.0 BR\)](#).

Copyright © 2022 SBPC | Todos os direitos reservados

Ciência&Cultura

revistacienciaecultura.org.br

A revista Ciência&Cultura é uma publicação de divulgação científica da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC)

DIRETORIA SBPC

Presidente

Renato Janine Ribeiro

Vice-presidentes

Fernanda Antônia da Fonseca Sobral

Paulo Eduardo Artaxo Netto

Secretária-geral

Claudia Linhares Sales

Secretárias

Miriam Pillar Grossi

Laila Salmen Espíndola

Francilene Procópio Garcia

Tesoureiras

Marimélia Porcionatto

Ana Tereza Ribeiro de Vasconcelo

EQUIPE C&C

Conselho Editorial

Alexey Dodsworth Magnavita de Carvalho

André Ramos

Carlos Medicis Morel

Elza Maria Ajzenberg

Ennio Candotti

Federico Mayor Zaragoza

Helena Bonciani Nader

Ima Célia Guimarães Vieira

João José Reis

Julia Tagüeña

Leonardo Avritzer

Lília Katri Moritz Schwarcz

Luzia Matos Mota

Luiz Botelho de Albuquerque

Luiz Nassif

Marco Américo Lucchesi

Marcus Cueto Caballero

Maria de Lourdes Alves Borges

Marilene Correa da Silva Freitas

Mariluce de Souza Moura

Miriam Pillar Grossi

Paulo Eduardo Artaxo Netto

Sarah Azoubel

Sidarta Tollendal Gomes Ribeiro

Conselho científico-executivo

Fernanda Antonia da Fonseca Sobral

Ildeu de Castro Moreira

Maíra Baumgarten Corrêa

Marcelo Knobel

Renato Janine Ribeiro

Editores científicos

Debora Foguel

Paulo Artaxo

Editora-executiva

Chris Bueno

Web design

Noctis

Edição de vídeos

Olho Mágico

Edição de podcast

Next

Revisão e indexação

GN1

O conteúdo e as opiniões expressas nos artigos assinados são de responsabilidade exclusiva de seus autores.

A revista Ciência&Cultura é uma publicação com fins educativos e de divulgação científica e cultural, e sem fins lucrativos.



Ciência Básica para o Desenvolvimento Sustentável

EDITORIAL

1. Ciência movida pela curiosidade: porque somos humanos! 03
 Débora Foguel
 Paulo Artaxo

ARTIGOS

1. Globalização das ciências sociais e sua vocação pública 07
 Carlos Benedito de Campos Martins
2. A inserção das Ciências Biológicas no cotidiano 16
 Marie-Anne Van Sluys
3. Física de partículas no século XXI 23
 Alexandre Suaide
4. Buracos Negros Supermassivos: qual sua importância no Universo? 31
 Thaisa Storchi Bergmann
5. Como a Matemática pode ajudar a resolver os desafios globais? 41
 Jaqueline G. Mesquita
6. Os sinais da Terra e as mudanças climáticas 49
 Suzane de Alencar Vieira
7. Ecologia: do conhecimento sistêmico ao transformador 57
 Fabio Rubio Scarano
 Anna Carolina Fornero Aguiar

OPINIÃO

1. Sustentabilidade e redução das vulnerabilidades 64
 Marcel Bursztyn
 Renata Távora
2. Ciência básica, combate à fome e a nova equação alimentar 73
 Paulo Niederle
2. Saúde coletiva, desenvolvimento e qualidade de vida no contexto latino-americano atual 81
 Rosana Teresa Onocko Campos

REPORTAGENS

1. Desafios da ciência básica para o alcance do desenvolvimento sustentável 88
 Priscylla Almeida
2. Quando a ciência básica encontra a realidade social brasileira 94
 Bruno Cesar Dias
3. Os desafios de consolidar políticas públicas baseadas em ciência 99
 Patrícia Mariuzzo
4. Diversidade na ciência: a necessidade de borrar fronteiras 106
 Leonor Assad
5. Uma aliada invisível 114
 Paula Gomes



Capa. Ciência é fundamental para o desenvolvimento sustentável e o combate às desigualdades

(Foto por [Freepik.com](https://www.freepik.com). Reprodução)

Ciência movida pela curiosidade: porque somos humanos!

As ciências abriram caminho para descobertas fundamentais e revoluções tecnológicas que continuamente remodelam o mundo em que vivemos

Débora Foguel e Paulo Artaxo

“Pensar como nós sempre temos pensado é o que nos trouxe até onde estamos. E não vai nos levar para onde deveríamos estar indo.”

A. Einstein

A Ciência é fundamental para o desenvolvimento de nossa sociedade, em todas as áreas, das ciências humanas às naturais. E esse desenvolvimento precisa ser sustentável. As ciências, especialmente as ciências básicas, abriram

caminho para descobertas fundamentais e revoluções tecnológicas que continuamente remodelam o mundo em que vivemos. Em um momento em que a humanidade deve inventar novas formas de produzir, de obter energia, de se alimentar, sabemos que precisamos das ciências e do potencial que elas possuem para o necessário aprimoramento de nossas sociedades. Por isso, a [Organização das Nações Unidas](#) (ONU) e a [Unesco](#) definiram 2022-23 como o Ano Internacional das Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável 2022-23 (IYBSSD, na sigla em inglês). O objetivo é ressaltar a ligação entre as ciências básicas e os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e destacar os impactos das ciências básicas para esses objetivos. Por isso esse número da [Ciência & Cultura](#) aborda esse tema, em todas as suas dimensões.

Estamos vivendo em uma época em que ciências com aplicações imediatas ou

“Precisamos das ciências e do potencial que elas possuem para o necessário aprimoramento de nossas sociedades.”

voltadas a resultados imediatos dão a tônica. Mas, essa visão mais imediatista esquece que a Ciência Básica é o alicerce do conhecimento em todas as áreas. Sem os relógios atômicos, não teríamos o GPS, Waze ou Google Maps. Sem a invenção do World Wide Web (www), inventada no CERN a partir da necessidade de colaboração global em experimentos físicos fundamentais, não teríamos a Internet. A descoberta básica de transistores e circuitos integrados levou ao desenvolvimento de nossos computadores, telefones celulares e muito do que nos cerca. A geração e armazenamento de energia renovável depende de avanços fundamentais na física, química e ciência dos materiais. E a ciência é indispensável na saúde: desde a descoberta do DNA, que revolucionou a medicina, até o combate à pandemia de covid-19, com o sequenciamento genético do vírus SARS-CoV-2 e consequente desenvolvimento de vacinas baseadas na molécula de RNA mensageiro (mRNA), temos descobertas que salvaram milhões de vidas. As ciências básicas são também muito relevantes nos estudos de comportamento humano, na dinâmica de cada indivíduo em nossa sociedade e na economia local e global. As ciências humanas são fundamentais na construção de uma nova sociedade sustentável.

Um ponto fundamental nessa discussão é justamente o significado da palavra “sustentável”. Afinal, já não é mais possível pensar em desenvolvimento econômico e social sem sustentabilidade. A humanidade está passando por um momento muito crítico em sua história, em que temos um sistema socioeconômico baseado no uso excessivo dos recursos naturais de nosso planeta. Temos também uma visão de curtíssimo prazo nas empresas e governos, onde o maior lucro possível tem que ser obtido no curtíssimo prazo, não importa o dano ambiental ou social que esteja causando. O garimpo ilegal na Amazônia, a invasão de terras públicas e territórios indígenas, a poluição por plásticos, uso excessivo de agrotóxicos, as emissões de gases de efeito estufa, entre outros, são somente algumas das questões que ilustram os riscos do atual modelo de desenvolvimento. A vergonhosa desigualdade econômica tem que ser fortemente combatida se quisermos construir uma sociedade minimamente justa e sustentável.

É por isso que começamos esse editorial com uma citação de Albert Einstein, que nos alerta para o perigo que

É por isso que começamos esse editorial com uma citação de Albert Einstein, que nos alerta para o perigo que corremos se continuarmos a pensar, consumir e manter determinadas práticas que não nos levarão para onde deveríamos estar indo: ao encontro de uma relação mais harmoniosa e menos predatória com a mãe Terra.

As mudanças climáticas são uma das questões mais relevantes que a humanidade está enfrentando hoje, e um desafio importante para atingirmos os ODS. O Brasil tem vulnerabilidades muito importantes em relação às mudanças climáticas globais, por sua localização tropical, pelos 8500 km de áreas costeiras, suscetíveis ao aumento do nível do mar, por ter uma economia baseada no agronegócio, cuja produtividade depende das chuvas, e por ter uma geração de hidroeletricidade

*“A vergonhosa
desigualdade
econômica tem que
ser fortemente
combatida se
quisermos construir
uma sociedade
minimamente justa e
sustentável.”*

que depende também das chuvas que estão se alterando. A degradação dos ecossistemas, em particular da Amazônia, pode alterar profundamente nossa sociedade. Por outro lado, o país também tem vantagens estratégicas enormes na questão das mudanças climáticas globais. Por exemplo, 51% das nossas emissões de gás de efeito estufa são devido ao desmatamento da Amazônia. Não há nenhum outro país que tenha uma oportunidade tão boa de reduzir 51% das suas emissões e ainda ter benefícios de preservação dos serviços ecossistêmicos que a floresta amazônica traz – por exemplo, no transporte de vapor d’água para o Brasil Central, e na chuva que irriga as áreas onde temos nossa produção agropecuária. Temos também o maior potencial mundial de geração de energia eólica e solar, com baixos custos. Nosso programa de biocombustíveis é também o maior do planeta. Precisamos de Ciência alinhada a políticas públicas para podermos aproveitar nossas vantagens estratégicas e enfrentar nossas vulnerabilidades.

A busca do desenvolvimento sustentável para as gerações presentes e futuras coloca uma ênfase crítica no respeito aos limites planetários. Considerar aspectos como comunicação, pertencimento cultural, sabedoria indígena das populações nativas e gênero será benéfico no avanço do conhecimento e seu efeito na melhoria da vida de nossas comunidades. O bom uso da Inteligência Artificial (IA) pode ser uma ferramenta fundamental na construção de uma nova sociedade. Por outro lado, seu uso inadequado pode intensificar a desinformação e ser uma ferramenta nas mãos de poucos, aumentando as desigualdades sociais.

Esse número da [Ciência & Cultura](#) se dedica a explorar os vários aspectos dessas questões. Os artigos, escritos por especialistas, debatem como as ciências básicas, como matemática, química, física de partículas, ecologia, astronomia, antropologia, ciências sociais e biomédicas são fundamentais para fornecer soluções sustentáveis para o país. Os textos de opinião refletem sobre como as diversas áreas da ciência são significativas para tratar de questões como saúde e qualidade de vida, combate à fome e crescimento econômico. Além disso, as reportagens, vídeos e podcasts fazem um amplo panorama sobre a transdisciplinaridade da ciência e sua importância em temas atuais, como diversidade, educação, políticas públicas, construção de cidades sustentáveis, saúde,

segurança alimentar, desenvolvimento e, é claro, sustentabilidade.

A ciência básica tem um importante papel no desenho do futuro da humanidade. A humanidade, mais do que nunca está em um importante momento histórico de transição, de um sistema predatório aos recursos naturais, para uma sociedade mais justa e onde haja respeito e equilíbrios no lidar com os recursos naturais finitos de nosso planeta. Mais do que nunca, devemos permitir que as ciências se expandam em todas as direções para explorar, investigar e experimentar. Os tempos atuais apresentam à humanidade desafios que exigem ações para além da multidisciplinaridade, incluindo os saberes dos povos originários que convivem em harmonia com o planeta. Eles exigem uma abordagem transdisciplinar que colabore conhecimento

científico, política, dinâmica de negócios e sabedoria ancestral para soluções.

Viva as ciências básicas! Repensemos o “para onde estamos indo”!

“Precisamos de ciência alinhada a políticas públicas para que possamos aproveitar nossas vantagens estratégicas e enfrentar nossas vulnerabilidades.”

Débora Foguel é professora do Instituto de Bioquímica Médica Leopoldo de Meis da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). É pesquisadora 1A do CNPq e Cientista do Nosso Estado (Faperj), além de membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC) e da Academia Mundial de Ciências (TWAS). No período entre 2011-2015 foi Pro Reitora de Pós-Graduação e Pesquisa da UFRJ.

Paulo Artaxo é professor do Departamento de Física Aplicada do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP). É membro titular da Academia Brasileira de Ciências (ABC), da Academia Mundial de Ciências (TWAS) e da Academia de Ciências do Estado de São Paulo (ACIESP), e do INCT Mudanças Climáticas. Também é membro do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) e vice-presidente da SBPC. É coordenador do Programa FAPESP de Mudanças Climáticas Globais.



Capa. Fenômenos ocorridos em distintos planos da sociedade nas últimas décadas contribuíram para a constituição progressiva de um espaço global de produção e circulação de conhecimentos das ciências sociais.

(Foto: @rawpixel, Freepik.com. Reprodução)

Globalização das ciências sociais e sua vocação pública

Conceitos, teorias e descobertas das ciências humanas contribuem para a formulação de políticas pública voltadas para enfrentar os desafios das sociedades

Carlos Benedito de Campos Martins

Resumo

O artigo aborda o processo de expansão e globalização das ciências sociais, sua inserção numa estrutura de poder acadêmico assimétrica em função da distribuição desigual de recursos materiais, humanos e simbólicos das universidades e de seus países. Também procura ressaltar a presença ativa das ciências sociais diante de questões centrais da contemporaneidade, tanto no contexto internacional quanto no Brasil.

Palavras-chave: Aceleradas mudanças nas sociedades contemporâneas; Globalização das ciências sociais; Relevância cognitiva das ciências sociais; Papel público das ciências das ciências sociais na contemporaneidade.

As ciências sociais, compreendidas nesse texto como a sociologia, antropologia e ciência política, tornaram-se um ator de fundamental importância na dinâmica das sociedades contemporâneas, na medida em que as produções de seus conhecimentos permitem analisar e compreender as aceleradas mudanças em diferentes esferas da vida social que estão ocorrendo nos níveis locais, nacionais e global. Suas análises recentes têm nos apresentado um mundo que está ganhando novos contornos por meio do surgimento de fenômenos recentes, tais como; ascensão de um capitalismo global, desregulação do mercado financeiro, complexas estruturas de poder global, proliferação de incessantes inovações tecnológicas, formação de uma cultura de massa em âmbito mundial, emergência de riscos ecológicos, sociais e pessoais. Simultaneamente, têm destacado a relativa perda de influência de determinadas instituições como classe social, família, partidos políticos, na orientação da conduta dos atores, assim como a emergência da centralidade da questão de gênero, eclosão de novos arranjos afetivos e de sexualidade e afirmação de referências identitárias, etc.^[1, 2, 3, 4] Ao mesmo tempo, os conhecimentos produzidos por elas extrapolam o meio acadêmico no qual foram elaborados e tendem a se inserir de forma crescente na vida cotidiana das diversas sociedades nacionais, possibilitando os indivíduos compreenderem e refletirem sobre estas complexas mudanças que estão ocorrendo em ritmo acelerado e os possíveis impactos em suas vidas privadas.^[5, 6] Em função de sua centralidade explicativa, as ciências sociais estão intensamente vinculadas com o advento e os caminhos da modernidade nos dias correntes, tal como ocorre com a presença e atuação das ciências naturais na dinâmica da sociedade contemporânea. (Figura 1)

Se por uma parte, as nomeadas ciências “hard” têm propiciado fundamentos científicos para a produção de novas tecnologias que vêm transformando constantemente o mundo da natureza e a própria vida humana, os conceitos, teorias e descobertas das ciências humanas têm permitido também sua intervenção na vida social, expressa por meio de formulação de políticas públicas, voltadas para enfrentar desafios prementes de diversas sociedades nacionais. Num primeiro momento, esse artigo, apresenta de forma abreviada o impacto do processo de globalização na dinâmica das ciências sociais nos dias correntes e na parte final, também de forma sucinta, aborda a expansão das

ciências sociais no Brasil e sua inserção na sociedade brasileira. Em ambas partes, o artigo procura ressaltar a presença ativa das ciências sociais diante de questões centrais da contemporaneidade.

Embora o pensamento social esteja presente em todas as sociedades ao longo da história humana, as ciências sociais realizadas no interior de instituições especializadas, como universidades ou institutos de pesquisa, tiveram o início de sua institucionalização em determinadas sociedades europeias e no contexto norte-americano entre o final do século XIX e início do XX. A formação e desenvolvimento das ciências sociais nessas regiões estiveram relacionadas com seus respectivos processos de formação do

“As ciências sociais estão intensamente vinculadas com o advento e os caminhos da modernidade nos dias correntes, tal como ocorre com a presença e atuação das ciências naturais na dinâmica da sociedade contemporânea.”

estado-nação, bem como por meio de empreendimentos colonialistas. A organização de seus sistemas nacionais de ensino superior e de suas universidades propiciaram um suporte para o processo de institucionalização nestas regiões. Gradativamente, as ciências sociais foram surgindo e se institucionalizando em diferentes países por meio das atividades de ensino e pesquisa e em função dos distintos contextos histórico-sociais em que emergiram. Assim, assumiram percursos específicos no processo de formação e desenvolvimento e revelaram diferentes configurações e tradições intelectuais. A “nacionalização” das ciências sociais, ou seja, seu surgimento e vinculação com tradições sociais, culturais, políticas e acadêmicas de seus países, combinadas com a exploração de temas de pesquisas pertinentes aos seus contextos nacionais, resultou numa configuração pluralista no contexto acadêmico internacional dessas disciplinas em termos de uma diversidade de objetos e esquemas explicativos. Essa “nacionalização” das ciências sociais constituiu a base a partir da qual, paulatinamente, ocorreu, num momento posterior, um extenso processo de interação acadêmica entrelaçando vários países por meio do



Figura 1. Análises recentes apresentam um mundo que está ganhando novos contornos por meio do surgimento de fenômenos recentes.

(Foto: Inatimi Natus, Unsplash.com. Reprodução)

intercâmbio de ideias, resultados de suas pesquisas e de seus praticantes. Diante da presença das ciências sociais em várias partes do mundo nos dias atuais, torna-se oportuno interrogar se elas estariam se internacionalizando, ou movendo-se em direção a uma esfera global, em termos de produção e circulação de conhecimento.^[7, 8, 9]

O artigo parte do pressuposto que o processo de globalização, compreendido como intensificação de relações sociais, políticas, econômicas e culturais que conectam de forma recíproca os níveis locais, nacionais e global, presentes na sociedade contemporânea, encontra-se reverberando também na dinâmica das ciências sociais.^[10, 11, 12, 13, 14] Nos dias correntes, as ciências sociais operam simultaneamente, tanto no interior de diversos países quanto num plano transnacional. Se por uma parte, elas têm realizado produções significativas sobre o processo de globalização em suas dimensões econômica, política e cultural, constata-se que apenas recentemente surgiram trabalhos a respeito da globalização das ciências sociais.^[15, 16, 17, 18, 19] De forma sintética, pode-se distinguir duas fases no processo de interação acadêmica internacional nas ciências sociais. A primeira compreende o período que se estende da metade do século XIX até o momento entre as duas guerras mundiais. O intercâmbio acadêmico internacional ocorria, basicamente, por meio de conferências internacionais e da formação de associações científicas internacionais, duas modalidades de práticas acadêmicas até então inexistentes.

Áreas do conhecimento como estatística, antropologia, sociologia e história passaram a organizar encontros internacionais e criar suas respectivas associações científicas internacionais. O Congresso Internacional de Estatística, organizado entre 1853 e 1876 pelo astrônomo e estatístico Adolphe Quételet, de certa forma, antecipou os primeiros encontros internacionais em ciências sociais. As reuniões desse congresso ocorreram regularmente num intervalo de dois ou três anos, propiciando o surgimento do Instituto Internacional de Estatística, em 1883. Na área de antropologia física e social, os congressos internacionais começaram a ocorrer a partir de 1865, impulsionando a criação do *International Congress of Anthropological and Ethnological Sciences*, em 1934. Essas iniciativas contribuíram para a criação da Associação Internacional de Antropologia, após a Segunda Guerra Mundial. A institucionalização da ciência política e da psicologia seguiu, *mutatis mutandis*, a mesma rota e cronologia da antropologia. Em 1893, em Paris, René Worms criou o *Institut International de Sociologie* e, no mesmo período, passou a editar a "*Revue Internationale de Sociologie*". A publicação da "*Encyclopedia of Social Science*", obra de 15 volumes produzida entre 1930 e 1935, editada pelos economistas americanos Edwin Seligman e Alvin Johnson e financiada pela Fundação Rockefeller, representou uma iniciativa marcante no processo de interação internacional nessa primeira fase. No entanto, esse empreendimento contou com uma participação internacional restrita de acadêmicos, envolvendo basicamente diversas sociedades científicas norte-americanas e europeias nas áreas de antropologia, economia, história, ciência política, psicologia, estatística e educação.^[20] (Figura 2)

O segundo período no processo de intercâmbio internacional das ciências sociais iniciou-se após a Segunda Guerra Mundial. A Unesco, criada no final de 1946, desempenhou papel importante no incremento desta interação, tendo como alvo a criação de uma cultura de paz e de diálogo entre as nações. Sob o auspício da Unesco foram criadas associações disciplinares internacionais, como a *International Sociological Association* e a *International Political Science Association*.^[21] Seguindo o modelo de organização da ONU, de privilegiar as representações nacionais, essas associações internacionais foram constituídas a partir de um pequeno número de associações nacionais que estavam concentradas em alguns países

européus e na América do Norte. A partir do final dos anos 1960, essas associações permitiram a entrada e participação de indivíduos em suas atividades, aumentando seu escopo de recrutamento. Com o processo de descolonização que ocorreu por volta dessa época, as nações pós-coloniais também passaram a integrar essas associações, bem como países comunistas do leste europeu. De tal forma que, a partir dos

"As ciências sociais tendem a desempenhar um papel relevante no espaço público ao abordar temas como desigualdades de classe, gênero, raça e etnia, ao analisar as modalidades macro e micro de poder e dominação, ao focar as novas formas de ameaças a democracia, ao tratar de questões do meio ambiente, de saúde, educação, habitação, urbanização, conflitos e imigrações internacionais e temas correlatos."

anos 1970, ocorreu um processo inicial de uma transnacionalização das ciências sociais, através de uma ampliação da base geográfica de suas associações internacionais. Essa abertura para participação de cientistas sociais oriundos de diferentes partes do mundo, pouco a pouco, repercutiu nas discussões temática, teóricas e metodológicas em seu interior, propiciando o surgimento de novos conceitos e abordagens que passaram a questionar tradições explicativas correntes, ensejando o aparecimento de novos movimentos acadêmicos e áreas de estudos, como *black studies*, *postcolonial studies*, *subaltern studies*, etc. que tiveram uma ampla circulação nos departamentos de ciências existentes em uma ampla gama de países.[22]

Nas últimas décadas do século passado, uma constelação de fenômenos ocorridos em distintos planos da sociedade contribuíram para a constituição progressiva de um espaço global de produção e circulação de conhecimentos das ciências sociais. Nesse sentido, vale destacar determinados fenômenos, como: (i) colapso dos regimes comunistas no leste europeu; (ii) surgimento de novos centros econômicos e

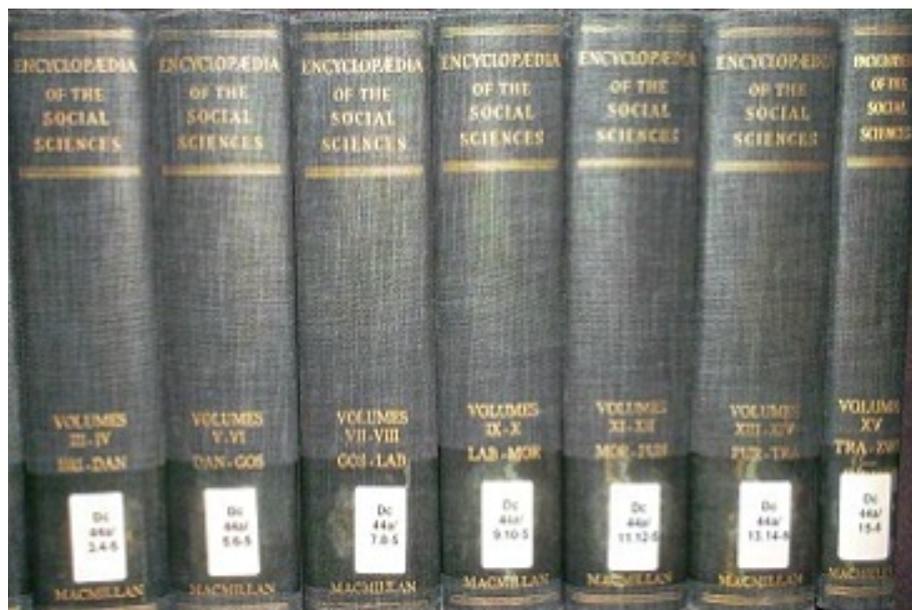


Figura 2. Encyclopedia of Social Science, obra de 15 volumes produzida entre 1930 e 1935, editada pelos economistas americanos Edwin Seligman e Alvin (Foto: Macmillan Publishers. Reprodução)

e acadêmicos dinâmicos na Ásia e em outras regiões do hemisfério sul; (iii) desenvolvimento de novas tecnologias de comunicação que conectam pesquisadores situados em diversos continentes; (iv) forte expansão mundial do ensino superior; (v) incremento da mobilidade acadêmica internacional de docentes e de estudantes (vi) realização contínua de Congressos, Seminários, Colóquios internacionais sobre temas pertinentes destas disciplinas. Esses eventos e outros similares, como a constituição de redes transfronteiriças de pesquisadores, impulsionaram de forma vertiginosa o intercâmbio de conhecimentos das ciências sociais, num patamar diferenciado com relação ao seu passado histórico e distinto de um período recente.

Nessa dinâmica, ocorreu a constituição de associações nacionais e regionais de ciências sociais em países que ocupam posições periféricas e semiperiféricas no espaço global dessas disciplinas, como: *Arab Council for the Social Sciences*, *Association of Asian Social Science Research Councils*, *Council for the Development of Social Science Research in Africa*, *Latin America Council of Social Sciences*, entre outras. Cada vez mais se observa a formação de equipes de pesquisadores oriundos de diferentes países, que trabalham conjuntamente, por um determinado período, em um mesmo objeto, compartilhando fundamentos teóricos e procedimentos metodológicos que tendem a extravasar suas tradições culturais e acadêmicas nacionais. Nessa direção, compartilham ideias comuns, tendem a se

reportar às obras que possuem aproximações temáticas, consultam revistas científicas similares, de tal forma que o processo de globalização acadêmica, vem reverberando e intensificando-se no campo das ciências sociais.^[23]

No entanto, o surgimento desse espaço global apresenta uma estrutura de poder acadêmico assimétrica em função da distribuição desigual de recursos materiais, humanos e simbólicos das universidades e de seus países. Nesse sentido, ocorre uma nítida dominação da produção do conhecimento, de autores, editoras e de revistas internacionais localizadas em determinados países do Ocidente. Persiste uma acentuada desigualdade na dinâmica de tradução de trabalhos nesta área, uma vez que predomina a tradução de livros publicados em inglês para as línguas vernáculas dos diferentes países. No entanto, são raramente traduzidos para o inglês produções de cientistas sociais localizados em países periféricos e semiperiféricos.^[24]

Apesar dessas disparidades, o documento *World Social Science Report* (2010) ^[23] indica que as ciências sociais nos dias atuais estão presentes em todas as regiões do mundo, nas quais existem sistemas de ensino superior, apresentados traços acadêmicos específicos. Como foi assinalado no início deste artigo, as ciências sociais tendem a desempenhar um papel relevante no espaço público na maioria dos países em que estão presentes ao abordar temas como desigualdades de classe, gênero, raça e etnia, ao analisar as modalidades macro e micro de poder e dominação, ao focar as novas formas de ameaças a democracia, ao tratar de questões do meio ambiente, de saúde, educação, habitação, urbanização, conflitos e imigrações internacionais e temas correlatos. Ao mesmo tempo, a profissionalização dos cientistas sociais os têm conduzidos a atuar em diferentes espaços no interior de suas sociedades nacionais, como universidades, institutos de pesquisa, órgãos de governos, instituições da sociedade civil, e também em diversos organismos internacionais. Os trabalhos teóricos e de intervenções práticas dos cientistas sociais em questões relevantes da sociedade contemporânea tendem a ressaltar que diversos aspectos relativos à natureza e à sociedade nos dias atuais não devem ser consideradas e analisadas como fenômenos pertencendo a compartimentos separados. Suas contribuições têm colocado em relevo que as esferas da natureza, cultura, política, sociedade, economia, religião e outros fenômenos correlatos são atravessados por lógicas comuns e constituem

partes integrantes da sociedade em sua totalidade.^[25]

As ciências sociais não apenas se encontram presentes no Brasil, mas efetivamente, ocupam uma posição de destaque tanto no campo científico nacional quanto um papel proeminente diante das questões públicas do país. Durante a primeira década de 1930 surgiram determinados trabalhos voltados para a interpretação do Brasil que se tornaram clássicos do pensamento social brasileiro. Apesar de sua importância e contribuição intelectual, boa parte deles foram escritos por autores que não possuíam treinamento em ciências sociais. O surgimento das primeiras instituições de ensino e pesquisa voltadas para as ciências sociais foi um acontecimento tardio, na medida em que surgiram apenas na década de 1930,

“Nos dias correntes, as ciências sociais no Brasil continuam atuantes em prol de uma sociedade democrática e mais igualitária e, ao mesmo tempo, atenta às suas conexões com o campo global dessas disciplinas.”

tais como a Escola Livre de Sociologia e Política, (1933), em São Paulo, a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (1934), a Universidade do Distrito Federal (1935), a Faculdade de Filosofia do Brasil (1939), localizadas no Rio de Janeiro. Essas instituições forneceram gradativamente uma base institucional para o desenvolvimento das ciências sociais no país.^[26, 27, 28]

Durante as três décadas subsequentes, a criação dessa base institucional propiciou a uma geração pioneira de cientistas sociais produzir um conjunto expressivo de trabalhos voltados para a análise da acelerada mudança social que estava ocorrendo na sociedade brasileira, abordando temas pertinentes que favoreceram a construção de uma consciência crítica do país, tais como relações raciais, desagregação e crise do mundo rural, processo de urbanização, formação do proletariado urbano e da burguesia nacional, constituição das camadas médias, política e desenvolvimento em sociedades periféricas, educação e desenvolvimento socioeconômico, etc. Quando caminhava para um processo de maturação acadêmica, as ciências sociais sofreram uma brutal repressão de suas atividades praticadas pela ditadura militar. Nesse

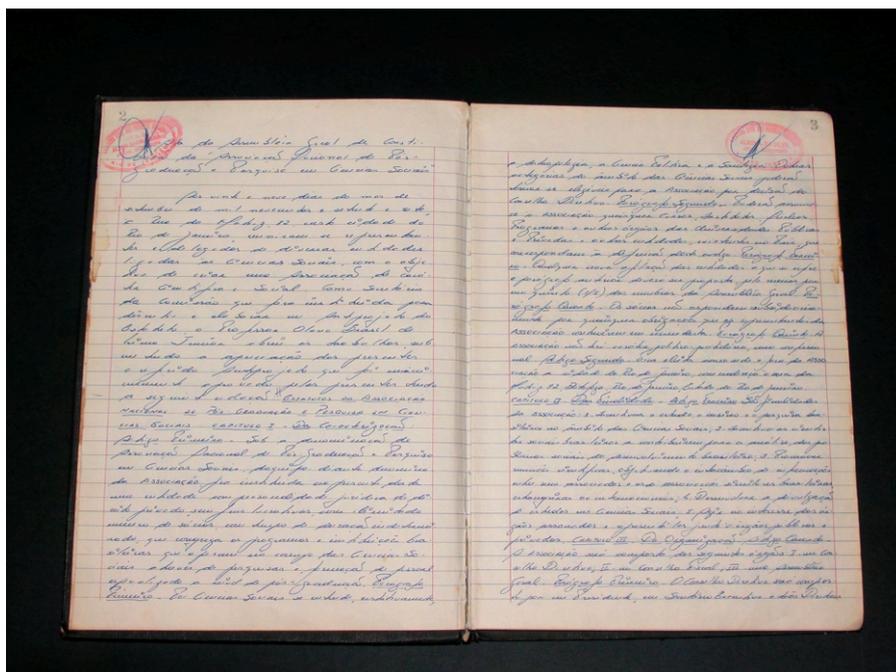


Figura 3. Ata de constituição da Anpocs em 1977
(Foto: Anpocs. Reprodução)

contexto, ocorreram aposentadorias compulsórias de professores em várias universidades públicas, forte controle de liberdade de expressão nas universidades exercido por meio de órgãos de segurança, localizados no interior das universidades públicas, perseguições ideológicas amparadas em legislação que previa a punição de docentes, discentes e funcionários que desenvolvessem atos considerados contrários ao regime, tal como o decreto 477 /69.^[29]

No entanto, a mobilização da comunidade científica nacional conduzida pela [Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência \(SBPC\)](#), assim como a participação de pesquisadores e discentes em ciências sociais e de outras áreas do conhecimento, resistiram às intempéries repressivas. Na verdade, as ciências sociais saíram fortalecidas institucionalmente do regime autoritário, na medida em que na década de 1970 ocorreu o processo inicial da formação do sistema nacional de pós-graduação. A construção do sistema de pós-graduação derivou de um complexo empreendimento coletivo que contou com a participação de atores do Estado, de organismos representativos da comunidade científica, do corpo docente das instituições de ensino e pesquisa envolvidas com esse nível de ensino. De certa forma, a emergência da pós-graduação foi o resultado de uma longa luta desencadeada por esses atores, visando a superação de um padrão de organização do ensino superior no país que historicamente se constituiu através de escolas isoladas e que tinha como

alvo a construção de um sistema universitário capaz de integrar as atividades de ensino e pesquisa.^[30]

A inserção do Brasil no espaço global das ciências sociais foi impulsionada pela construção do sistema nacional de pós-graduação. Na esteira do desenvolvimento desse sistema surgiu, em 1977, a [Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ciências Sociais \(Anpocs\)](#), que desempenhou um papel relevante na organização do campo das ciências sociais no país. Os Encontros Anuais da Anpocs, marcado por uma perspectiva interdisciplinar, desempenharam um papel estratégico no processo de institucionalização das ciências sociais no país e um importante vetor de interação dos programas de pós-graduação com centros internacionais dessas disciplinas. Ao lado da Anpocs, deve-se destacar também as atividades das associações científicas das três áreas – [Associação Brasileira de Antropologia \(ABA\)](#), [Sociedade Brasileira de Sociologia \(SBS\)](#), [Associação Brasileira de Ciência Política \(ABCP\)](#) – que veem trabalhando de forma recorrente, visando a institucionalização de ensino e pesquisa em suas respectivas áreas. Ao mesmo tempo, tem se posicionado de forma crítica diante de questões públicas e assumindo posições contra a injustiça social e pela defesa intransigente dos direitos humanos e da democracia. O documento elaborado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, denominado *“Diagnóstico das Ciências Humanas, Sociais Aplicadas, Linguística, Letras e Artes no Brasil”* (2020)^[31] demonstra – através de um levantamento exaustivo de dados - que a sociologia, antropologia e ciência política, vem realizando trabalhos sobre questões fundamentais da sociedade brasileira contemporânea. (Figura 3)

A Tabela 1 mostra a presença das ciências sociais no Brasil que mobiliza um número considerável de pesquisadores docentes e discentes.

Além de estar sintonizada com uma agenda de questões públicas relevantes para a sociedade brasileira, cumpre destacar que as ciências sociais atuaram de forma firme diante do cenário de ruptura democrática representado pelo último governo. Como se sabe, durante aquele período, o contexto acadêmico foi impactado não apenas pelos drásticos cortes orçamentários, mas também por iniciativas governamentais visando cercear a liberdade de ensinar, pesquisar, acolhendo favoravelmente iniciativas inibidoras de livre manifestação de pensamento provenientes por parte de segmentos conservadores da

sociedade civil e de membros o poder legislativo. Nesse cenário adverso, durante a realização do “38 Encontro da Anpocs” realizado em 2018, as três associações científicas da área passaram atuar conjuntamente em defesa da democracia, liberdade acadêmica e autonomia universitária, estabelecendo contatos periódicos com membros do poder judiciário e legislativo. Nos dias correntes, as ciências sociais no Brasil continuam atuantes em prol de uma sociedade democrática e mais igualitária e, ao mesmo tempo, atenta às suas conexões com o campo global dessas disciplinas. Tem diante de si o desafio de manter seu espaço intelectual e sua relevância pública na sociedade brasileira e manter um diálogo com outras áreas de conhecimento. Também tem o desafio de preservar sua independência científica diante de movimentos sociais e interesses partidários, pois sua capacidade de intervir no mundo social repousa na sua competência em oferecer explicações sobre a vida social, alicerçadas em sólidos fundamentos lógicos, teóricos, conceituais e empíricos.

Carlos Benedito de Campos Martins é professor titular do Departamento de Sociologia da Universidade de Brasília. Foi Visiting Scholar da Universidade Columbia (EUA), Universidade Oxford (Inglaterra), Universidade Livre de Berlim (Alemanha), Universidade de Hong Kong (China), Universidade Nacional de Singapura (Singapura), University London College (Inglaterra).

	Sociologia	Antropologia	Ciência Política
Cursos de mestrado	52	36	43
Mestrados profissionais	1	1	17
Cursos de doutorado	42	22	27
Professores de pós-graduação	1025	546	898
Alunos de mestrado	1977	1235	1510
Titulados de mestrado	555	326	394
Alunos de doutorado	2310	1240	1177
Titulados de doutorado	335	116	150

Tabela 1. Cursos de pós-graduação em Ciências Sociais (2021)

(Fonte: [Geocapes](#))

Referências

- [1] BECK, Ulrich. (2016) *The metamorphosis of the world*. Polity Press.
- [2] BECK, Ulrich. (2005) How not to be a museum piece. *The British Journal of Sociology*. 56 (3).
- [3] BECK, Ulrich. (1993) *The risk society: towards a new modernity*. Sage. London.
- [4] APPADURAI, Arjun. (1996) *Modernity at Large: cultural dimensions of globalization*. University of Minnesota Press. Minneapolis.
- [5] ELLIOT, Anthony; LEMERT, Charles. (2006) *The new Individualism: the emotional costs of globalization*. Routledge. London.
- [6] BAUMAN, Zygmunt. (1998) *Globalization: the human consequences*. Polity Press. Cambridge.
- [7] HEILBRON, Johan. (2014) The social sciences as an emerged global field. *Current Sociology*. vol 62 (5) pp 685-703.
- [8] HEILBRON, Johan. et al. (2009) Internationalisation des sciences sociales: les leçon d'une histoire transnationale. In, *L'espace intellectuel en Europe: de la formation des états-nations à la mondialisation: XIX –XX siècle*. (org) SAPIRO, Gisèle.
- [9] DUFOIX, Stephane & CAILLE, Alain (orgs), (2013) *Le tournant global des sciences sociales*. La DÉcouverte.Paris.,
- [10] KNÖBL, Wolfgang. (2015) Reconfigurações da Teoria Social após a hegemonia ocidental. *Revista Brasileira de Ciências Sociais*.vol 30.(87), pp.5-17.
- [11] RAY, Larry (2013) *Globalization and everyday life*. Routledge. London.
- [12] HSU, Eric. *Social Theory and Globalization*. (2010) In: *The Routledge Companion to Social Theory* (org) Anthony Elliot. Routledge. London.
- [13] O'BYRNE, Darren; HENSBY, Alexander. (2011) *Theorizing Global Studies.*: Palgrave. New York.
- [14] TURNER, Bryan; KHONDKER, Habibul. (2010). *Globalization: east and west*. Sage. Londres. UNESCO. (2013) *Institute for Statistics Online Publication*. Montreal. URRY,
- [15] HEILBRON, Johan. (2018) *The Social and Human Sciences in global power relations*. Palgrave. Cham.
- [16] KHEIM, Wiebke. (org). (2016) *Global knowledge Production in the social sciences*. Routledge. London.
- [17] BHAMBRA, Gurinder. (2014) *Connected Sociologies*. Bloombury. London.
- [18] CONNELL, Raewyn. (2007) *Southern Theory. The global Dynamics of knowledge in Social Science*. Allen & Unwi. Sydney.
- [19] ALATAS, S, Hussein. (2003) *Academic Dependency and the Global Division of Labour in the Social Sciences*. *Current Sociology*. v. 51, n. 6, pp. 599-613.
- [20] SAPIRO, Gisele. (2009) *L ' espace intellecuel en EuropeÇ de la formation des etats nations 'a la mondialisation . La Decouverte. Paris*
- [21] PLATT, Jennifer. (1998) *History of the (ISA) International Sociological Association*. Université de Québec. Montreal.
- [22] MEDINA,Leandro. (2014) *Centers and Peripheries in knowledge production*. Routledge. New York.
- [23] *WORLD SOCIAL SCIENCE REPORT*. (2010) *International Science Council Unesco Publishing*. Paris
- [24] GINGRAS, Yves & MOSBAH-NATANSON, Sebastien. (2010) *Where are social sciences produced? in: WORLD SOCIAL SCIENCE REPORT*. (2010). *International Science Council Unesco Publishing* pp 149-153. Paris
- [25] KENNEDY, Michael (2015). *Globalizing knowledge, universities, intellectuals and public in transformation*. Stanford University. Stanford
- [26] BOAS, Glaucia. (2007), *A Vocaçao das Ciencias Sociais no Brasil (1945-1966)*. Fundação Bibliotheca nacional. Ministério da Cultura. Rio de Janeiro
- [27] MICELI, Sergio (org). (1989) *História das Ciências Sociais no Brasil*. Volume 1. Editora Revista dos Tribunais Ltda. São Paulo.
- [28] MICELI, Sergio (org). (1995) *História das Ciências Sociais no Brasil* Editora Sumare. Sao Paulo.
- [29] MOTTA, Rodrigo. (2014) *As universidades e o regime militar. 50 anos depois*. Zahar. Rio de Janeiro.
- [30] MARTINS, Carlos Benedito. (2018) *As origens pós-graduação nacional (1960-1980)*. *Revista Brasileira de Sociologia*, v. 6, n. 13, p. 9-26.
- [31] *CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATEGICOS (CGEE)*. (2020) *Diagnóstico das Ciências Humanas, Sociais Aplicadas, Linguística, Letras e Artes no Brasil*. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Brasília.



Capa. Ciências biológicas são fundamentais para informar ações de sustentabilidade, saúde e biotecnologia.
(Imagem: Dora T Bonadio. Reprodução)

A inserção das Ciências Biológicas no cotidiano

Os desafios para o futuro da sociedade são imensos e complexos, e a ciência tem que estar engajada para trazer soluções

Marie-Anne Van Sluys

Resumo

A atividade de pesquisa requer em sua essência a indagação sobre um fato, um fenômeno, uma observação. Na área de Ciências Biológicas observa-se uma mudança radical no fazer pesquisa. A diversificação dos equipamentos de laboratório e de campo ocorre com a introdução da tecnologia da informação, o ganho em resolução das imagens capturadas por microscópios, satélites e drones, além da miniaturização e robótica. Um biólogo necessita de múltiplas linguagens para transitar entre os diversos ambientes, mas não pode perder de vista seu objeto de estudo: um ser vivo inserido em um ambiente de dimensão variada.

Palavras-chave: Ambiente; Saúde; Alimentação; Educação; Investimento; Inovação

Introdução

A Ciência senso amplo ganhou proeminência nos últimos séculos, sobretudo em países que lideram as relações internacionais, estabelecendo-se como mediadora para a busca de soluções para grandes problemas da sociedade e, eventualmente, contribuindo para decisões políticas. Um exemplo é a definição dos 17 “Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável” (ODS) estabelecidos pela ONU e integralmente embasado em dados científicos advindos de pesquisas em diversas áreas do conhecimento com impacto em todas as atividades da sociedade. Os países definem as áreas prioritárias de financiamento e as agências de fomento à pesquisa elaboram as estratégias de financiamento por meio de um diálogo contínuo com diversos atores. O termo “sociedade” neste artigo pode representar o setor público, o setor econômico, o governo, ou ainda a população em geral. Nesse contexto, a diplomacia científica também se insere como uma estratégia de diálogo com a sociedade em geral. (Figura 1)

Pesquisa senso amplo

A atividade de pesquisa requer, em sua essência, a indagação sobre um fato, um fenômeno, uma observação. A



Figura 1. Os 17 Objetivos de desenvolvimento sustentável, estabelecidos pela ONU

(Fonte: ONU. Reprodução)

estruturação do pensamento lógico para elaborar a pergunta e as estratégias para respondê-la demandam um espírito curioso e crítico que submete a ideia à avaliação. Engana-se aquele que considera a pesquisa como uma atividade isolada e desconectada da realidade. Trata-se de uma operação orquestrada entre pesquisadores do mundo que buscam respostas a problemas às vezes ainda não compreendidos pela sociedade em geral. As mudanças climáticas globais^[1] e a pandemia de covid-19^[2] são dois exemplos atuais de problemas do cotidiano cuja compreensão dependeu do conhecimento gerado por gerações de pesquisadores. Ambos têm impacto em todas as atividades econômicas e sociais relevantes à nossa sobrevivência e às futuras gerações, assim como grande esforço de comunicação e acordos entre governantes. (Figura 2)

Os desafios para o futuro da sociedade local, nacional e mundial são imensos e complexos. São necessários muitos cérebros pensantes e dedicados a refletir soluções, fazer descobertas, criar inovação e tecnologia não antecipadas. Tanto o futuro próximo (2050) como o mais distante (mais de 100 anos adiante) demandam criatividade e ações coletivas. Mais do que nunca precisamos do “*Homo sapiens curiosus*” e “*Homo sapiens criativus*” (e não do “*Homo sapiens poderosus*” ou ainda “*Homo sapiens totalitarius*”) para investigar questões básicas que resultam em avanço do conhecimento para uma subsequente solução criativa, claramente o papel da inovação numa sociedade.

O lema que “**Ciência é investimento**” deve ressoar como o som delicioso dos pássaros ao amanhecer ou ainda as ondas do mar numa praia limpa. Muitas

controvérsias quanto ao futuro da Ciência, que inclusive embasam atitudes negacionistas para a obtenção do controle sobre diversas dimensões da sociedade, são realidade ao redor do mundo. É interessante notar que a Ciência, a Tecnologia, a Filosofia, a Religião e as Artes são desdobramentos da criatividade humana que moveram a sociedade ao longo dos tempos.^[2] Marcos históricos nesse processo são a agricultura e a domesticação dos animais, o desenvolvimento de vacinas, a engenharia para o saneamento básico, a qualidade da água, do ar e do ambiente e as ações para o bem-estar e saúde do ser humano. O conceito Saúde Global^[3] é intrinsecamente associado à qualidade de vida local.

Nesse contexto, todo projeto de pesquisa é uma oportunidade de descoberta e sua avaliação criteriosa e justa é um valor a ser preservado no processo de financiamento a pesquisa em qualquer país. Misturar o processo de avaliação científica com interesses políticos e individuais é um grande risco para a saúde do sistema de pesquisa. Existem vários exemplos através dos séculos em que interesses individuais ou corporativos tiveram impacto substantivo em conter a compreensão dos fenômenos naturais.

As Ciências Biológicas

Nos últimos 50 anos além da revolução (e transição sem volta!) para um mundo digital, virtual, robótico, vimos uma revolução semelhante ocorrer na área da ciência que estuda da vida. A pandemia da covid-19 escancarou quão frágeis somos diante de um vírus. Por ocasião da celebração das descobertas de Louis Pasteur no Rio de Janeiro (1995), o Prêmio Nobel Joshua Lederberg^[4] afirmou que ainda não tínhamos o conhecimento suficiente para proteger a humanidade, os animais e as plantas de infecções virais. Esse receio expresso pelo pesquisador ainda é válido hoje, mesmo com os muitos avanços das últimas décadas. Por outro lado, saber que a doença covid-19 é causada por um vírus, e que diferente de doenças causadas pelas bactérias, não adianta tomar antibiótico, foi importante para identificar o tamanho do problema que enfrentamos. A única solução é uma vacina! Mas para entender a covid-19 foi necessário ter conhecimento do que é um vírus.

Do mesmo modo, o projeto de sequenciamento do genoma humano encerrado no início dos anos 2000 reitera a noção que a vida evolui de ancestrais comuns e que todos

temos um pouco de bactéria dentro de nós. Fazemos parte da linhagem dos eucariotos mas também somos em grande parte o que comemos, e por isso o esforço para o ODS 2, que é Fome Zero^[ii] é um pilar central assim como a erradicação da pobreza (que é o ODS 1). Além do sequenciamento do genoma humano, muitos outros genomas foram produzidos de diversos organismos como bactérias, fungos, animais, plantas e vários parasitas e patógenos, entre outros.^[5,6] Todos esses genomas abriram oportunidades tecnológicas juntamente com várias descobertas feitas ao longo do século passado, permitindo que processos biotecnológicos pudessem ser aprimorados. A biotecnologia tem seu berço na antiguidade, quando aprendemos a fazer

“Os desafios para o futuro da sociedade local, nacional e mundial são imensos e complexos. São necessários muitos cérebros pensantes e dedicados a refletir soluções, fazer descobertas, criar inovação e tecnologias não antecipadas.”

pão e vinho.

Hoje a biotecnologia alcança um potencial extraordinário com as descobertas recentes. Por exemplo, que o RNA é informacional e pode ser usado para a produção de vacinas ou melhorar características genéticas sem a necessidade de modificação direta dos genomas dos organismos. Interessante notar que uma das grandes mudanças recentes veio de estudos sobre a infecção viral em bactérias. As bactérias também ficam “resfriadas” e desenvolveram um conjunto de ferramentas para se protegerem das infecções virais. As cientistas recém-premiadas (2021) pela Nobel Foundation, Jennifer Doudna e Emmanuelle Charpentier, desvendaram o mecanismo de defesa denominado CRISPR-Cas ^[7] que está sendo “domesticado” para usos diversos visando, por exemplo, a correção de doenças genéticas em humanos ou a melhora da produção de plantas em condições extremas.

Outro exemplo marcante, é o Prêmio Nobel da Paz em 2007 para o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e Al Gore, ^[iii] que realizaram uma síntese de diversos trabalhos publicados sobre as mudanças climáticas globais e sua origem antropogênica. No



Figura 2. As mudanças climáticas globais é um exemplo atual de problemas do cotidiano cuja compreensão dependeu do conhecimento produzido por gerações de pesquisadores.

(Imagem: jcomp/ Freepik.com. Reprodução)

mesmo relatório, definem recomendações gerais para a sua contenção. Hoje vemos um esforço da comunidade científica em gerar relatórios de síntese ^[8] sobre temas diversos na área de Ciências Biológicas e suas interfaces para a saúde, ambiente, biodiversidade, crise energética, o valor da bioenergia e a sustentabilidade macroeconômica.^[9]

Polêmicas incompreensíveis são vividas de modo recorrente no mundo atual, por exemplo, o uso, consumo e os benefícios de organismos geneticamente modificados para a produção de alimentos ou medicamentos. A importância inestimável da aplicação de vacinas para a sobrevivência de crianças ao redor do mundo livres de várias doenças. Como esclarecer a relevância sem esbarrar em conceitos tão arraigados na sociedade seja pela mídia superficial, interesses políticos, cultura ou religião?

Pesquisa em Biologia e tecnologia

A atividade de pesquisa científica robusta é considerada um dos pilares para a independência de uma nação. Diversos livros tratam da relação entre ciência e autonomia de um país, assim como a dualidade entre a ciência básica e a ciência aplicada. No âmbito da História da Ciência, cabe destacar a grandeza do potencial embutido na atividade de pesquisa e de curiosidade humana, onde cada cérebro conta. A compreensão das leis de Mendel seguida da descoberta da estrutura da molécula de DNA e a automação de reações bioquímicas culminaram na entrada

do século XXI com o sequenciamento do genoma humano e as grandes contribuições práticas nas áreas de saúde, agropecuária e qualidade ambiental. A parceria entre engenharia, a biologia e a ciência de dados tem grande potencial e responsabilidade nos anos vindouros. A dicotomia entre pesquisa básica e aplicada é ainda um debate em curso, contudo é certo que a aplicação do conhecimento depende da apreensão prévia do conhecimento. Assim, o desenvolvimento da tecnologia muitas vezes depende de saltos no conhecimento e também no desenvolvimento de equipamentos ou produtos mais eficientes. A palavra “eficiência” é aqui utilizada com a dimensão de redução de tempo, gasto energético, redução da poluição ambiental, utilização de insumos alternativos, entre outros.^[7] (Figura 3)

Na área de Ciências Biológicas observa-se uma mudança radical no fazer pesquisa. A diversificação dos equipamentos de laboratório e de campo ocorre com a introdução da tecnologia da informação, o ganho em resolução das imagens capturadas por microscópios, satélites e drones, entre outros. A modelagem e integração dos dados na área de estudos ambientais como ecologia ou em biologia molecular e celular é realidade. Em contrapartida a esses avanços, muitos trabalhos, que são a base dos estudos atuais, caem no esquecimento com o grande volume de artigos publicados. Acompanha esse processo o distanciamento da compreensão do organismo ou do ambiente em estudo. Um esforço se faz necessário ao resgate desse conhecimento.

A linha difusa entre Ciências Biológicas, Tecnologia e Inovação: a biotecnologia

Entre os desafios para os próximos anos no Brasil, tem-se a retomada do investimento em ciência e o incentivo à atividade inovadora. As universidades, local de formação de recursos humanos ao nível superior, tem se engajado a informar e estimular a atividade de inovação entre seus alunos. Contudo, não se deve substituir as funções precípuas dessas instituições, mas sim criar um ambiente saudável de estímulo a inovação em parques tecnológicos ou no setor econômico capaz de atrair e estimular jovens talentos. A Biologia aparece nesse século como a Química e a Física em séculos anteriores, a grande força motriz de mudanças na sociedade em geral e no ambiente. A Biotecnologia

congrega um conjunto de oportunidades de aplicação de conhecimentos advindos das Ciências Biológicas em todos os campos de atuação do ser humano qual seja saúde, alimento, ambiente, saneamento ou sustentabilidade. E aqui há grande espaço de inserção de força de trabalho no setor econômico, no setor público ou no terceiro setor.

Acompanha essa atividade a necessidade de sua regulamentação através de uma ampla gama de variação de autorizações e certificados. A ética na pesquisa com seres humanos, com animais e com o ambiente de forma geral se torna necessária. Do mesmo modo, o reconhecimento do saber dos povos originários de todos os cantos do mundo.

A necessidade de regulamentação das atividades de pesquisa na área de Ciências Biológicas ganhou uma complexidade sem precedentes. Ao pesquisador cabe garantir que todo o estudo siga as regras recomendadas, mas

“A atividade de pesquisa científica robusta é considerada um dos pilares para a independência de uma nação.”

instituições brasileiras ainda tem um grande vácuo no que se refere a oferecer apoio aos pesquisadores. Todo o processo é longo, árduo e, na maioria das vezes, sem apoio institucional, seja no preenchimento, seja na informação de procedimento.

A difícil arte de comunicar Ciência

A atividade de comunicação da pesquisa como visto nas seções acima é vital para a disseminação do conhecimento em suas diferentes esferas: meio acadêmico, sociedade em geral e dentro de instituições de fomento em suas diferentes instâncias. Ademais, crescem-se os aspectos éticos da pesquisa e a sua condução adequada dentro das normas e padrões locais e globais. É importante que pela comunicação também seja divulgado o cuidado inerente à qualidade das ações. A palavra comunicação aqui ganha várias dimensões.

Uma digressão histórica importante com efeito não desprezível para a atividade científica é que a partir de 1660 a atividade de registro e armazenamento de cartas enviadas por pesquisadores do mundo foi sistematizada pela *Royal Society of London*, dando início à tradição de publicação de artigos científicos revisados por pares



Figura 3. A compreensão das leis de Mendel seguida da descoberta da estrutura da molécula de DNA e a automação de reações bioquímicas levaram ao sequenciamento do genoma humano e às grandes contribuições práticas nas áreas de saúde, ambiente e agropecuária.

(Imagem: Sangharsh Lohakare/ Unsplash.com. Reprodução)

que hoje passa por nova mudança de paradigma. A divulgação dos resultados de pesquisa como mencionado acima são fundamentais para a Ciência. O movimento de Ciência Aberta (*Open Science*), Dados Abertos (*Open Data*) e Acesso Aberto (*Open Access*) é irreversível. No entanto, a comunidade científica global ainda não está plenamente preparada para lidar com esse movimento. Trata-se de uma demanda da sociedade ao nível global de modo que seja reconhecido a contribuição dos países para o conhecimento mundial e também o financiamento das pesquisas pelas diversas agências mundiais.

Conclusão: a vida na terra seja ela em formato digital ou real depende de água limpa, ar puro, oxigênio, luz do sol

As árvores, os fungos, os organismos unicelulares que não enxergamos precisam viver para que todos os demais possam aproveitar desse belo planeta. Vivemos uma janela de oportunidade para novo salto na ciência no Brasil e no mundo. A disponibilidade de dados abertos em todas as áreas do conhecimento é singular e uma mudança de paradigma de análise deverá ser implementada para o seu uso integral.

As Ciências Biológicas hoje se caracterizam por uma operação orquestrada de pesquisa que entrelaça parceiros em todas as áreas do conhecimento e que garantem o desenvolvimento de ciência de qualidade. Considerando o

cenário nacional, o desenvolvimento (social e econômico) do Brasil necessita de uma base sólida de pesquisa inserida no universo global e que garanta à sociedade autonomia de escolhas informadas. Investir em ciência é investir no futuro da sociedade e da nação. Os cientistas de todas as áreas são os guardiões de uma missão fundamental para o mundo que é de construir o conhecimento, explicar os fenômenos através de pesquisa ética, relevante, com equidade e de qualidade em todas as áreas do conhecimento para as futuras gerações.

Dedicatória da autora aos cientistas:

A todos que ousaram pensar diferente, foram em busca de respostas a perguntas inquietantes e em sua busca geraram os alicerces para se fazer Ciência...e educar as nações.

Marie-Anne Van Sluys é professora do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (USP). Atuou no comitê de Genética do CNPq, coordenação adjunta Fapesp na área de Ciências da Vida (2008-2023), e liderou a iniciativa S2B - InovaUSP (2013-2023). Coordenou a iniciativa Agronomical and Environmental Genome (ONSA). Atualmente, é membro da ABC, ACIESP e da TWAS, sendo líder do grupo de pesquisa GaTE e membro da coordenação adjunta de Programas Especiais-Fapesp.

Notas

[i] A pandemia de COVID-19 é um surto global de coronavírus, uma doença infecciosa causada pelo vírus da síndrome respiratória aguda grave coronavírus 2 (SARS-CoV-2). ([Coronavirus disease \(COVID-19\) pandemic](#))

[ii] Objetivo de desenvolvimento sustentável (ODS) 2: Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável ([17 ODS](#))

[iii] O prêmio Nobel destacou o trabalho de combate e conscientização às mudanças climáticas: [Peace Nobel Prize](#) to IPCC and Gore

(<https://www.nobelprize.org/prizes/peace/2007/summary/>)

Referências

[1] Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the IPCC Sixth Assessment Report.

[2] Bacon, F. (1605). The Advancement of Learning. P. F. Collier.

[3] WHO. One health (2021). Disponível em: https://www.who.int/health-topics/one-health#tab=tab_1.

[4] Garcia, E (1995). The year of Louis Pasteur International Symposium: From spontaneous generation to molecular evolution. Mem. Inst. Oswaldo Cruz 90 (3).

[5] Zorzetto, R (2019). Legados do Genoma. Revista Pesquisa Fapesp. Edição 284, out 2019. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/legados-do-genoma/>.

[6] Stam, G (2023). Projeto Zoonomia compara genomas em busca de respostas sobre evolução e saúde. Revista Pesquisa Fapesp. Edição 328, jun. 2023. Disponível em:

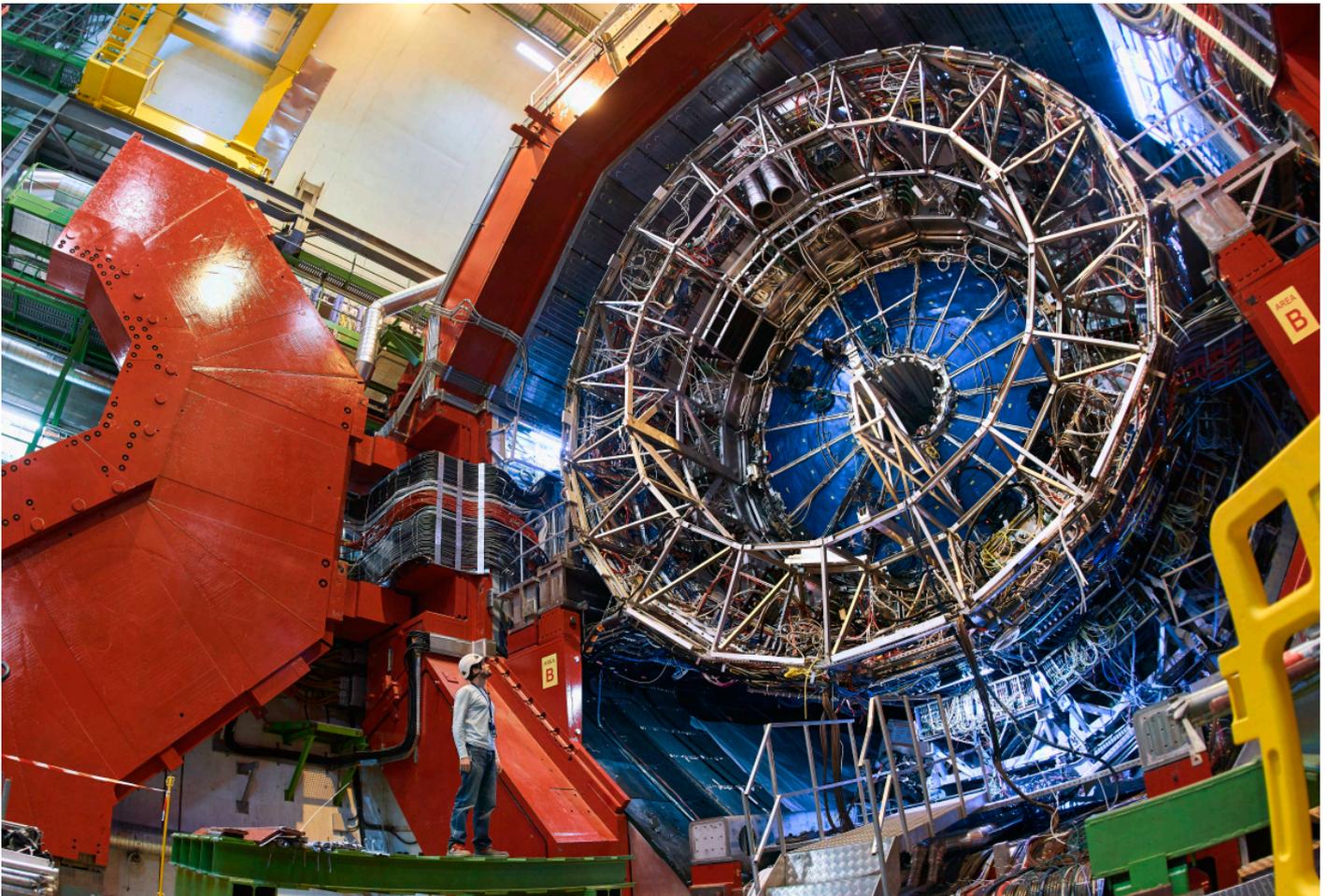
<https://revistapesquisa.fapesp.br/projeto-zoonomia-compara-genomas-em-busca-de-respostas-sobre-evolucao-e-saude/>

[7] NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach AB (2023). Wed. 21 Jun 2023. Disponível em:

<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2020/press-release/>

[8] Marques, F. (2023). [Bases para reconstruir a capacidade científica do Brasil](#). Revista Pesquisa Fapesp. Edição 324, fev 2023. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/bases-para-reconstruir-a-capacidade-cientifica-do-brasil/>.

[9] Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) (2015). Bioenergy & Sustainability: bridging the gaps. Edited by Glaucia Mendes Souza, Reynaldo L. Victoria, Carlos A. Joly and Luciano M. Verdade.



Capa. O Detector ALICE (A Large Heavy-Ion Experiment) no Large Hadron Collider (LHC). Apesar de todos os avanços no entendimento acerca da estrutura da matéria, ainda há muitas questões em aberto.

(Imagem: CERN. Reprodução)

Física de Partículas no século XXI

Entendimento sobre estrutura básica do Universo avançou significativamente nos últimos anos, mas ainda existem muitas perguntas e desafios para solucionar

Alexandre Suaide

Resumo

A física de partículas estuda a estrutura microscópica do Universo. Seus constituintes básicos e como esses constituintes interagem entre si, as leis físicas mais fundamentais, resultando em todas as estruturas que observamos na Natureza. Nos últimos cem anos tivemos um avanço considerável no entendimento acerca da estrutura básica do Universo. Contudo, ainda temos muitas perguntas e desafios para serem solucionados, o que torna essa área da física básica uma das mais excitantes e desafiadoras que existem.

Palavras-chave: Física; Partículas elementares; Estrutura da matéria; Modelo padrão; Quarks; Matéria e energia escura

Talvez as perguntas mais recorrentes na história da humanidade, desde a antiguidade até os dias atuais, estejam relacionadas às nossas origens e ao nosso futuro. De onde viemos? Para onde vamos? Do que somos feitos? Esses questionamentos podem ser abordados em diferentes aspectos a depender da área em que se desenvolvem. Áreas como a biologia, química, filosofia, e tantas outras, abordam aspectos particulares dessas perguntas. A física certamente tem o seu papel nesse empreendimento em entender nosso passado e prever nosso futuro. Faz isso com diversos olhares. Em um momento, olhando o grande e distante, com as suas observações sobre o Universo, sua origem, evolução e destino. Em outro, com foco no muito pequeno, tentando desvendar as estruturas mais fundamentais que compõem tudo o que observamos ao nosso redor. Não só do que são feitas essas estruturas, quais os seus componentes, mas também como elas interagem umas com as outras em seus detalhes, de modo a entender a origem de tudo que compõe o Universo, na expectativa que esse conhecimento permitirá vislumbrar nosso destino.

A ideia de que somos feitos de estruturas menores, invisíveis, não é nova. Anaxágoras e Empédocles, na Grécia antiga, já imaginavam que tudo a nossa volta era composto de diferentes combinações e ordenamentos de partículas invisíveis. Demócrito argumenta que o Universo consiste em espaço vazio com um número quase infinito de partículas invisíveis e indivisíveis. Não estavam muito distantes das concepções modernas, mas faltavam a eles métodos e ferramentas. Levou quase 2500 anos até que fôssemos capazes de entender a natureza microscópica da matéria. Só em 1897, com o trabalho de Thompson sobre raios catódicos,^[1] que descobrimos a primeira partícula elementar. Após isso houve um avanço rápido, com a descoberta do núcleo atômico por Rutherford^[2] em 1910. Pouco tempo depois, em 1927, Rutherford expressa, perante à *Royal Society of London*, que é imperativo acelerar e colidir partículas para progredir na ciência acerca da estrutura fundamental da matéria. Até hoje aceleradores de partículas constituem a mais importante ferramenta nesse processo. Atualmente, aceleradores como o *Large Hadron Collider* (LHC) no CERN, na Suíça, permitem uma investigação profunda da estrutura da matéria e as forças fundamentais que estabelecem as regras para o funcionamento do Universo.

Nesses últimos 100 anos um enorme progresso foi feito e o nosso conhecimento sobre a estrutura fundamental da matéria e como o Universo funciona estão consolidados em duas grandes teorias na física: o Modelo Padrão da Física de Partículas e a Teoria da Relatividade.

O Modelo Padrão da Física de Partículas é a teoria que descreve as partículas elementares (Figura 1), como elas estão relacionadas entre si e como interagem umas com as outras, através de três interações fundamentais (interações forte, fraca e eletromagnética). Uma quarta interação fundamental, a gravitacional, é descrita pela Teoria da Relatividade e a incorporação dessa no Modelo Padrão é um dos

“Nesses últimos 100 anos um enorme progresso foi feito e o nosso conhecimento sobre a estrutura fundamental da matéria e como o Universo funciona estão consolidados em duas grandes teorias na física: o Modelo Padrão da Física de Partículas e a Teoria da Relatividade.”

grandes desafios atuais da física.

O Modelo Padrão é o resultado de diversas descobertas e desenvolvimentos teóricos nesses últimos cem anos. O avanço na tecnologia de aceleradores de partículas, principalmente durante as décadas de 1950 e 1960, fomentou a descoberta de centenas de partículas com características similares as do próton e nêutron fazendo com que cientistas imaginassem que essas partículas deveriam ter alguma estrutura interna mais fundamental. No final da década de 1960 descobrimos que, de fato, essas partículas são constituídas de outras, que hoje chamamos de quarks. Nas décadas seguintes vários experimentos foram realizados e hoje conhecemos a existência de seis quarks diferentes (e seus respectivos antiquarks). Nesse mesmo período, desde a descoberta do elétron no final do século XIX, descobrimos outra classe de partículas elementares, os léptons (e elétron é um deles). Hoje também conhecemos a existência de seis diferentes léptons, também com seus respectivos antiléptons. Quarks e léptons são as partículas elementares de matéria. Toda a matéria conhecida no Universo é formada pela combinação deles. Quarks estão sujeitos à todas as interações

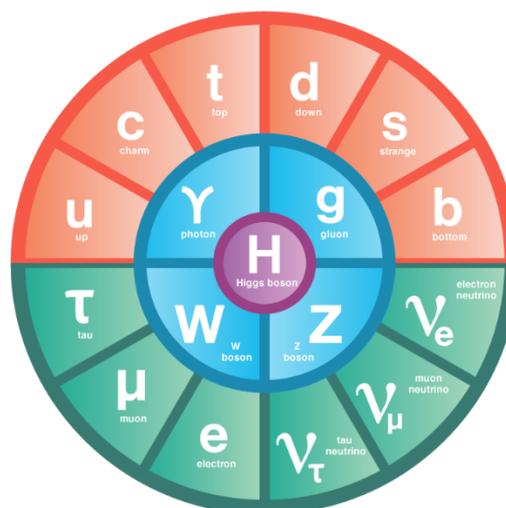


Figura 1. Partículas que compõe o Modelo Padrão.^[3] Em laranja estão representados os quarks. Em verde, os léptons. Em azul os bósons de calibre e, ao centro, o bóson de Higgs.

(Imagem: [Symmetry Magazine](#). Reprodução)

fundamentais enquanto léptons não são capazes de sentir a interação forte. Cada uma dessas descobertas constituiu um importante marco na física de partículas e na ciência em geral e foi, na sua maioria, realizada nos mais elaborados experimentos de física básica para a época. Junto aos quarks e léptons, adiciona-se ao Modelo Padrão quatro bósons de calibre, responsáveis por intermediarem as interações fundamentais. O fóton, responsável pela interação eletromagnética; o glúon, pela interação forte; e os bósons Z e W, pela interação fraca. Completando o Modelo Padrão há também o bóson de Higgs, a última peça descoberta nesse quebra-cabeça, em 2012, no Grande Colisor de Hádrons (*Large Hadron Collider* – LHC),^[4,5] responsável pelo mecanismo que faz com que essas partículas fundamentais possuam massa.

Apesar de todo o avanço nas pesquisas relacionadas às estruturas mais elementares da matéria, e de todo o sucesso do Modelo Padrão em explicar os fenômenos microscópicos, há muito a ser explorado e compreendido. Nossa busca pelo entendimento das nossas origens e destino ainda conta com questões fundamentais a serem respondidas. Essas questões constituem os grandes desafios para as próximas décadas e motivam a criação dos mais sofisticados experimentos científicos da humanidade.

Do ponto de vista das interações fortes, a Cromodinâmica Quântica (QCD) é a formulação teórica para descrevê-la. Desenvolvida nos anos de 1970, a QCD tem sido objeto de intenso estudo desde então. A interação entre os

quarks ocorre através dos glúons, que também interagem entre si. A QCD tem se mostrado bastante competente na descrição de uma ampla variedade de fenômenos físicos, desde as propriedades mais básicas de núcleos encontrados na natureza até situações em condições extremas, como a dinâmica dentro de estrelas de nêutrons ou colisões entre partículas elementares, sejam na atmosfera (raios cósmicos) ou em grandes aceleradores de partículas. Dois aspectos intrigantes que emergem da QCD são a liberdade assintótica (a interação entre quarks diminui com a distância entre eles) e o confinamento (é impossível observar partículas que interagem fortemente, quarks e glúons, livres na natureza). O entendimento das razões que fazem o confinamento uma propriedade fundamental da interação forte é um dos principais problemas em aberto na QCD e há um esforço intenso em buscar respostas para ele.

Uma forma de estudar a propriedade de confinamento é criar um ambiente no qual quarks e glúons possam se mover em distâncias maiores que o tamanho do próton, como se estivessem desconfinados. Isso pode ser obtido em colisões entre íons-pesados (normalmente ouro ou chumbo) em altíssimas energias. Essas colisões podem criar regiões no espaço nas quais a temperatura pode atingir valores extremos, da ordem de 10^{12} K. Nessas situações ocorre uma transição de fase da matéria para um estado chamado de Plasma de Quarks e Glúons (QGP) (Figura 2). A observação e caracterização desse plasma, além de ter importância para o entendimento detalhado das interações fortes, também é muito importante do ponto de vista cosmológico. Acredita-se que o Universo estava em um estado semelhante a este, poucos momentos após o Big Bang. Neste caso, a observação e investigação desse estado da matéria permite compreender com maior detalhe a evolução do Universo primordial, a sua expansão e formação dos primeiros prótons e nêutrons. A investigação experimental da existência e caracterização desse estado da matéria é o foco de grandes aceleradores, como o RHIC (*Relativistic Heavy-Ion Collider*), nos Estados Unidos, e o LHC. Futuros desenvolvimentos nesses dois equipamentos, bem como a construção de uma nova geração de aceleradores, permitirão um estudo detalhado desse estado da matéria, definindo caminhos para entender em detalhes as propriedades das interações fortes.

Do ponto de vista das interações eletromagnéticas e

fracas, a descoberta do bóson de Higgs trouxe informações importantes sobre o mecanismo de quebra de simetria que leva à origem das massas das partículas elementares. Pouco tempo depois tivemos várias medidas sobre o acoplamento do bóson de Higgs com bósons W e Z e também com quarks e léptons mais pesados. Recentemente esses estudos foram expandidos para quarks *charm* e *bottom*.^[6] Essas medidas são importantes porque a magnitude desse acoplamento está relacionada à massa de cada uma dessas partículas. Contudo, ainda há muito a ser explorado. Uma das questões fundamentais em aberto é o problema da hierarquia. Nesse caso, a questão é porque a força gravitacional é exageradamente menos intensa do que a força fraca, cerca de 10^{24} vezes menos intensa. Mais tecnicamente, qual a razão pela qual a massa do bóson de Higgs, cerca de

“A nossa busca pelo entendimento das nossas origens com base nas leis mais fundamentais da natureza ainda está longe de encontrar um desfecho.”

125 GeV, como medida no LHC, é muito menor do que a massa de Planck, cerca de 10^{19} GeV? Essa diferença levou a comunidade a imaginar a existência de uma nova física, não descrita pelo Modelo Padrão. Uma eventual explicação para isso está baseada na ideia de supersimetria. Nessa hipótese, para cada partícula existente no Modelo Padrão há outra partícula supersimétrica associada. Por exemplo, para o elétron existiria o seletron. Essas partículas compartilhariam semelhanças nas suas propriedades quânticas. A existência dessas partículas supersimétricas ajudaria a resolver o problema de hierarquia porque elas seriam responsáveis por milagrosamente cancelarem termos que contribuiriam para uma maior massa do bóson de Higgs e outros observáveis.^[7] Contudo, até o momento, mesmo no LHC, não há nenhuma evidência experimental de que essas partículas existam. Outras teorias em física poderiam ajudar na resolução desse problema, como a existência de mais de um bóson de Higgs,^[8] que podem ser caminhos alternativos para explicar essa

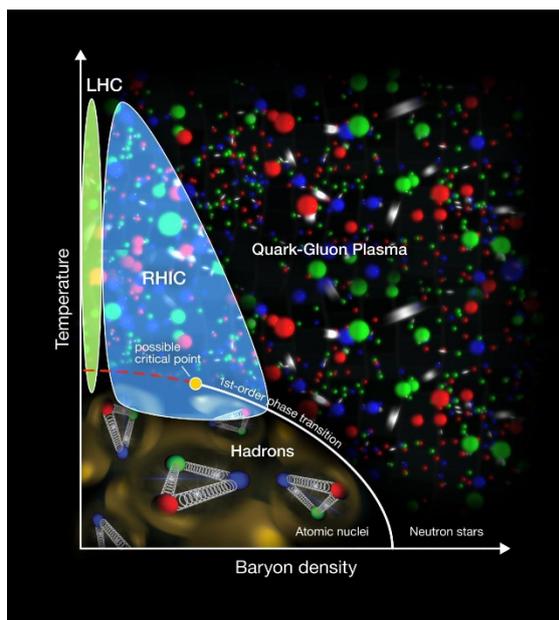


Figura 2. Diagrama de fases da matéria nuclear. Em altas temperaturas acontece uma transição de fase para um estado chamado plasma de quarks e glúons, que é foco intenso de pesquisa em aceleradores como o RHIC e LHC. (Imagem: Reprodução)

questão da hierarquia. Certamente, muitas dessas hipóteses serão testadas nos próximos anos e décadas com o advento do HL-LHC (*High-Luminosity LHC*) e outros aceleradores.

A questão da hierarquia é apenas uma dentre muitas questões que ainda fazem cientistas quebrarem a cabeça em busca de explicações e evidências. Muitas delas têm impacto direto em questões cosmológicas, que remetem às origens do Universo, e são investigadas tanto em experimentos de física de partículas quanto em experimentos em cosmologia. Uma pergunta intrigante é porque o nosso Universo é predominantemente formado de matéria. A origem do Universo em um evento como o Big Bang sugere que deveríamos ter iguais quantidades de matéria e antimatéria, já que elas são produzidas em pares. Contudo, todas as nossas observações cosmológicas mostram o contrário. Vivemos em um Universo de matéria. Essa questão tem impacto direto no nosso entendimento das interações fundamentais da Natureza já que, em um universo com igual quantidade de matéria e antimatéria, eventualmente, haveria a completa aniquilação dessas partículas restando apenas energia. O que observamos é que uma pequena porção de matéria, perto de uma parte em um bilhão, conseguiu sobreviver a esse processo de aniquilação, resultando no que observamos atualmente. Desde os anos de 1950 e 1960^[9] diversos experimentos em física de partículas foram capazes de estabelecer que as leis da física não se aplicam igualmente à matéria em relação à antimatéria. Ainda não sabemos as razões para isso ser desse jeito. Nos últimos anos, o experimento LHCb, localizado no LHC, vem

produzindo evidências^[10] que fornecem caminhos para que algum dia possamos responder a essa questão e, quem sabe, entender melhor as razões que nos levaram a viver em um Universo predominantemente formado por matéria.

Apesar de todo o avanço no entendimento da estrutura da matéria, as partículas listadas no Modelo Padrão correspondem a uma pequena fração da composição do Universo. Uma série de observações sugere a existência de duas componentes desconhecidas na composição do Universo: matéria e energia escura. Medidas de velocidades de rotação de galáxias (Figura 3) indicam a existência de mais gravidade do que aquela calculada a partir da quantidade de matéria conhecida, sugerindo alguma forma desconhecida de matéria, que denominamos matéria escura. Da mesma forma, várias observações, incluindo as evidências para a aceleração da expansão do Universo,^[11] indicam a necessidade de assumir a existência de uma nova forma de energia, também desconhecida, que normalmente chamamos de energia escura. A grosso modo, para explicar as observações cosmológicas, precisamos de um Universo cuja composição seja formada por aproximadamente 68% de energia escura de 27% de matéria escura. Isso faz com que a matéria comum, aquela descrita pelo Modelo Padrão, corresponda a apenas, aproximadamente, 5% da composição do Universo. O que são matéria e energia escura constitui uma grande questão, tanto do ponto de vista da estrutura microscópica quanto macroscópica, do Universo.

A busca pelo entendimento do que é matéria escura está facilmente mais relacionada às pesquisas em física de partículas por conta da ideia de que esse excesso de gravidade pode estar ligado a algum tipo de partícula elementar ainda não observada. Nesse contexto, são muitos os experimentos que buscam pela observação de algum tipo de partícula que possa explicar as observações cosmológicas. Em um primeiro momento pensou-se que neutrinos poderiam estar relacionados à matéria escura, já que são muito abundantes no Universo e interagem muito pouco com qualquer outra coisa. A grosso modo podemos dizer que cerca de 10^{15} neutrinos atravessam nossos corpos a cada segundo e não sentimos absolutamente nada. Contudo, nas últimas décadas, houve um avanço significativo nas pesquisas relacionadas a neutrinos e as estimativas atuais para as suas massas não são capazes de explicar a

quantidade de matéria escura observada. Assim, essa ideia foi descartada.

Um dos candidatos favoritos para matéria escura são os WIMP's (*Weakly Interacting Massive Particle*). Essas partículas seriam bastante massivas, perto de cem vezes ou mais a massa do próton, e interagiriam muito pouco com a luz ou outras partículas conhecidas, sendo boas candidatas a compor a matéria escura. Há um esforço muito grande em detectar WIMP's em uma série de experimentos espalhados pelo planeta. Muitos deles visam a observação dessas partículas a partir da medida dos resíduos de sua aniquilação em galáxias, ou aglomerados de galáxias, mas há também tentativas da medida direta dessas partículas a partir de colisões de WIMP's que

“A principal característica do ser humano é sua curiosidade, sua busca pelo entendimento do ambiente em que vive. Limitar essa curiosidade a apenas aquilo que tem retorno imediato para a sociedade é priva-la de encontrar caminhos no desconhecido.”

chegam ao planeta com outros núcleos em laboratórios. Um terceiro conjunto de experimentos busca pela eventual produção de WIMP's em aceleradores de partículas, que possam ser resultado das colisões entre núcleos em altas energias, como no LHC. O que sabemos é que, sejam quais forem essas partículas, a interação entre elas e a matéria ordinária é extremamente baixa (Figura 4) e a sua observação constitui um grande desafio científico para os próximos anos.

Apesar de todos os avanços no nosso entendimento acerca da estrutura da matéria, vimos que ainda há muitas questões em aberto que motivam cientistas a proporem novas ideias e novos experimentos que serão exploradas nas próximas décadas. A nossa busca pelo entendimento das nossas origens com base nas leis mais fundamentais da natureza continua longe de encontrar um desfecho. Por que a natureza é desse jeito? Podemos simplificar a resposta com base no princípio antrópico, alegando que o Universo desse modo permitiu, dentre muitos que já existiram ou existam, a presença de seres humanos para observá-lo. Que essas leis físicas dessa forma são essenciais para a existência da nossa vida por conta do acaso.

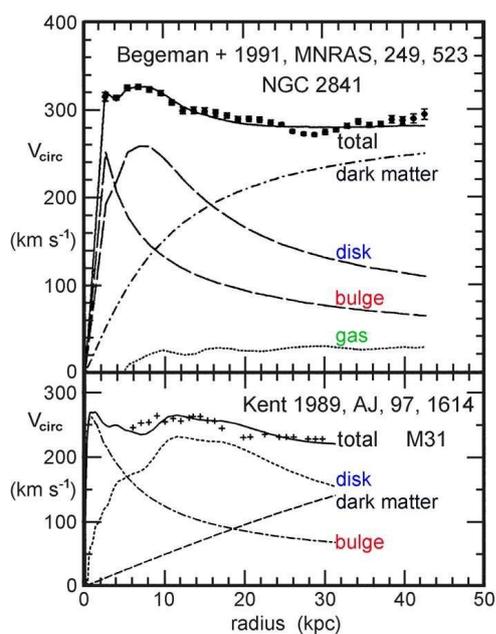


Figura 3. Velocidades de rotação para duas galáxias.^[12] Essas curvas são evidência de que é necessária a existência de mais gravidade do que aquela obtida a partir de matéria ordinária, indicando a existência de algum tipo de matéria não conhecida, que chamamos de matéria escura.

(Imagem: Reprodução)

Mas por que é assim? Isso faz com que a física de partículas seja uma área rica e vibrante, atraindo não apenas o engajamento de muitos cientistas, mas também despertando a curiosidade e imaginação da população em geral. Mesmo assim, há muito debate sobre a necessidade em investimento em ciência básica visando “apenas” satisfazer nossa curiosidade sobre como a natureza funciona. A ideia de que pesquisa científica deve ser algo apenas útil é limitadora. A principal característica do ser humano é sua curiosidade, sua busca pelo entendimento do ambiente em que vive. Limitar essa curiosidade a apenas aquilo que tem retorno imediato para a sociedade é privá-la de encontrar caminhos no desconhecido. Apesar de não ser o foco dessa área, a pesquisa em física de partículas trouxe mudanças significativas para a humanidade que não poderiam ser previstas. Podemos lembrar do desenvolvimento de telas sensíveis ao toque^[14] ou o desenvolvimento da WEB^[15] como dois exemplos de como a sociedade mudou nas últimas décadas por conta da física de partículas. Há uma anedota em física que gostamos de citar, sobre a imprevisibilidade a longo prazo do impacto na sociedade por conta da ciência básica. Uma vez, Michael Faraday foi questionado por William Gladstone, primeiro-ministro do Reino Unido no final do século XIX, sobre as pesquisas “inúteis” que ele fazia sobre eletricidade. Faraday respondeu que “existe a possibilidade de um dia você vir a cobrar impostos sobre isso”.

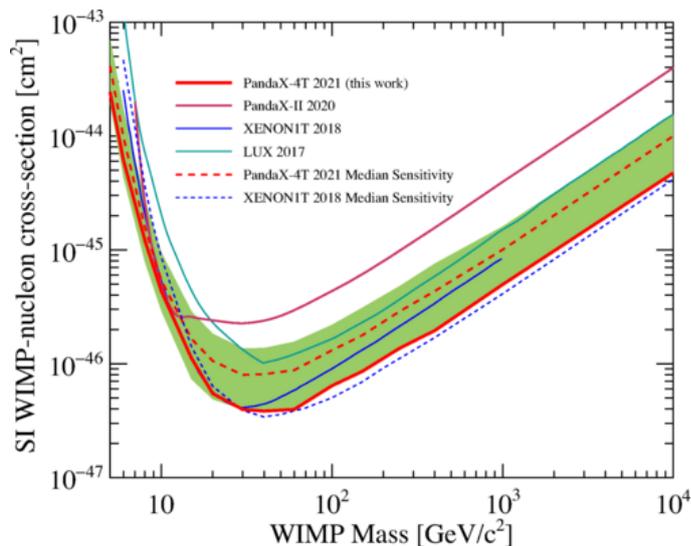


Figura 4. Limites superiores na interação entre WIMP's e matéria ordinária em função da massa esperada dessas partículas^[13]

(Imagem: Reprodução)

Alexandre Suaide é professor do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USPP) e realiza pesquisas na área de colisões com núcleos pesados em energias relativísticas. Esses estudos são realizados através do experimento STAR no RHIC (Relativistic Heavy-Ion Collider), no Laboratório Nacional de Brookhaven (EUA), e do experimento ALICE no LHC (Large Hadron Collider), em CERN (Suíça).

Referências

- [1] "Cathode Rays". *Philosophical Magazine*. 44 (269): 293–316. doi:10.1080/14786449708621070
- [2] "The scattering of α and β particles and the structure of the atom," *Philosophical Magazine* 21, 669-688.
- [3] <https://www.symmetrymagazine.org/article/july-2015/standard-model>
- [4] "Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC", ATLAS Collaboration, *Physics Letters B*, Volume 716, Issue 1, 17 September 2012, Pages 1-29
- [5] "Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC", CMS Collaboration, *Physics Letters B*, Volume 716, Issue 1, 17 September 2012, Pages 30-61
- [6] ATLAS Collaboration, *Phys. Lett. B*, vol. 812, p. 135980, 2021 e CMS Collaboration, *JHEP*, vol. 01, p. 148, 2021.
- [7] S. Krippendorf, F. Quevedo, and O. Schlotterer, *Cambridge Lectures on Supersymmetry and Extra Dimensions*, arXiv: 1011.1491 [hep-th]
- [8] N. Arkani-Hamed, A. Cohen, and H. Georgi, *Electroweak symmetry breaking from dimensional deconstruction*, arXiv: hep-ph/0105239
- [9] C. S. Wu et al., "Experimental Test of Parity Conservation in Beta Decay," *Phys. Rev.* 105, 1413 (1957), J. H. Christenson, J. W. Cronin, V. L. Fitch and R. Turlay, "Evidence for the 2π Decay of the K_{20} Meson," *Phys. Rev. Lett.* 13, 138 (1964)
- [10] The LHCb collaboration. Measurement of matter–antimatter differences in beauty baryon decays. *Nature Phys* 13, 391–396 (2017)
- [11] The Cosmological Constant and Dark Energy, P. J. E. Peebles, Bharat Ratra, *Rev.Mod.Phys.* 75:559-606,2003
- [12] Supermassive black holes do not correlate with dark matter halos of galaxies, *Nature* 469, 377–380 (2011)
- [13] "Dark Matter Search Results from the PandaX-4T Commissioning Run". *Physical Review Letters* 127 261802 (2021).
- [14] The first capacitive touch screens at CERN, <https://cerncourier.com/a/the-first-capacitive-touch-screens-at-cern/>
- [15] The birth of the Web, <https://home.web.cern.ch/science/computing/birth-web>



Capa. Sagitário A* (Sgr A*), o buraco negro supermassivo da nossa galáxia, imageado pelo [Event Horizon Telescope](#) (EHT. Reprodução)

Buracos Negros Supermassivos: qual sua importância no Universo?

Os buracos negros estão entre os mais eficientes geradores de energia do Universo e podem ter impactado até a nossa própria existência

Thaisa Storchi Bergmann

Resumo

Buracos Negros Supermassivos (*Supermassive Black Holes* - SMBH) são verdadeiros “monstros” que chegam a ter mais de um bilhão de massas solares e dos quais nada escapa, nem mesmo a luz. Eles habitam o núcleo das galáxias massivas e têm um papel fundamental em sua evolução. Se não fosse por eles, poderíamos nem estar aqui! É que os SMBHs estão entre os mais eficientes geradores de energia do Universo – energia que acaba por ser depositada na galáxia ao seu redor, moldando a sua evolução. Isso é discutido neste artigo através da observação da alimentação e retroalimentação dos SMBHs em galáxias que abrigam núcleos ativos (*Active Galactic Nucleus* - AGNs). Para mapear e quantificar esses fenômenos, bem como a energia depositada nas galáxias, temos observado: (1) o *inflow* do

gás em diferentes escalas, “engatilhado” pela interação entre galáxias nos AGNs mais luminosos, que faz o gás migrar até o centro através de espirais nucleares até a “*broad line region*” (BLR) e o disco de acreção que alimenta o SMBH; (2) a emissão de radiação, jatos e ventos originários do disco de acreção que interagem com o meio circundante na galáxia aquecendo-o e produzindo *outflows* que regulam a evolução da própria galáxia.

Palavras-chave: Buracos Negros; Galáxias; Universo, evolução; Sgr. A*; Cosmologia

Introdução

Neste artigo apresento os Buracos Negros Supermassivos (*Supermassive Black Holes* - SMBH) e discuto meu trabalho sobre seus processos de alimentação e retroalimentação e a importância desses processos para a evolução do Universo. A retroalimentação dos SMBHs nas galáxias pode cessar a formação das estrelas ao longo de sua evolução, e por isso, o SMBH da nossa galáxia, Sagittarius A* (Sgr A*) pode ter impactado até a nossa própria existência! Para uma discussão mais aprofundada deste último aspecto, bem como possível influência de buracos negros estelares para a vida na Terra, recomendo a leitura do livro que finalizei recentemente, intitulado “My News Explica Buracos Negros”.^[1]

Neste texto, me atendo aos resultados obtidos a partir de minhas observações e de meu grupo de pesquisa. Colaboradores nos meus projetos, sem os quais eles não seriam possíveis, incluem, em particular, Rogemar Riffel e Bruno Dall'Agnol de Oliveira, Rogério Riffel, Jáderson Schimoia, Sandro Rembold e Rodrigo Nemmen entre muitos outros, com quem publiquei mais de 250 artigos científicos.

O que é um Buraco Negro?

Um BH (do inglês *Black Hole*) é uma consequência da gravidade: se houver condições de se concentrar matéria num raio pequeno o suficiente para que sua velocidade de escape seja igual à velocidade da luz, temos a formação de um deles. Seu campo gravitacional é tão intenso que nada dele escapa, nem mesmo a luz (ou qualquer radiação eletromagnética). A viagem para dentro de um BH é uma viagem sem volta: *se você dentro dele cair, nunca mais vai sair!*

Karl Schwarzschild, em 1916, foi o primeiro a obter a solução das equações de campo de Albert Einstein para um BH sem rotação, e derivou o “raio de Schwarzschild”, que define o “Horizonte de Eventos”, a partir do qual nada

escapa, como ilustrado na Figura 1. A gravidade é tão grande que a curvatura do espaço-tempo torna-se infinita, e por isto surge um buraco ali! Para se ter uma ideia do extremo da situação é só calcular o RS para a Terra: 9mm! Para transformar nosso planeta num buraco negro, teríamos que concentrar todo o nosso planeta numa “bolinha” com este raio!

A maioria dos BHs apresenta rotação, e sua solução a partir das equações da relatividade geral foi derivada somente mais tarde, em 1963, por Roy Kerr.

“A radiação, ventos e jatos dos AGNs influenciam a evolução das galáxias em que estão, pois aquecem, agitam e empurram o gás ao seu redor, impedindo a formação de novas estrelas e portanto regulando o próprio crescimento da galáxia.”

Buracos Negros Estelares

Até a primeira metade do século 20 os cientistas em geral, inclusive o próprio Einstein, acreditavam que os BHs eram uma previsão teórica e que não existiriam na natureza. Entretanto, na década de 1970 descobriu-se a estrela Cygnus X-1 (primeira fonte de raios-X na constelação do Cisne) que se move em torno de um ponto escuro, que, pelas velocidades observadas tem massa de ~10 massas solares. A única conclusão possível foi de que era um sistema duplo, em que a estrela escura seria um BH estelar.

Hoje sabemos que os BHs estelares são o núcleo colapsado que resulta da explosão de uma estrela Supernova. Todas as estrelas que se formam com massa maior do que ~10-15 massas solares vão acabar como supernovas. As mais massivas vão gerar BHs, e assim pode-se estimar a existência de ~100 milhões de BHs estelares em galáxias como a nossa, a Via Láctea.

Mas a maioria das galáxias abriga também no seu centro um SMBH, com massa entre 1 milhão e 10 bilhões de massas solares, os quais acredita-se tenham se formado com as galáxias, no primeiro bilhão de anos do Universo.



Figura 1. Para formar um buraco negro (*black hole* – BH) é preciso acumular uma massa M dentro do seu Raio de Schwarzschild R_s , que define o "horizonte de eventos", a partir da qual nada escapa, nem mesmo a luz (G : constante gravitacional; c : velocidade da luz). O painel da esquerda ilustra um horizonte de eventos num fundo de estrelas, mostrando que a curvatura do espaço-tempo na vizinhança do BH desvia a luz das estrelas de trás dele e o painel da direita ilustra a curvatura do espaço-tempo, que se torna infinita em um BH.

(Fonte: NASA/ESA Coe, Anderson & van der Marel e "Physics Club", Facebook)

Buracos Negros Supermassivos (SMBHs)

Quasars

A existência de SMBHs no Universo começou a ganhar apoio quando os astrofísicos descobriram os *quasars* (do inglês *Quasi-Stellar Radio Sources*). Primeiramente observados na década de 1950 em levantamentos do céu em radiofrequência, receberam esse nome porque, nos telescópios óticos, tinham aparência estelar. Em 1963, Maarten Schmidt descobriu, no espectro ótico, linhas de emissão de Hidrogênio com um alto *redshift*, que coloca estes objetos a distâncias muito grandes. A partir do brilho aparente e da distância, concluiu-se que a luminosidade dos *quasars* chegava a ~100 vezes a da Via Láctea!

Fonte de energia dos quasars

Além de serem os objetos mais luminosos do Universo, os *quasars* apresentam variabilidade, revelando que sua radiação provém de uma região do tamanho aproximado do Sistema Solar (dias a semanas-luz). Como uma região tão pequena pode gerar potência 100 vezes maior do que de todas suas estrelas?

A conclusão foi de que há outra fonte de energia, mais eficiente do que a nuclear (que é a fonte de energia do Sol e demais estrelas) no centro das galáxias: a captura de matéria por um SMBH. A energia potencial gravitacional da captura de matéria se transforma em energia radiativa e

cinética de ventos e jatos.

Podemos fazer uma analogia com uma Hidroelétrica: a queda da água (energia gravitacional) move uma turbina que alimenta um gerador de energia elétrica. A diferença é que a queda num SMBH é muito maior: podemos dizer que seu poço de potencial gravitacional é o mais profundo que existe! E quanto maior a taxa de matéria que cai no SMBH, maior é a taxa de energia liberada.

Hoje sabemos que os *quasars* são núcleos de galáxias distantes que abrigam um SMBH no seu núcleo capturando matéria a uma taxa muito alta. Observações com o Telescópio Hubble na década de 1990, com qualidade de imagem ~400 vezes melhor que dos telescópios terrestres, permitiram observar a galáxia no entorno do *quasar*. As mais distantes dessas galáxias se formaram no primeiro bilhão de anos do Universo (que tem hoje 13,7 bilhões de anos), o que indica que os SMBHs se formaram nesta época, junto com as galáxias.

O disco de acreção

O SMBH não emite radiação (a menos da radiação de Hawking, desprezível para BHs estelares e supermassivos). Então, de onde sai a luminosidade observada? Ela sai de um disco de plasma (gás totalmente ionizado) em rotação, chamado de disco de acreção. A Figura 2 mostra uma concepção artística deste disco, que se forma por conservação de momentum angular da matéria que é capturada. A viscosidade do disco produz seu aquecimento e perda do momentum angular, fazendo com que a matéria espirale para o centro até cair no SMBH. No processo, o disco se aquece e irradia, com as partes centrais emitindo raios-X e ultravioleta. Campos magnéticos são amplificados no centro do disco, colimando jatos de partículas ali gerados. Voltando à analogia com a hidroelétrica, o disco de acreção seria equivalente ao conjunto turbina + gerador da hidroelétrica.

SMBHs no núcleo de todas as galáxias massivas

Um resultado que se consolidou na década de 1990, graças ao Telescópio Espacial Hubble, é que os SMBHs encontram-se no núcleo de praticamente todas as galáxias massivas próximas com bojo estelar – a concentração central de estrelas presentes nas galáxias elípticas e espirais.

Galáxias ativas

Existem galáxias próximas com emissão nuclear semelhante à dos *quasars*, mas com luminosidade mais baixa. São as chamadas galáxias ativas, que também têm um SMBH no seu centro capturando matéria através de um disco de acreção. Diz-se que elas têm um núcleo ativo (*Active Galactic Nucleus* – AGN). Os *quasars* são também AGNs, os mais luminosos que existem. Podemos dizer que os mais distantes e luminosos eram onde os SMBHs estavam se formando, e agora “crescidos” habitam o núcleo das galáxias massivas; quando capturam matéria, “acendem” de novo seus AGNs.

O AGN

O AGN é formado pelo conjunto SMBH, disco de acreção e de nuvens circundantes que configuram a chamada região de linhas

“Os AGNs têm um papel importante na formação das estrelas de suas galáxias, ou seja, as galáxias seriam bem diferentes, possivelmente bem maiores, se não fosse o feedback de seu SMBH.”

largas (*Broad Line Region* - BLR). Mais para fora, à medida que a temperatura diminui, temos nuvens mais frias, com gás molecular ou poeira, na forma de um toroide que circunda o disco e a BLR. Parte das nuvens da BLR alimenta o disco de acreção e parte delas são ejetadas por ventos resultantes de instabilidades no ou da sua pressão de radiação. Jatos de partículas relativísticas também podem surgir a partir da concentração de campos magnéticos na parte central do disco.

Observando a alimentação de um Buraco Negro Supermassivo

Discos de Acreção e seu entorno

Os discos de acreção têm dimensões típicas de dias-luz. São formados por plasma – gás completamente ionizado, com temperatura central entre 100.000 K e 1.000.000 K, que decresce a 10.000 K na sua borda exterior. A essa temperatura, começa a haver recombinação de átomos de Hidrogênio na borda do disco e ali começa a BLR. As nuvens da BLR orbitam o SMBH a velocidades de milhares de km/s e emitem linhas espectrais, de Hidrogênio, Hélio e outros elementos.

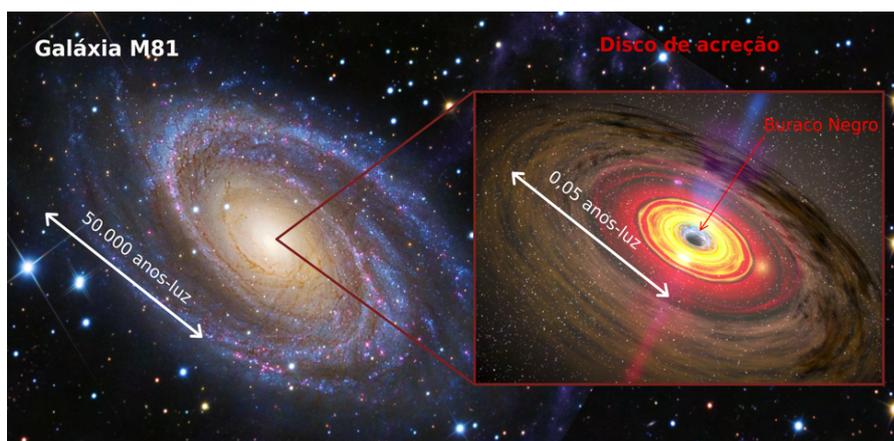


Figura 2. A galáxia M81, que tem ~100 bilhões de estrelas, e raio de ~ 50 mil anos-luz, tem um BNS no seu centro com massa de 100 milhões de massas solares. O disco de acreção (concepção artística) tem raio da ordem de 0,05 anos-luz.
(Reprodução)

A razão entre o raio de uma galáxia e o do disco de acreção é da ordem de 1.000.000, como ilustrado na Figura 2. Como estes discos estão muito distantes, no centro das galáxias, não é possível resolvê-los espacialmente (ou seja, obter uma imagem como a da Figura 2) para a maioria das galáxias.

Primeiras imagens de discos de acreção

Em 2019 foi divulgada a primeira imagem da parte interna do disco de acreção da galáxia elíptica M87 contendo a sombra do horizonte de eventos (HE), através do *Event Horizon Telescope* (EHT): oito rádio-observatórios observando na faixa milimétrica do espectro eletromagnético, através da técnica de interferometria intercontinental, simulando abertura do tamanho da Terra. Isso foi necessário para resolver o diâmetro angular do HE, equivalente a observar uma laranja na Lua! Em maio de 2022, o EHT divulgou a segunda imagem de um HE: o de Sgr A*, o SMBH da nossa galáxia, a Via Láctea (figura de capa), ~1500 vezes menor que o de M87, mas com um tamanho angular no céu semelhante, pois está ~2000 vezes mais próximo.

Minha descoberta!

Nas demais galáxias, com os recursos instrumentais atuais, observamos o disco de acreção, bem como a BLR, como um “ponto” no centro da galáxia. Mas podemos observar seu espectro: a radiação emitida em função do comprimento de onda, ilustrado na Figura 3 para a galáxia NGC1097. Ao observar seu núcleo, descobri uma estrutura

inesperada no perfil da linha $H\alpha$, emitida pelo átomo de Hidrogênio quando ele é ionizado. A base da linha tem perfil largo com dois picos, um desviado para o azul (em relação ao centro da linha) e outro desviado para o vermelho. Modelos teóricos mostram que ele é gerado num anel de gás que circunda o disco de acreção, na parte mais interna da BLR, com velocidades >5.000 km/s. Como o disco está inclinado em relação ao plano do céu, através do efeito Doppler da luz, observamos a radiação do lado que se aproxima desviada para o azul, e a do lado que se afasta, desviada para o vermelho, e por isto aparecem os dois picos. Após a descoberta, observamos que sua emissão varia devido à variação da fonte de iluminação, a parte mais interna do disco. Depois demonstramos que este anel apresenta instabilidades na forma de braços espirais e parece estar presente na maioria dos Núcleos Ativos.^[3]

Abastecendo o Disco de Acreção

Durante as duas últimas décadas, através da colaboração AGNIFS - AGN *Integral Field Spectroscopy* (IFS, em português, Espectroscopia de Campo Integral), envolvendo pesquisadores do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IF-UFRGS) e do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), estudamos como o gás chega até a região central para alimentar o disco de acreção em galáxias ativas próximas. A IFS permite mapear tanto a distribuição espacial do gás como também o seu movimento. A Figura 4 mostra isso nos ~ 2000 anos-luz centrais da galáxia ativa NGC7213: as estrelas estão em rotação, com uma amplitude da sua velocidade de 50 km/s, enquanto o gás, também em rotação, tem uma velocidade bem mais alta, de 200 km/s, num padrão "distorcido", que parece se correlacionar com a distribuição de gás e poeira revelada no painel da direita da Figura 4. Como a galáxia está inclinada em relação a nós, com o lado noroeste mais próximo, o afastamento no lado próximo e aproximação no lado distante podem ser interpretados como movimento do gás para o centro da galáxia através de braços espirais nucleares, ou *inflows*. Estes braços devem alimentar o disco de acreção que por sua vez alimenta o BNS. Resultados semelhantes têm sido encontrados para outras galáxias ativas.

Em Storchi-Bergmann & Schnorr-Müller (2019),^[5] fizemos um compilado destes *inflows* nos ~ 2000 anos-luz

centrais para várias galáxias ativas, onde também discutimos como o gás chega a esta região. Além dos movimentos internos do gás dentro das galáxias ativas, essa compilação e trabalhos nossos posteriores mostram que o gás que alimenta o AGN se origina de interações com galáxias vizinhas, como acontece com o quasar da Figura 5.

E as estrelas?

Nosso grupo AGNIFS tem também estudado a população de estrelas na região central das galáxias ativas. Encontramos um excesso de estrelas jovens no entorno dos AGNs mais luminosos, o que interpretamos como sendo

“Nosso SMBH deve ter tido um papel importante no passado, quando era mais ativo, influenciando inclusive o nosso destino: se a nossa galáxia fosse maior e mais massiva, talvez nem houvesse as condições propícias para o surgimento do Sol aqui no nosso cantinho.”

porque o AGN precisa de gás para se alimentar e este gás, ao se deslocar em direção ao centro, existindo em quantidade necessária forma estrelas no seu caminho, nas regiões circumnucleares (~1000-3000 anos-luz centrais).^[6]

A retroalimentação dos SMBHs

A radiação, ventos e jatos dos AGNs acabam por influenciar a evolução das galáxias em que estão, pois aquecem, agitam e empurram o gás ao seu redor – a partir do qual novas estrelas se formariam, impedindo que isto aconteça e, portanto, regulando o próprio crescimento da galáxia.

Gás ionizado

Nossos estudos do movimento do gás em AGNs revelam, além dos *inflows*, *outflows* (fluxos de gás para fora). É que a radiação, bem como instabilidades no disco de acreção empurram o gás circum-nuclear da galáxia e são observadas como “cones de ionização”, estruturas bipolares nas imagens que mostram a distribuição do fluxo em linhas de emissão de gás ionizado, como a do [OIII]5007A, ilustrado na Figura 5 para o *quasar* J135251.21+654113.2 (que chamaremos de J13+65). Essa

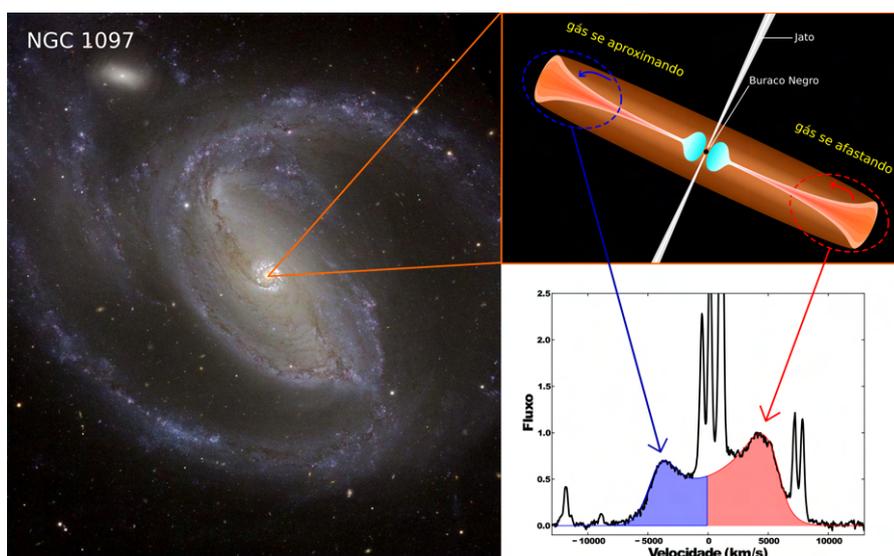


Figura 3. O núcleo da galáxia NGC1097 (imagem da esquerda) emite uma linha de emissão do hidrogênio alargada (base pintada de azul e vermelho no painel inferior direito) originada na parte externa do disco de acreção (painel superior direito), em gás girando a velocidades de ~5.000 km/s, com a parte pintada de azul emitida por gás se aproximando de nós e a pintada em vermelho por gás se afastando.

(Fonte: Schimoia, *et al.* 2012.^[2] Reprodução)

figura mostra imagens do Hubble: (1) do contínuo, revelando a distribuição das estrelas da galáxia hospedeira (contornos em branco); (2) em um filtro de banda estreita centrado em 5007Å que isola a emissão do gás [OIII] ionizado pela radiação do *quasar* (em laranja e violeta). Esse gás se estende para além da componente estelar da galáxia, no caso revelando o *feedback* radiativo do AGN. Além disso, em Dall'Agnol de Oliveira (2021),^[8] pudemos mapear a cinemática do gás ionizado, que revelou a presença de *outflows* coespaciais com a emissão.

A Figura 5 também mostra que, no caso do *quasar* acima, há uma forte interação com uma galáxia companheira, que deve ter sido a responsável por enviar gás para o centro e provocar o surgimento do AGN.

Gás molecular

O *feedback* do AGN não ocorre somente no gás ionizado; observações recentes no infravermelho próximo, que mapeiam o gás molecular H₂ quente (~2000K)^[9] e na faixa milimétrica do espectro, com o *Atacama Large Millimetric Array* (ALMA), que mapeiam o gás molecular frio da molécula de CO, indicador da molécula de H₂, têm revelado *outflows* também nestas fases do gás, em geral, mais massivos do que os observados no gás ionizado.

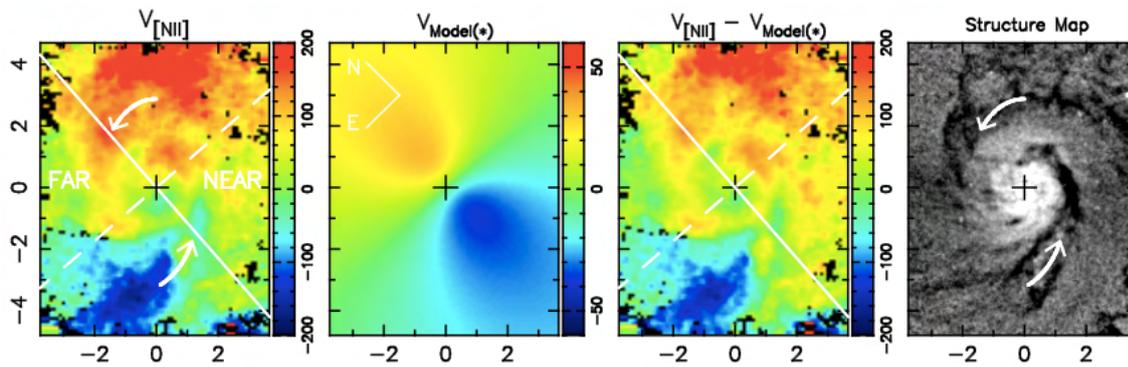


Figura 4. Mapas cinemáticos (de velocidade) dos ~2000 anos-luz centrais da galáxia ativa NGC7213, onde o vermelho mostra as velocidades de afastamento e o azul as velocidades de aproximação, e a escala está indicada à direita em km/s. Da esquerda para a direita: rotação do gás, modelo de rotação das estrelas, velocidade residual gás - modelo e mapa de estrutura, onde as flechas mostram a correspondência do movimento do gás (no painel mais da esquerda) com as espirais nucleares (no painel mais da direita). A linha branca contínua marca a intersecção do plano da galáxia com o plano do céu, FAR identifica o lado distante e NEAR o lado próximo da galáxia.

(Fonte: Schnorr-Müller *et al.* 2014.^[4] Reprodução)

Modelos de evolução do Universo

Modelos cosmológicos de evolução do Universo têm demonstrado que, sem levar em conta estes efeitos de retroalimentação da fase ativa das galáxias, as mesmas resultam muito mais massivas do que se observa hoje em dia. É, portanto, fundamental mapear e quantificar esses processos de retroalimentação como fizemos em J13+65 para fornecer vínculos para modelos de evolução das galáxias. Uma simulação recente que leva em conta a retroalimentação é a chamada "Illustris-TNG", desenvolvida por pesquisadores do [Center for Astrophysics](#), de Harvard (EUA), e seus colaboradores.

O futuro

Nosso grupo AGNIFS, numa proposta liderada por Rogemar Riffel, conseguiu tempo de observação no Telescópio Espacial James Webb (JWST), para observar a cinemática de mais uma fase do gás molecular: o H₂ "morno", que emite no infravermelho médio. Somente com o JWST está sendo possível observar diretamente *outflows* (e eventualmente *inflows*) nessa fase em alta resolução, o que será fundamental para poder avaliar o feedback dos AGNs em todas as fases do gás. Também vamos participar do *Legacy Survey of Space and Time* (LSST), que será realizado no Observatório Vera Rubin, vizinho ao Gemini Sul e SOAR no Cerro Pachón, Chile, que entrará em operação em 2024. Este projeto vai permitir o mapeamento do disco de acreção via a técnica de "[Reverberation Mapping](#)".

Sumário e Conclusões

Os SMBHs estão no centro de todas as galáxias com bojo estelar – galáxias elípticas e espirais. Nos primeiros bilhões de anos do Universo, a alta taxa de acreção de matéria aos SMBHs gerou os *quasars*, os AGNs mais luminosos que existem. No Universo atual, a maioria dos SMBHs está quiescente, sendo ativados quando capturam matéria; a galáxia fica ativa, com um AGN no seu centro. Meu trabalho e de meus colaboradores tem se concentrado nos processos de alimentação (*feeding*) e retroalimentação (*feedback*) em AGNs.

Quanto ao feeding

Em grandes escalas, a ativação do AGN parece ser devida a interações entre

galáxias: quanto mais forte a interação, mais luminoso é o AGN. Em escalas de ~2000 anos-luz, observamos escoamento do gás (velocidades de ~100-200 km/s) em estruturas espirais (taxas ~0.1-1 massa solar/ano). Também estudamos a população estelar nesta região e encontramos um excesso de estrelas jovens, que interpretamos como sendo devido ao excesso de gás na região: o mesmo gás que alimenta o AGN, no seu caminho para a região central da galáxia, dá origem a formação de novas estrelas.

Dentro dos ~3 anos-luz centrais, observamos os perfis das linhas de emissão que mostram nuvens em órbita do SMBH com velocidades de ~5000 km/s, onde em alguns casos observamos também estruturas espirais.

Quanto ao feedback

Mapeamos as ejeções de gás em grande escala a sua maioria bipolares e cônicas em gás ionizado que se estendem a mais de 10 000 anos-luz do núcleo, com velocidades de até 1000 km/s e taxas de ejeção de matéria de algumas massas solares por ano. Nos AGNs mais luminosos se estendem além dos limites da galáxia favorecendo escape da radiação de AGNs luminosos ao meio intergaláctico. Temos mapeado também o gás

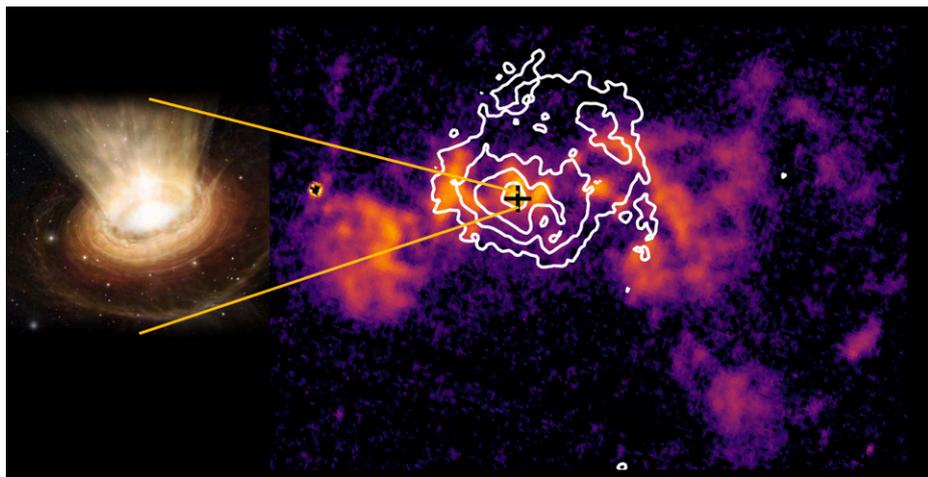


Figura 5. À esquerda vemos concepção artística de um *outflow* a partir do disco de acreção em torno do SMBH do quasar J13+65 (a 2.5 bilhões de anos-luz), não resolvido nas imagens da direita, obtidas com Telescópio Espacial (Storchi-Bergmann et al. 2018).^[7] Os contornos brancos são da imagem do contínuo, que mostra a distribuição de estrelas na galáxia hospedeira, revelando que ela está em interação com uma galáxia companheira (acima e à direita); esta interação despertou o AGN. A cruz preta mostra o centro da galáxia e as cores laranja e violeta mostram a distribuição do gás iluminado e ionizado pelo AGN (que se estende por 130 mil anos-luz), revelando seu feedback radiativo. Em Dall'Agnoil de Oliveira (2021) verificamos que parte do gás está sendo ejetado, revelando também feedback cinemático do AGN.

(Reprodução)

molecular quente (> 2000K), frio (<100K) e com o JWST vamos mapear o morno. O mapeamento dessas ejeções e a luminosidade do disco permitem calcular os efeitos de “retroalimentação” dos SMBHs, que regulam o crescimento das galáxias, fornecendo os vínculos necessários a modelos cosmológicos do Universo.

Esse *feedback* mostra que os AGNs têm um papel importante na formação das estrelas de suas galáxias, ou seja, as galáxias seriam bem diferentes, possivelmente bem maiores, se não fosse o feedback de seu SMBH. Esse *feedback* evita que a galáxia forme estrelas “demais”. O Sgr A*, nosso SMBH, deve ter tido um papel importante no passado, quando era mais ativo, influenciando inclusive o nosso destino: se a nossa galáxia fosse maior e mais massiva, talvez nem houvesse as condições propícias para o surgimento do Sol aqui no nosso cantinho, a 27 mil anos-luz do centro da Via Láctea!^[10]

Thaisa Storchi Bergmann é orientadora da Pós-Graduação do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e fundadora do grupo de pesquisa AGNIFS - AGN Integral Field Spectroscopy. É pesquisadora 1A do CNPq, membro da Academia Brasileira de Ciências ABC e da Academia Mundial de Ciências TWAS. Ganhadora do prêmio internacional L'Oreal/UNESCO Para Mulheres na Ciência (2015) e da Medalha Nacional do Mérito Científico (2018), tem participado de comitês da UNESCO de apoio à ciência. É revisora dos principais periódicos internacionais de astrofísica e tem sido membro de comitês de alocação de tempo em vários telescópios internacionais, inclusive dos telescópios espaciais Hubble e James Webb.

Referências

- [1] Storchi-Bergmann, T. 2023, "My News Explica Buracos Negros", Ed. Almedina.
- [2] Schimoia, J. S., Storchi-Bergmann, T., Nemmen, R. S., Winge, C. & Eracleous, M., 2012, ApJ, 748, 145: Short Timescale Variations of the H α Double-peaked Profile of the Nucleus of NGC 1097 (FIGURA 3)
- [3] Storchi-Bergmann, T., Schimoia, J. S., Peterson, B. M., Elvis, M., Denney, K. D., Eracleous, M., Nemmen, R. S. 2017, ApJ, 835, 236: Double-Peaked Profiles: Ubiquitous Signatures of Disks in the Broad Emission Lines of Active Galactic Nuclei
- [4] Schnorr-Müller, A., Storchi-Bergmann, T., Nagar, N. M., Ferrari, F. 2014, MNRAS, 438, 3322: Gas inflows towards the nucleus of the active galaxy NGC7213 (FIGURA 4)
- [5] Storchi-Bergmann, T. e Schnorr-Müller, A., 2019, Nature Astronomy, 3, 48: Observational constraints on the feeding of supermassive black holes
- [6] B - Riffel, R., Dahmer-Hahn, L. G., Riffel, R. A., Storchi-Bergmann, T., Dametto, N. Z., Davies, R., Burtscher, L., Bianchin, M., Ruschel-Dutra, D., Ricci, C., Rosario, D. J. 2022, MNRAS, 512, 3906: Gemini NIFS survey of feeding and feedback processes in nearby active galaxies - VI. Stellar populations
- [7] Storchi-Bergmann, T., Dall'Agnol de Oliveira, B., Longo Micchi, L. F., Schmitt, H. R., Fischer, T. C., Kraemer, S., Crenshaw, M., Maksym, P., Elvis, M., Fabbiano, G., Colina, L. 2018, ApJ, 868, 14: Bipolar Ionization Cones in the Extended Narrow-line Region of Nearby QSO2s (FIGURA 5)
- [8] Dall'Agnol de Oliveira, B., Storchi-Bergmann, T., Kraemer, S. B., Villar Martín, M., Schnorr-Müller, A., Schmitt, H. R., Ruschel-Dutra, D., Crenshaw, D. M., Fischer, T. C. 2021, MNRAS, 504, 3890: Gauging the effect of supermassive black holes feedback on quasar host galaxies
- [9] Riffel, R. A. et al. 2023, MNRAS, 521, 1832: The AGNIFS survey: spatially resolved observations of hot molecular and ionized outflows in nearby active galaxies
- [10] Storchi-Bergmann, T., Nemmen, R. S., Eracleous, M., Halpern, J. P., Wilson, A. S., Filippenko, A. V., Ruiz, M. T., Smith, R. C. & Nagar, N. 2003, ApJ, 598, 956: Evolution of the Nuclear Accretion Disk Emission in NGC 1097: Getting Closer to the Black Hole



Capa. As ciências básicas, entre elas a Matemática, são essenciais para se alcançar o desenvolvimento sustentável. (Imagem: [Appolinary Kalashnikova](#)/ Unsplash.com. Reprodução)

Como a Matemática pode ajudar a resolver os desafios globais?

A matemática desempenha um papel crucial na previsão de fenômenos e na formulação de políticas públicas diante de emergências globais

Jaqueline G. Mesquita

Resumo

A matemática desempenha um papel crucial na previsão de fenômenos e na formulação de políticas públicas diante de emergências globais. Exemplos notáveis incluem seu uso durante a pandemia da covid-19 e na investigação de mudanças climáticas. Essa importância ressalta a necessidade de um diálogo mais amplo entre áreas do conhecimento e de investimentos na qualidade da educação básica em matemática. Este artigo investiga o papel central da matemática nesse contexto, buscando promover um futuro mais sustentável para o planeta e ajudar a trazer respostas aos desafios globais das próximas décadas.

Palavras-chave: Covid-19; Mudanças Climáticas; Modelos Matemáticos

Sabemos que muitos desafios importantes para a humanidade estão por vir nos próximos anos. Enfrentamos o auge da pandemia da covid-19 nos anos de 2020 e 2021, e uma boa parte ainda em 2022, com as ondas de contágios oscilando bastante. Esse foi um período muito difícil para todas as pessoas que o vivenciaram. Muitas vidas foram perdidas, as pessoas tiveram que ficar isoladas para proteger umas às outras e o número de mortes, apesar dos esforços, foi bastante significativo, marcando um período histórico para a humanidade. Ainda não conseguimos mensurar todos os danos, perdas e nem as consequências advindas desta fase, isso tudo será apenas refletido nos anos vindouros. Porém, sabe-se que as consequências poderiam ter sido ainda mais catastróficas se não fosse a solução apresentada pelos cientistas de todo o mundo em tempo recorde trazendo uma vacina eficiente para proteger a população.

A ciência confirmou mais uma vez o seu papel fundamental, tendo sido a matemática uma das protagonistas neste desafio. Os modelos matemáticos desenvolvidos durante este período permitiram prever as diferentes ondas de contágio da covid-19, além de terem sido importantes norteadores para as tomadas de decisão dos governantes de diferentes países com relação às medidas que deveriam ser adotadas naquele momento. Além disso, cabe destacar que foi a matemática que permitiu compreender a dose que deveria ser dada em cada vacina e o melhor espaçamento entre as doses, para otimizar a aplicação e assim garantir uma maior proteção a todos.

Apesar do grande alívio de termos superado o período da emergência global da covid-19, as previsões dos cientistas para o futuro não são nada otimistas. Acredita-se que outras pandemias estão por vir, devido ao desmatamento desenfreado das nossas florestas, aos cenários de mudanças climáticas, ao aquecimento global, dentre outros fatores.

Em 2015, uma reunião com todos os estados-membros das Nações Unidas definiu a chamada *Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*, visando trazer metas importantes para serem cumpridas em prol da harmonia, paz e prosperidade do planeta Terra, no presente e no futuro. Visando isso, foram destacados 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), considerados urgentes para que todos os países, desenvolvidos e em desenvolvimento, pudessem se unir para tentar trazer

respostas rápidas nesta direção. Portanto, neste momento de desafios globais, é necessário que as diferentes áreas do conhecimento dialoguem, maximizando os esforços e as descobertas, pois a interdisciplinaridade nunca foi tão importante e necessária.

Neste cenário, uma pergunta que surge é: *“onde a matemática se encaixa em tudo isso?”*. Essa é a grande questão que queremos discutir neste artigo, bem como mostrar que a matemática será uma das protagonistas nesse cenário. Sem o desenvolvimento matemático, não

“Os modelos matemáticos desenvolvidos durante este período permitiram prever as diferentes ondas de contágio da covid-19, além de terem sido importantes norteadores para as tomadas de decisão dos governantes de diferentes países com relação às medidas que deveriam ser adotadas naquele momento.”

conseguiremos ir muito longe, pois são os modelos matemáticos que servirão de norteadores para as tomadas de decisão neste período difícil que iremos enfrentar. Apesar de todo este protagonismo da matemática, não parece tão óbvio assim para a população em geral a sua importância e o seu papel essencial na resposta às grandes questões emergentes.

A matemática, com sua linguagem própria e abstrata, pode parecer distante e sem uma aplicação imediata em nossa sociedade, o que leva muitos a questionarem sua importância nas principais descobertas da humanidade. Em uma sociedade que busca respostas rápidas e é constantemente estimulada, essa característica da matemática e das ciências básicas pode gerar certa ansiedade. No entanto, nem sempre foi assim.

Na Antiguidade, muitas perguntas fundamentais na Matemática eram feitas e o fato de não ter uma aplicação imediata não era visto como um problema, mas considerava-se importante explorar este conhecimento para a construção do todo. Um exemplo disso pode ser visto no entendimento dos números: não se enxergava uma aplicação direta em se aprofundar no estudo dos números irracionais ou no



Figura 1. O desenvolvimento das vacinas contra a covid-19 foi possível graças às pesquisas científicas básicas.

(Imagem: Pedro Vilela/ Getty Images. Reprodução)

estudo dos números complexos. Mesmo assim, era extremamente incentivado pelos pensadores daquela época. Hoje sabe-se que os números complexos possuem diversas aplicações no estudo de fluxo de fluidos que permite uma melhor compreensão do comportamento aerodinâmico em automóveis e aeronaves, bem como na mecânica quântica, investigando as propriedades dos átomos e de certas moléculas.^[1] Da mesma forma, os números irracionais têm também muitas aplicações interessantes, como é o caso do famoso número Pi, que aparece quando tentamos calcular a área do círculo, e que permitiu diversos avanços.

Ao longo do tempo, a ciência básica muitas vezes foi percebida como menos “importante” devido à ausência de respostas imediatas e aplicações diretas. No entanto, é importante destacar que avanços científicos básicos têm desempenhado papéis cruciais em situações concretas. Um exemplo é o desenvolvimento das vacinas contra a covid-19, que foi possível graças às pesquisas científicas básicas. Além disso, se você está lendo este artigo em um computador, saiba que isso só é possível devido aos avanços na área da matemática. Sem ela, nem mesmo a existência de computadores ou da internet seria possível. Esses exemplos são apenas a ponta do iceberg, pois a ciência básica tem um impacto muito mais amplo e profundo em nossa sociedade. (Figura 1)

Algo que prezamos diariamente é a nossa privacidade e isso está intimamente relacionado a garantir a segurança

dos nossos dados, desde o segredo da fechadura da porta da nossa casa até a senha do nosso cartão do banco. Para garantir a segurança desses dados, foi necessário desenvolver uma área da matemática conhecida como Criptografia, que está intimamente relacionada com a Teoria dos Números e aos chamados números primos.

Parece incrível que aquele conteúdo que você aprendeu no seu ensino médio ou fundamental possa servir para tanta coisa, mas sim. E os exemplos não param por aí. Uma simples ida ao supermercado já é suficiente para você ter que usar muito do seu conhecimento matemático. Note que desde o momento em que você entra no supermercado e precisa avaliar se você vai escolher uma cesta ou um carrinho para colocar suas compras, você já exercita o seu pensamento geométrico, depois é necessário mais matemática quando você reflete se uma certa promoção ou desconto realmente vale a pena, ainda tem o momento em que você irá pagar as suas compras, e nesse está claro a necessidade de refletir se a quantidade de dinheiro que você tem disponível será suficiente ou não para você pagar as suas compras.

Tudo isso traz apenas um pequeno esboço do quanto a matemática é importante para a nossa vida cotidiana e para realizar qualquer atividade. No entanto, neste artigo, vamos explorar como a matemática pode nos ajudar a resolver os desafios globais que enfrentamos atualmente e que continuaremos a enfrentar nas próximas décadas. Essa é uma pergunta crucial não apenas neste artigo, mas também durante todo o ano de 2023, cuja temática instituída pela Organização das Nações Unidas (ONU) e pela Unesco foi *"Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável"*. Nesse contexto mais amplo, buscamos compreender o papel da matemática na abordagem desses desafios e na construção de um futuro mais sustentável.

Em 2022, um estudo pioneiro intitulado *"Mathematics for Action: Supporting Science-Based Decision-Making"*,^[2] publicado pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura), lançou um alerta sobre a importância da matemática no cenário atual em que buscamos o desenvolvimento sustentável e nos esforçamos para alcançar os objetivos da Agenda 2030. Este estudo, que contou com a colaboração de diversos especialistas, ressaltou o papel fundamental da matemática na resolução dos desafios globais que enfrentamos e destacou a

necessidade de incluir matemáticos nas equipes de tomada de decisão governamentais. O documento reforçou o protagonismo da matemática como uma ferramenta essencial para enfrentar os problemas complexos do mundo atual.

O estudo ressalta a importância do acesso à água potável confiável e segura, fundamental para garantir a saúde, a agricultura, o saneamento básico e a higiene. A Organização Mundial da Saúde (OMS) desempenha um papel crucial na promoção da segurança da água, estabelecendo diretrizes de qualidade com base na identificação e gerenciamento de riscos em todas as etapas, desde a captação até o consumo. Nesse processo complexo, por meio do

"Ferramentas, métodos e teorias matemáticas estão desempenhando um papel fundamental ao ajudar os cientistas a compreender como as influências naturais e artificiais afetam o clima da Terra e a propor medidas eficazes para o futuro."

Teorema de Bayes, a matemática permite a quantificação de riscos e a identificação de opções adequadas para a gestão do abastecimento e da qualidade da água. A aplicação desse teorema possibilita uma abordagem embasada e precisa na avaliação e no controle dos riscos relacionados à água, contribuindo para a tomada de decisões informadas e eficazes nesse importante aspecto da vida humana. (Figura 2)

Além disso, abordagens baseadas no Teorema de Bayes podem fornecer estimativas de probabilidade diante da incerteza, apoiando decisões mais bem informadas no governo e nas políticas públicas. Esses métodos não se limitam apenas ao estudo da água, mas são amplamente utilizados em diversas áreas do conhecimento, como medicina, biologia, direito, ecologia, dentre outros.

Outra preocupação que se destaca como um dos grandes desafios globais atuais é a questão dos ecossistemas. Nas últimas décadas, a atividade humana tem modificado de maneira significativa os ecossistemas para atender às crescentes demandas por alimentos, fibras e combustíveis. Embora os custos totais da perda e



Figura 2. A matemática permite a quantificação de riscos e a identificação de opções adequadas para a gestão do abastecimento e da qualidade da água.
(Imagem: Arquivo/ Agência Brasil. Reprodução)

degradação dos ecossistemas sejam difíceis de mensurar, eles são provavelmente substanciais e crescentes.

Para reverter essa perda e mitigar as consequências da degradação, é necessário que as motivações de desenvolvimento econômico dos formuladores de políticas incluam um objetivo de conservação, que deve ser incorporado em todas as tomadas de decisão. Nesse contexto, a matemática desempenha um papel fundamental, atuando como protagonista ao orientar essas decisões. As ferramentas matemáticas permitem projetar e aprimorar instrumentos para medir e quantificar os serviços ecossistêmicos, explorar cenários hipotéticos e fornecer conhecimento e informações alinhados com os objetivos do desenvolvimento sustentável.

As mudanças climáticas causadas pela atividade humana têm provocado transformações rápidas, dramáticas e sem precedentes em nosso planeta. Nenhum país ou cidade está imune aos impactos dessas mudanças no clima, na saúde humana e na sociedade como um todo. No entanto, países com menor poder econômico possuem uma capacidade limitada de se adaptar a esses impactos e responder aos danos causados. Apesar desse cenário desafiador, ferramentas, métodos e teorias matemáticas estão desempenhando um papel fundamental ao ajudar os cientistas a compreender como as influências naturais e artificiais afetam o clima da Terra e a propor medidas eficazes para o futuro.

Um exemplo notável é o uso de modelos matemáticos de balanço de energia para estimar a temperatura da

superfície terrestre com base nas mudanças na quantidade de energia que entra e sai do sistema climático.^[3, 4] Esses modelos permitem que os cientistas testem como a temperatura da superfície terrestre responde a mudanças hipotéticas, sejam elas de origem natural ou causadas pela atividade humana. Essa capacidade de previsão é de extrema importância, pois o aumento da temperatura pode acelerar o derretimento das geleiras e o consequente aumento do nível do mar, colocando em risco cidades e até mesmo países inteiros. Além disso, o aquecimento global desenfreado também aumenta o risco de surgimento de novas epidemias. Portanto, a precisão dos modelos matemáticos que descrevem esse cenário é fundamental, exigindo o desenvolvimento contínuo de técnicas avançadas de matemática.

Outra complexidade que impulsiona o rápido desenvolvimento da matemática está na modelagem do sistema climático terrestre. Esse sistema não pode ser simplesmente analisado como um conjunto de partes isoladas, mas sim como um sistema global de interações complexas entre seus componentes. Essa abordagem torna a modelagem mais desafiadora, pois requer a consideração de todos os impactos das diversas variáveis presentes no sistema.

Diante desses desafios, a matemática desempenha um papel crucial ao fornecer ferramentas e técnicas avançadas para melhorar nossa compreensão do clima, prever seus efeitos e propor estratégias eficazes para lidar com as mudanças climáticas. O desenvolvimento contínuo da matemática nessa área é essencial para enfrentarmos os desafios globais do clima e garantir um futuro sustentável para as gerações futuras.

Por exemplo, ao introduzir variáveis adicionais em modelos matemáticos descritos por equações diferenciais, como os "retardos", é possível obter resultados mais precisos. Essa abordagem permite descrever com maior exatidão fenômenos que não ocorrem instantaneamente, mas possuem um intervalo de tempo entre a causa e o efeito. No entanto, a inclusão desses "retardos" na equação modifica significativamente o comportamento da solução e requer o uso de técnicas matemáticas avançadas para lidar com o novo modelo.

Outro aspecto importante que pode ser adicionado às equações para aumentar a precisão são os "operadores de

impulsos". Embora do ponto de vista matemático sejam considerados descontinuidades na equação, eles são usados para descrever mudanças abruptas que ocorrem no estado de um determinado sistema, como terremotos, furacões e outros eventos naturais.

Além disso, os modelos climáticos utilizam expressões matemáticas para simular a interação de energia e matéria nos diferentes componentes do sistema climático terrestre: atmosfera, oceanos, biosfera e regiões terrestres e cobertas de gelo. Isso torna os modelos ainda mais complexos.^[4, 5, 6] A matemática pode oferecer desde modelos simples até modelos avançados de sistemas terrestres, que requerem o uso de supercomputadores para sua execução, dependendo do objetivo do estudo.

Como consequência, os cientistas utilizam os resultados desses modelos para projetar as condições

"Precisamos trazer uma alfabetização matemática para as pessoas, motivá-las e mostrar a beleza e a importância da matemática para a sua qualidade de vida."

climáticas futuras em diferentes cenários, fornecendo informações robustas aos governos e formuladores de políticas para avaliar e implementar estratégias de mitigação e adaptação. Com cada vez mais detalhes e precisão, os resultados dos modelos fornecem subsídios para tomadas de decisões relevantes em políticas específicas para cada região. Essas informações permitem que os países ampliem e acelerem suas atividades de adaptação e redução do risco de desastres.

A previsão antecipada e precisa dos ciclones tropicais é de extrema importância para salvar vidas e reduzir danos. Embora os avanços nos modelos matemáticos e na coleta de dados em tempo real tenham melhorado a previsão da trajetória desses fenômenos devastadores, a previsão de sua intensidade ainda é um desafio significativo. No entanto, a compreensão matemática dos complexos mecanismos físicos envolvidos pode desempenhar um papel crucial na melhoria das previsões em tempo real, permitindo medidas preventivas e ações de mitigação mais eficazes. A matemática desempenha um papel fundamental na prevenção de catástrofes relacionadas a ciclones

tropicais, capacitando-nos a antecipar e responder com maior precisão a esses eventos destrutivos.

Outra pergunta que ainda se mantém em aberto e precisa de maior desenvolvimento matemático e de ferramentas computacionais está relacionada às previsões dos terremotos. Apesar de todo o avanço feito nas últimas décadas, ainda não conseguimos prever quando acontecerá um terremoto com uma boa antecedência para se evitar mortes, tragédia e outros danos.

É importante nos atentarmos que não podemos apenas pensar na matemática de ponta, feita pelos cientistas nas universidades, nos seus laboratórios e em empresas, mas também, na base e na formação da nossa população como um todo. Precisamos trazer uma alfabetização matemática para as pessoas, motivá-las e mostrar a beleza e a importância da matemática para a sua qualidade de vida. Existe muito estereótipo por trás desta disciplina, que é muito danoso e que acaba afastando a nossa população do interesse na matemática.

Em 2010, a agência de pesquisa britânica *Engineering and Physical Sciences Research Council* (EPSRC) revelou que a matemática é responsável por 16% da economia do Reino Unido, um dado impressionante. Estudos semelhantes na França, Holanda e Austrália também destacaram o papel central da matemática em suas economias.^[6]

Portanto, se realmente desejamos enfrentar os desafios globais, não devemos apenas focar na pesquisa avançada, mas fundamentalmente na educação básica em matemática. É crucial proporcionar uma formação de qualidade desde cedo, despertando o interesse dos jovens por essa disciplina.

Embora já tenhamos progredido bastante, ainda há um longo caminho pela frente. A matemática tem muito a nos oferecer, e isso pode ser alcançado de maneira mais eficaz se houver um diálogo mais estreito entre ela e outras áreas da ciência, e vice-versa. A matemática já está presente em nosso cotidiano e em tudo que fazemos, mesmo que nem sempre percebamos, afinal, *ela está em tudo*.

Jaqueline G. Mesquita é professora do Departamento de Matemática da Universidade de Brasília (UnB) e vice-presidente da Sociedade Brasileira de Matemática (SBM). Integra o comitê executivo da The World Academy of Sciences (TWAS) Young Affiliate Network e é embaixadora do Committee for Women in Mathematics da International Mathematics Union (IMU). Foi a ganhadora pela América do Sul, Central e Região do Caribe do "Science, She Says!" Award, concedido pelo Ministério das Relações Exteriores e Cooperação Internacional italiano (2023), e vencedora na categoria de matemática do prêmio "Para Mulheres na Ciência" concedido pela L'Oreal-UNESCO-ABC (2019).

Referências

- [1] de Souza, Aguinaldo Robinson e Marques, Emília de Mendonça Rosa, O que é, o que é? Revista FAPESP, Edição 190, 2011.
- [2] Viana, Marcelo, Matemática contribui com 18% do PIB da França, Folha de São Paulo, 2022.
- [3] Kaper, H. and Engler, H. 2013. Mathematics and Climate. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), Philadelphia.
- [4] UNESCO (Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura), Mathematics for Action: Supporting Science-Based Decision-Making, 2022.
- [5] Cullen, M. 2021. The mathematics of large-scale atmosphere and ocean, Singapore, World Scientific Press.
- [6] Cullen, M., Gangbo, W. and Sedjro, M. 2015. A mathematically rigorous analysis of forced axisymmetric flows in the atmosphere. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol. 141, No. 690, pp. 1836-1844.



Capa. Diálogo entre conhecimentos tradicionais e acadêmicos é fundamental para a preservação do meio ambiente e para o desenvolvimento sustentável

(Imagem: Conservação Internacional. Reprodução)

Os sinais da Terra e as mudanças climáticas

Uma aliança possível entre a antropologia e os conhecimentos tradicionais frente à crise climática e ambiental

Suzane de Alencar Vieira

Resumo

Em um contexto de mobilização pelo realinhamento sustentável do capitalismo, as ciências são convocadas para a cena pública para elucidar as transformações ecológicas e climáticas que ameaçam não apenas o modo de vida moderno-ocidental como também a continuidade das condições de vida dos seres vivos, dentre eles, os humanos. As discussões sobre o Antropoceno, contudo, tendem a apagar não somente a história colonial como também a potência dos saberes dos povos não ocidentais sobre o meio ambiente. A antropologia contribui, na discussão sobre sustentabilidade, com problematizações sobre hierarquias e desigualdades sociais, raciais, econômicas e políticas, como também sobre a hierarquia de saberes ordenada pelas ciências modernas que impede o pleno reconhecimento de práticas de conhecimentos e pensamento éticos ecológicos dos povos tradicionais. A antropologia se posiciona em uma relação constitutiva com os conhecimentos que, ao longo da história colonial, foram desqualificados como crenças e representações, e, assim, busca se tornar capaz de aprender com esses saberes subjugados e aliar-se a eles. Nesse sentido, o

objetivo deste artigo é abordar, a partir da antropologia, a questão da objetividade dos conhecimentos tradicionais sobre meio ambiente a partir de catástrofes e mudanças climáticas elucidadas por tecnologias de visualização tradicionais.

Palavras-chave: Conhecimentos tradicionais; Desastres ambientais; Antropoceno; Desenvolvimento sustentável; Antropologia da ciência.

Introdução

A antropologia não é orgulhosa de sua cientificidade como a física, a química, a biologia e outras ciências. É uma disciplina que mantém sempre viva sua capacidade de hesitar, inclusive, sobre seu próprio estatuto de “ciência”. A antropologia se posiciona em uma relação constitutiva com os conhecimentos que, ao longo da história colonial, foram desqualificados como crenças e representações, e, assim, busca se tornar capaz de aprender com esses saberes subjugados e aliar-se a eles.

Podemos dizer que a antropologia é fruto de dois acontecimentos: da divisão ontológica e epistemológica entre Natureza e Cultura que rege as ciências modernas e da invenção do método etnográfico que concedeu à antropologia o reconhecimento como ciência singular, ao mesmo tempo em que ofereceu um desvio em relação às ciências modernas e uma abertura para compor com outros planos de conhecimento e meios de pensamento não científicos.

As ciências estiveram no horizonte da disciplina, em grande medida, como um plano comparativo pressuposto na divisão natureza e cultura e como contraponto nem sempre explícito das abordagens sobre práticas de conhecimento não ocidentais. Os estudos antropológicos das práticas científicas propriamente ditas se organizaram, no final dos anos 1980, como uma área específica.

A antropologia da ciência e da tecnologia proposta por Bruno Latour (1994)^[1] despontou no campo da disciplina e, no Brasil, encontrou na etnologia indígena e nos estudos de religião de matriz africana um terreno fértil para desenvolver a proposta de simetrização de saberes científicos e não científicos ^[2] e participar de questões centrais da vida coletiva que estavam, até então, no domínio das especialidades das ciências biológicas e exatas, como, por exemplo, as mudanças climáticas.

No Brasil, a Reunião de Antropologia da Ciência e da Tecnologia (REACT), que acontece desde 2007, estica e

tensiona o fio das ciências para envolver os conhecimentos tradicionais e deslocar a hierarquia de conhecimentos que reputa alguns conhecimentos como científicos e outros como tradicionais. Esse plano das ciências e das tecnologias, na antropologia, é também um campo de disputas em torno da inteligibilidade dos fenômenos naturais e, em específico, das catástrofes ecológicas em curso.

Na urgência de enfrentar as mudanças climáticas, a aliança com os povos tradicionais é estratégica para fecundar o pensamento científico com

“Na urgência de enfrentar as mudanças climáticas, a aliança com os povos tradicionais é estratégica para fecundar o pensamento científico com outra ética, sensibilidade e atitude diante da Terra.”

outra ética, sensibilidade e atitude diante da Terra. Essa aliança é decisiva para a produção de conhecimentos ambientais mais plurais e para desencantar o torpor político diante da urgência de reagir a catástrofes climáticas. Como a pesquisa antropológica pode se posicionar nesse debate atual do “desenvolvimento sustentável” estruturado por proposições científicas? O que a antropologia tem a dizer? Que alianças podemos fazer com os conhecimentos tradicionais e outros conhecimentos não científicos?

Ao aceitar o convite dos editores da revista [Ciência & Cultura](#) para contribuir com o tema “Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável” a partir da antropologia, gostaria de defender a necessidade vital de aprender com os conhecimentos ecológicos tradicionais e de incluir na mesa de debates quilombolas, indígenas, agricultores familiares, pescadores e marisqueiros/as artesanais que resistem desde o início da colonização a violências e catástrofes. Esses são povos que nunca perderam o elo de respeito e responsabilidade com a terra. A presente mobilização do ano internacional da sustentabilidade, o ano de 2023, traz consigo o impulso



Figura 1. É preciso aprender com os conhecimentos ecológicos tradicionais de quilombolas, indígenas, agricultores familiares, pescadores e marisqueiros/as artesanais.

(Imagem: Janine Moraes/ MinC. Reprodução)

de um realinhamento possível do modo de viver sobre a Terra. Para isso, é fundamental escutar as narrativas climáticas de moradores de assentamentos informais que se equilibram em áreas de risco e em empregos precários, das vítimas da mineração, dos contaminados por defensivos agrícolas e pela radioatividade e dos coletivos que vivenciam, no seu dia a dia, a destruição dos projetos de desenvolvimento, dos garimpos e dos desmatamentos. (Figura 1)

A antropologia se desloca por múltiplos quadros de referência, desde conhecimentos tradicionais a conhecimentos científicos, para pensar a crise ecológica que ameaça a vida na Terra. Além do alerta formulado por cientistas, que ganhou mais força a partir da tese do Antropoceno, há também alertas de catástrofes ecológicas enunciados por povos tradicionais.^[3]

O Antropoceno mobiliza um movimento científico importante de alertas ecológicos que ressoam sobre o alinhamento sustentável do desenvolvimento econômico, social e político. Mas corre o risco de se transformar em uma conversa em que somente os especialistas falam e a narrativa científica se tornar uma história total que unifica,^[4] lamina e imobiliza a heterogênesse dos conhecimentos ambientais de coletivos capazes de práticas ecologicamente mais sustentáveis e éticas. Os conhecimentos tradicionais se mostram importantes não apenas para conhecer outros

diagnósticos do Antropoceno, mas para nos equipar com e experimentar outras formas de conhecer as alterações ecológicas e atmosféricas.

É por isso que, para abordar as mudanças climáticas e a reorientação da sustentabilidade do futuro energético do planeta, busco fazer ressoar, neste artigo, o alerta de terremotos na Indonésia e no Peru e o alerta de desertificação de quilombolas e sertanejos sobre as mudanças nos fluxos das águas e nos regimes de chuva no semiárido baiano.

Sinais da Terra

Alguns povos, na África, Ásia e na América Latina, identificam a ocorrência de terremotos observando o comportamento dos animais. Os animais e as pessoas sentem nos seus corpos sinais de iminência de terremotos. Mas esse saber corporificado e reputado como tradicional levou muitos anos para chamar a atenção dos cientistas enquanto um sistema de alerta de terremotos.

Há quase 20 anos, no dia 26 de dezembro de 2004, uma grande catástrofe assolou doze países asiáticos e com maior intensidade a costa da Indonésia. Um terremoto de 9,1 graus na escala Richter provocou um tsunami que matou quase 227 mil pessoas. Os sensores marítimos e as estações sísmicas não identificaram a iminência do terremoto e da tsunami com antecedência suficiente para alertar a população costeira. Os animais ficaram muito inquietos, assim como algumas pessoas.^[5]

Algumas horas antes do tsunami, elefantes deslocaram-se em direção às montanhas. Aquelas pessoas atentas aos sinais dos animais acompanharam a debandada dos elefantes. Elas também se acomodaram em terrenos mais altos e, por isso, sobreviveram àquela catástrofe. Antes desse evento no qual todo conjunto tecnocientífico falhou em sua previsão, essa sutil tecnologia tradicional de reconhecimento de sinais tectônicos parecia pouco inteligível aos olhos dos cientistas ocidentais.

No ano de 2011, um terremoto de grau 7 abalou a região central do Peru. As câmeras instaladas no parque Nacional Yanachaga-Chemillén captaram alterações no comportamento de diferentes animais como aves e mamíferos. Os animais começaram a ficar agitados e a se deslocar de uma porção a outra da reserva ecológica mais de vinte dias antes da ocorrência desse terremoto.

A partir dessas catástrofes, uma série de estudos e pesquisas começou a ser desenvolvida para entender como o comportamento de alguns animais poderia ser apreendido como bioindicadores de desastres. O deslocamento de manadas de elefante na Indonésia, a agitação de macacos, a migração de aves e mamíferos nas florestas do Peru antes da ocorrência de grandes terremotos passaram a ser observados por cientistas. Os biólogos e físicos Grant, Raulin e Freund (2015)^[6] atribuíram essa mudança de comportamento à concentração de íons na atmosfera. A hipótese levantada foi de que o movimento das placas tectônicas liberaria uma grande quantidade de íons

“Para ligar a rede insaciável da produção energética, muitas chamas de outros mundos possíveis são apagadas, muitas alternativas e modos de viver tradicionais ambientalmente sustentáveis são desligados.”

positivos que se acumulariam na superfície, provocando nos animais maior produção de serotonina. Os humanos também sentem e reagem a essa concentração de íons positivos.

Os estudos de Caitlin E. O'Connell-Rodwell (2007)^[7] percorrem outra linha de investigação ao abordar a comunicação entre os elefantes por vibrações no solo. Os elefantes reconhecem bramidos por meio de vibrações na superfície. A frequência de um dos seus bramidos seria a mesma frequência dos terremotos e, por esse motivo, essas ocorrências seriam melhor captadas por eles.

Estamos diante de dois sistemas de alerta: um modo de composição ecológica na qual os animais são mediadores de sinais e outra composição ecológica na qual aparelhos como sismógrafos são construídos para detectar abalos sísmicos. Na ocorrência da catástrofe, o primeiro dos sistemas foi mais eficaz do que o segundo. A associação entre sinais dos animais e sinais de fenômenos tectônicos era considerada uma anedota ou crendice. Os sinais dos animais passaram a ser considerados como verdadeiros por ocidentais depois de grandes catástrofes. A antropologia, por sua vez, frequentemente busca



Figura 2. Comunidades quilombolas de Caetité, no Alto Sertão da Bahia, usam o canto do pássaro co , também conhecido como acau , como um sinal de que o tempo (meteorológico) está prestes a mudar.
(Imagem: [Na Roça com Lucinha](#). Reprodu o)

acompanhar saberes locais e levar a sério a leitura dos sinais da natureza.

Sinais dos tempos

Ao longo de onze anos de diálogo e pesquisa etnográfica com comunidades quilombolas de Caetité, no Alto Sertão da Bahia, aprendi a olhar com mais aten o para os sinais de animais e plantas para entender os fenômenos atmosféricos. Os quilombolas me ensinaram a reconhecer no canto do pássaro co , também conhecido como acau , um sinal de que o tempo (meteorológico) está prestes a mudar. Se, quando estávamos lavando roupas na fonte, ouvimos a co  cantar, apressamo-nos em recolher as roupas da cerca, porque aquele canto   sinal de que pode estar a caminho uma forte ventania. (Figura 2)

A interpreta o de rastros e sinais foi, muitas vezes, tratado por folcloristas como traços de um sertão exótico. Entretanto, na perspectiva de uma etnografia dos conhecimentos que busquei desenvolver, esse reconhecimento de sinais figura como tecnologias de visualiza o manejadas por camponeses e quilombolas em intera o com o clima semiárido. Em minhas pesquisas, essa leitura de sinais se dispõe como práticas de adivinha o e como visões divinat rias que se diferenciam da previsão científica e se aproximam dos oráculos, como abordei em outro momento.^[8, 9]

Observar rastros e sinais caracteriza uma forma de inquirir o mundo, um modo de conhecer eventos ou

fenômenos ambientais. Ano após ano, agricultores do Quilombo de Malhada, localizado em Caetité (BA), observam que o sol está mais baixo e, por isso, a *quentura* persiste bloqueando as transformações do “astro do tempo”, plano celeste que corresponderia ao que comumente se designa como “atmosfera”. Notam que, desde o início dos anos 2000, o *astro do tempo* vem dando sinais de colapso e as variações entre tempos de seca e tempos das águas estão cada vez mais inconstantes. Esses sinais são enunciados como alertas de uma alteração ecológica profunda nos ciclos das plantas e no regime de chuvas da região.^[8]

A história dessas comunidades quilombolas de Caetité envolve mais de dois séculos de resistência a catástrofes e violências da colonização, dos tempos de seca e fome, da escravidão e do *cativeiro*. Na última década, os quilombolas vêm lutando contra um projeto de parque eólico no seu território e contra os efeitos da mina de urânio radioativo instalada na sua vizinhança.

Os rastros da atividade da mineração de urânio radioativo nos gases tóxicos e na contaminação das águas são percebidos como sinais de uma mudança ecológica que afeta a atmosfera, os ventos, o solo, as plantas e os corpos das pessoas e dos animais, reduzindo suas potencialidades produtivas. A instalação das empresas de exploração mineral e energética nas imediações das comunidades não representou somente a apropriação da terra ou da água, mas uma sensível alteração nas próprias condições de possibilidade de criar a vida ali. É a partir das alterações na criação de gente, de plantas e animais que os quilombolas formulam questões sobre o problema da crise ecológica.

Os agricultores *assuntam* que as explosões e as atividades de extração de rocha subterrânea da mina de urânio radioativo estão desencantando a mãe d’água e alertam para a mudança na configuração dos fluxos de água subterrâneos. Várias fontes de água se esgotaram e o abastecimento de água depende atualmente da captação de água das chuvas por cisternas acopladas aos telhados das casas.

As observações de camponeses e quilombolas emitem um alerta especialmente preocupante em uma região em risco de desertificação, conforme relatórios do IPCC (*The Intergovernmental Panel on Climate Change*) sobre o semiárido brasileiro. Embora o AR6, último relatório do IPCC,^[10] reconheça a liderança das comunidades

tradicionais na luta pela preservação do meio ambiente, as comunidades tradicionais estão presentes no relatório na caracterização de grupos vulneráveis e não como detentores de conhecimentos e éticas ecológicas pertinentes.

Esses conhecimentos ecológicos se fundam em uma objetividade corporificada e situada nos territórios contaminados, esgotados e desvitalizados da mineração. Esses saberes calibrados por essa objetividade enuncia

“As comunidades tradicionais oferecem uma importante contribuição para a discussão sobre desenvolvimento sustentável quando nos ajudam a reconhecer em “atividades produtivas” a monocultura, produção de energia “limpa” e mineração, violências e formas extrativas que reverberam no plano das relações sociais, ecológicas e subjetivas.”

outras mediações multiespecíficas para se acercar das mudanças ecológicas e climáticas.

Ali nas serras de Caetité, entre comunidades camponesas e quilombolas, descortinam-se as tensões sobre a matriz energética do país e os limites do desenvolvimento sustentável. A

insustentabilidade da matriz energética nuclear é documentada por várias denúncias sobre a contaminação das águas de Caetité pela mineração de urânio que marca o início do ciclo do combustível nuclear no Brasil. Mas outra fonte de energia renovável ali instalada, a energia eólica tão valorizada pelo desenvolvimento sustentável, também representa uma ameaça ao modo de vida quilombola. A fonte alternativa de energia não se coloca como uma escolha ali e vem cercado as comunidades quilombolas por mecanismos de sufocamento político e burocrático do arrendamento e da regularização fundiária que, ao longo de uma década, vem obliterando o processo de titulação do território coletivo e tradicional quilombola.

Os projetos de desenvolvimento de matrizes energéticas, concebidos como alternativas energéticas, não dão espaço para a escolha coletiva, para o desejo de



Figura 3. Parque eólico em Caetité, no Alto Sertão da Bahia, local que abriga comunidades quilombolas.

(Imagem: [Caetité Acontece](#). Reprodução)

viver sem ter um parque eólico e uma mina de urânio na sua vizinhança. O setor energético de matriz nuclear ou eólica, considerado motor do desenvolvimento ou do desenvolvimento sustentável, pode representar a repressão de outras éticas ecológicas e modos de viver.^[8] (Figura 3)

A proposta do desenvolvimento sustentável de transformação da matriz energética é enunciada a partir dos problemas e contextos dos espaços urbanos do ocidente distante dos lugares onde a produção de energia acontece. O desenvolvimento sustentável envolve um pacto tácito que autoriza quais conhecimentos e sensibilidades importam no debate sobre matrizes energéticas. As comunidades tradicionais percebem as violências dos empreendimentos de energias renováveis e seus rastros de destruição nos planos político e ecológico. Para ligar a rede insaciável da produção energética, muitas chamas de outros mundos possíveis são apagadas, muitas alternativas e modos de viver tradicionais ambientalmente sustentáveis são desligados.

Últimas considerações sobre a objetividade dos conhecimentos tradicionais

A antropologia pode ser uma via para encontrar um novo caminho narrativo para a crise climática que descreva as violências coloniais, raciais, assim como as alterações ecológicas e catástrofes climáticas reconhecidas pelas comunidades tradicionais. A antropologia mantém uma janela aberta para outro mundo possível, para outras

maneiras de viver em sociedade, para mudanças políticas e epistemológicas na gestão do destino comum. Nesse sentido, a antropologia pode se oferecer como um meio ou mediação para provocar uma perturbação na divisão entre saberes.

Se, como afirma Latour (1994),^[1] a crise ecológica é uma crise da objetividade das ciências ocidentais, o momento de emergência climática também é ocasião propícia para acompanhar outras linhas de referencialidade de conhecimentos historicamente subordinados, desqualificados e inferiorizados. A antropologia trabalha para valorização desses conhecimentos, e a antropologia da ciência, em especial, para fazer fremir a hierarquia de saberes que os imobilizou. Este é um momento oportuno para enunciar, desde a antropologia, o privilégio da perspectiva minoritária dos povos excluídos da *episteme* moderna e habitar o “terreno dos saberes subjugados” que, como afirma Haraway (1995),^[11] podem oferecer “explicações mais adequadas, firmes, objetivas, transformadoras do mundo”.

As comunidades tradicionais oferecem uma importante contribuição para a discussão sobre desenvolvimento sustentável quando nos ajudam a reconhecer em “atividades produtivas” como a monocultura, produção de energia “limpa” e mineração, violências e formas extrativas que reverberam no plano das relações sociais, ecológicas e subjetivas. Os conhecimentos tradicionais representam um ganho de perspectiva sobre as violências que recortam nosso cotidiano onde os alertas climáticos reverberam.

Hoje precisamos de modo dramático não somente dos conhecimentos tradicionais como também de sua ética ecológica para habitarmos um mundo afetado pela crise climática, pela perda de biodiversidade e pelo aumento da variabilidade climática e de eventos extremos. As ciências precisam aprender a fazer alianças com esses conhecimentos e reconhecer outras linguagens e sinais da Terra captadas pelos povos tradicionais.^[12, 13]

Suzane de Alencar Vieira é professora adjunta de antropologia na Faculdade de Ciências Sociais e no Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social da Universidade Federal de Goiás (UFG). É autora do livro “Césio-137, drama azul: irradiação em narrativas” (Cânone, 2014) e do livro “Entre risos e perigos: artes da resistência e ecologia quilombola no Alto Sertão da Bahia” (7Letras, 2023).

Referências

- [1] LATOUR, Bruno. *Jamais fomos modernos: ensaio de antropologia simétrica*. São Paulo: editora 34, 1994.
- [2] VIVEIROS DE CASTRO, Eduardo; GOLDMAN, Marcio. Abaeté, Rede de Antropologia Simétrica (Entrevista concedida a Aristóteles Barcelos Neto, Danilo Ramos, Maíra Santi Bühler, Renato Sztutman, Stelio Marras E Valéria Macedo). *Cadernos de campo*, São Paulo, n. 14/15, p. 1-382, 2006.
- [3] CABALLERO, Indira; VIEIRA, Suzane; FUJIGAKI, Alejandro. Antropologia da vida diante da catástrofe. *Revista Amazônica*. volume 14 (2), 2022, pp. 241 - 253.
- [4] GRANT, Rachel A., RAULIN, Jean Pierre, FREUND, Friedemann T. Changes in animal activity prior to a major (M=7) earthquake in the Peruvian Andes, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Volumes 85–86*, 2015, Pages 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.02.012>
- [5] ARANTES, José Tadeu. *Alteração comportamental sinaliza, dias antes, a ocorrência de terremotos*. Agência FAPESP, 2015.
- [6] GRANT, Rachel A., RAULIN, Jean Pierre, FREUND, Friedemann T. Changes in animal activity prior to a major (M=7) earthquake in the Peruvian Andes, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Volumes 85–86*, 2015, Pages 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.02.012>
- [7] O'CONNELL-RODWELL, Caitlin E. Keeping an “Ear” to the Ground: Seismic Communication in Elephants. *PHYSIOLOGY*, Volume 22, August 2007.
- [8] VIEIRA, Suzane. *Entre risos e perigos: artes da resistência e ecologia quilombola no Alto Sertão da Bahia*. Rio de Janeiro: 7letras, 2023.
- [9] VIEIRA, Suzane. *O Astro do Tempo e o fim da Era: a crise ecológica e a arte de assuntar entre os quilombolas do Alto Sertão da Bahia*. *ClimaCom Cultura Científica - pesquisa, jornalismo e arte I* Vol. 03 - Ano 02 / Agosto de 2015.
- [10] IPCC. *Synthesis Report Of The Ippc Sixth Assessment Report (Ar6)*. 2023.
- [11] HARAWAY, Donna. Saberes localizados: a questão da ciência para o feminismo e o privilégio da perspectiva parcial. *Revista Cadernos Pagu* (5) 1995: pp. 07-41.
- [12] GUATTARI, Félix. *As três ecologias*. Campinas: Papius, 1990.
- [13] MUMBUCA, Ana. *Voo das abelhas da terra*. *Cademo de Leituras* n.117. série



Capa. É preciso tratar o componente humano como parte indissociável do que entendemos como natureza. Capa. Fim de tarde do povo Wayana, na aldeia de Apetina, às margens do rio Tapanahony, Suriname (Foto: F.R. Scarano)

Ecologia: do conhecimento sistêmico ao transformador

É preciso tratar o componente humano como parte indissociável do que entendemos como natureza

Fabio Rubio Scarano
Anna Carolina Fornero Aguiar

Resumo

A Ecologia surgiu, por definição, como uma ciência do todo. Em seguida, se pulverizou em módulos reducionistas, porém importantes para diversas aplicações práticas em problemas ambientais variados. Hoje, diante da crise sistêmica planetária, a Ecologia volta à sua natureza transdisciplinar e compõe o elenco de contribuições científicas voltadas para a transição em direção a um mundo mais sustentável. Este artigo propõe que o uso dos termos “básico” e “aplicado” não são apropriados para a ciência ecológica, por conta de um vaivém contínuo e, por vezes, indistinguível entre teoria e prática. São apresentadas outras duas alternativas de categorização do conhecimento ecológico. Em seguida, o artigo traça uma distinção entre ecologia *stricto sensu* e ecologia *lato sensu* – esta última no sentido do que hoje se agrupa sob uma variedade de “ecologias” ditas “integrals”. Nesse ponto, a ciência trava um diálogo com movimentos sociais como o ambientalismo, reforçando sua potência

transformadora. Concluímos com a reflexão que, no tempo atual, talvez a ação mais “básica” na ciência ecológica seja também a mais “aplicada”: tratar o componente humano como parte indissociável do que entendemos como natureza.

Palavras-chave: Covid-19; Mudanças Climáticas; Modelos Matemáticos

Introdução

Em 1866 Ernst Haeckel cunhou o termo Ecologia e o definiu como sendo o total das relações do organismo com o meio abiótico e biótico ao seu redor, incluindo num contexto mais amplo todas as condições para a sua existência.^[1] Os críticos dizem que se isso fosse Ecologia, seria difícil determinar o que não era.^[2] O fato é que a Ecologia é uma ciência essencialmente integrativa, cuja prática requer um constante exercício de conexão e diálogo entre disciplinas e entre diferentes escalas e níveis hierárquicos de observação.^[3] Repare a preocupação com tais hierarquias nesta definição: “Ecologia é o estudo científico de processos que influenciam a distribuição e abundância de organismos, a interação entre organismos e a interação entre organismos e a transformação e fluxo de energia e matéria”.^[4]

Ainda que o termo tenha surgido em meados do século XIX, a emergência da Ecologia como prática científica só se daria no início do século XX,^[2] de forma a preencher a lacuna existente entre fisiologia e biogeografia.^[3] Decerto que esse início vinha carregado de influências da história natural, demografia humana, biometria e dos problemas práticos da medicina e da agricultura, assim como, claro, do pensamento de Darwin.

Entretanto, este campo que emerge como uma espécie de “estudo do todo” não escapa ao cacoete reducionista da ciência moderna e logo se vê fragmentado em dois paradigmas: o populacional (ou evolutivo) e o ecossistêmico. Mais que isso, se daria uma subdivisão ainda mais aguda dentro de cada um dos paradigmas. Portanto, as chamadas ecologia genética, ecofisiologia, ecologia populacional e ecologia de comunidades pendem para um lado, enquanto que a ecologia de ecossistemas, de paisagens e a biogeoquímica pendem para outro.^[3] Mas a redução não para por aí: aquático versus terrestre, animal versus vegetal, microbiana, humana. Esta última é particularmente sintomática do fato das palavras “natureza”,

“biodiversidade”^[5] e também “ecologia” serem automaticamente relacionadas ao não humano. Quando o componente humano é incluído, ele vem como adjetivo: ecologia humana, natureza humana, diversidade humana.

Esta pulverização da Ecologia talvez seja o que levou o filósofo britânico Timothy Morton a afirmar que ela transformou o meio ambiente em uma gigantesca biblioteca, um livro sem índice da natureza.^[6] Se o projeto cartesiano era o de reduzir o todo às suas partes, para primeiro entender as partes e depois compreender o todo,^[7] não seria o momento de

“A Ecologia é uma ciência essencialmente integrativa, cuja prática requer um constante exercício de conexão e diálogo entre disciplinas e entre diferentes escalas e níveis hierárquicos de observação.”

Autores	Tipos de ciência ou conhecimento científico		
Stokes ^[15]	básico	aplicado	
Jahn <i>et al.</i> ^[14]	sistêmico	orientador	transformador
Lemos ^[16]	útil	usável	pronto para uso

Tabela 1. Tipos de ciência ou conhecimento, segundo distintas taxonomias. Em negrito os modos análogos à chamada “ciência básica”
(Elaboração dos autores)

integrarmos as partes da Ecologia?

Ciência Básica, Sistêmica ou Útil?

Este número de [Ciência e Cultura](#) se debruça sobre a ciência básica, que pressupõe a existência de seu par dicotômico, ciência aplicada. Essa classificação decorre de uma leitura de ciência como algo voltado para dois fins: o de ampliar o conhecimento humano acerca das coisas e o de aportar soluções aos problemas que afligem o planeta.^[8] Contudo, nosso argumento aqui é que essa distinção entre básica e aplicada não se adequa plenamente à Ecologia como ciência. Enxergamos como um gradiente, no tempo e espaço, entre o conhecimento gerado e seu eventual uso. Até porque é de se esperar que em se ampliando o conhecimento humano, aumenta-se muito a chance que problemas práticos possam ser solucionados a partir desse saber.

De fato, a Ecologia se propõe a solucionar

problemas como o da conservação de biodiversidade, da preservação de mananciais hídricos, do controle do aquecimento global, entre outros. Porém, para ter sucesso nessas metas, precisa antes ter um profundo conhecimento acerca do seu objeto de investigação: a natureza biológica, incluindo elementos vivos e não-vivos, humanos e não-humanos. Isso, por sua vez, requer teorias robustas e uma boa tradução para a prática. Ou seria o contrário? (Figura 1)

A Ecologia, enquanto ciência, tem uma característica paradoxal. O filósofo francês Michel Foucault se referia às disciplinas biológicas como “disciplinas ainda imprecisas e que talvez estejam destinadas a permanecer abaixo da fronteira da cientificidade”.^[9] Peters (1991), ainda mais crítico, classificava a ciência ecológica como “fraca”, incapaz de lidar com os desafios ambientais.^[10] É indiscutível que tal rigor pode se fundar no fato da perda de biodiversidade, por exemplo, aumentar há décadas.^[11] Mas, por outro lado, onde estaríamos se a Ecologia e sua derivada Biologia da Conservação não fossem tão prolíficas em teoria e prática? Não seria bem pior? De fato, os mais otimistas quanto à natureza da Ecologia enquanto ciência enxergam avanço no poder preditivo e explanatório de suas teorias.^[3, 12] Entre eles há também aqueles que creem na força dos estudos de casos voltados para a solução de problemas ambientais. Acreditam que daí possam emergir futuras teorias ecológicas robustas.^[8, 13]

Uma vez que a Ecologia caminha tanto da teoria para a aplicação, como da aplicação para a teoria, a distinção entre ciência básica e aplicada não parece apropriada. A Tabela 1 apresenta outras duas classificações de conhecimento científico que nos parecem mais adequadas ao conhecimento ecológico, e suscitam um paralelo com a distinção básico-aplicado. A de Jahn e colaboradores ^[14] se volta para conhecimento transdisciplinar (no qual a ecologia frequentemente se enquadra) e denomina de “conhecimento sistêmico” aquele que se volta para o entendimento de um determinado caso ou fenômeno. Seria

análogo ao que Stokes ^[15] chama de “básico”. O “conhecimento orientador” é aquele que se requer para a tomada de decisão, enquanto o “transformador” se refere ao modo de realizar esta decisão.^[14] Orientador e transformador estão no campo que Stokes chamaria de “aplicado”. Tal sistema ^[14] encontra relação também com a usabilidade da ciência. O termo “aplicado” parece sugerir que ela tem sentido prático, utilitário, enquanto o “básico” não o teria. Já Lemos ^[16] explica que toda ciência é potencialmente útil, mesmo que ela não seja imediatamente usável ou ainda não esteja pronta para o uso. Visto desta forma, o conhecimento ecológico ao qual estamos dando tratamento aqui é sistêmico e útil, já que permite o vaivém entre teoria e prática, conceituação e uso.

Ecologia *Stricto Sensu* e *Lato Sensu*

Voltemos à questão inicial: já que a Ecologia é uma ciência integrativa, não seria o momento de reconectarmos as suas partes fragmentadas? Nisso, lembramos três visões dentre as mais antigas da Ecologia (no seu sentido mais estrito), ainda que fora de sua ordem cronológica.

Começemos por Hutchinson, que desenvolveu o conceito de nicho ecológico na década de 1950 (que dá importância às interações, especialmente competitivas entre espécies). Paradoxalmente, seus próprios discípulos seriam os fundadores dos dois paradigmas teóricos já mencionados: a ecologia de ecossistemas (de Lindemann e Odum, dedicada à compreensão sobre o funcionamento de ecossistemas e seus fluxos de energia e matéria) e a ecologia evolutiva (com suas disputas acerca de estratégias de espécies, representadas pelas teorias de nicho do próprio Hutchinson e a teoria de biogeografia de ilhas de MacArthur e Wilson). É curioso que um único cientista, Hutchinson, tenha estado em algum grau envolvido com visões que ainda hoje a ciência tem dificuldade de sintetizar (Huneman ^[17] traz detalhada revisão histórica sobre este debate). Todas essas teorias e paradigmas, ainda que fragmentadas em disciplinas, são fundamentais para entendermos o processo de sucessão ecológica, que por sua vez é o conhecimento sistêmico que permite o desenvolvimento transformador da restauração ecológica. Todo o entendimento de áreas mínimas para conservação de espécies, se deve muito à teoria de biogeografia de ilhas, mas também às demais acima citadas. E, claro, as disciplinas da restauração

ecológica e da biologia da conservação regularmente suscitam novas perspectivas teóricas para a Ecologia como ciência. De novo, nota-se o vaivém básico-aplicado. Quem sabe o conhecimento transformador destas duas disciplinas ditas aplicadas, conservação e restauração, não auxilie uma síntese das teorias ecológicas?

Quando a Ecologia interage com outros campos com os quais faz fronteiras, fica ainda mais evidente que teorias e paradigmas fragmentados e dispersos por distintas áreas do conhecimento podem, juntos, permitir um tratamento sistêmico à realidade que o

“Quando a Ecologia interage com outros campos com os quais faz fronteiras, fica ainda mais evidente que teorias e paradigmas fragmentados e dispersos por distintas áreas do conhecimento podem, juntos, permitir um tratamento sistêmico à realidade que o Antropoceno impõe.”

Antropoceno impõe. Por exemplo, a emergência e reemergência de zoonoses são fortemente associadas às mudanças e degradação ambiental. Eventos como a pandemia de covid-19, as gripes aviária e suína, ebola e Zika demonstram a interdependência entre a saúde humana, animal e dos ecossistemas. Além disso, já é conhecido que locais com perda de biodiversidade, alta densidade demográfica e intensas atividades antrópicas têm maior potencial de sediar surtos pandêmicos.^[18] O conceito de “Saúde Única” (do inglês “One Health”, criado em 2004) destaca essa interdependência e integra campos como a Medicina, a Veterinária e a Ecologia para lidar de forma holística com as ameaças zoonóticas.^[19] Trata-se de uma abordagem sistêmica, certamente útil e potencialmente transformadora no sentido de prevenir epidemias e pandemias zoonóticas. (Figura 2)

No *lato sensu* da Ecologia, portanto, caem as fronteiras entre disciplinas. Ainda mais antigo que o exemplo da Saúde Única – mas numa perspectiva semelhante – veja os casos de Alexander Von Humboldt e da dupla Lynn Margulis e James Lovelock. Humboldt, naturalista alemão que viajou



Figura 1. A Ecologia se propõe a solucionar problemas como o da conservação de biodiversidade, da preservação de mananciais hídricos, do controle do aquecimento global, entre outros.

(Foto: © WWF-Brasil / Adriano Gambarini. Reprodução)

extensamente na região norte-amazônica vizinha ao Brasil, descrevia a Terra como um todo natural animado e a vida como uma grande cadeia de causas e efeitos, na qual nada poderia ser considerado de forma isolada.^[20] Sua publicação em cinco volumes, produzidos entre 1845 e 1862 (note que anterior ao termo “Ecologia” ser cunhado por Haeckel em 1866), ele chamou de “Kosmos”, mas cogitou chamar de “Gãa”, em referência à deusa grega. Gaia, porém, seria o nome dado à teoria de Lovelock e Margulis, nos anos 1970, sobre a capacidade autorregulatória, a interdependência e a interconectividade de toda a vida na Terra.^[21] Ainda que esses pensadores não sejam frequentemente associados à ciência ecológica, o são, até por de alguma forma nos remeterem às “ecologias integrais”.

Ecologias Integrais

A ciência é um fenômeno cultural e, portanto, abraça ou provoca o espírito do tempo. Quase que em paralelo a Darwin, Haeckel e o surgimento da Ecologia como ciência, crescia o ambientalismo como movimento social. Num primeiro momento, o ambientalismo é romântico, em alguns casos, quase anti-humano, e isso gradualmente caminha para uma perspectiva mais socialmente engajada, dando origem à ecosofia (filosofia ecológica), à ecologia radical e outras linhas análogas, que chamaremos coletivamente de “ecologia integral”. Charles Fourier (1772-1837) foi precursor

nesse cenário. Sua utopia anárquica – que propunha recriar de forma radical um “mundo amoroso” – teria influenciado o marxismo, o feminismo e o movimento hippie.^[22, 23] Linhas como a ecosofia de Felix Guattari (1930-1992) e a ecologia profunda de Arne Naess (1912-2009) vão além da ecologia como sendo pertinente ao “não-humano” e podem ser agrupadas em meio a uma variedade de “ecologias integrais”, como as chamou o Papa Francisco I. Ecologias integrais combinam a ecologia ambiental, com a social, com a individual (que é corpórea, mental e espiritual), remetendo a um estado futuro no qual humanos e não-humanos estão integrados em relações naturais e sustentáveis.^[24]

Diante disso, a ciência ecológica é, no mínimo, cofundadora da ciência da sustentabilidade. De forma mais arrojada, talvez se possa dizer que a ciência da sustentabilidade nada mais seja do que a ciência ecológica holística, do todo, como Haeckel originalmente propunha. Por outro lado, críticos rotulam várias abordagens de ecologia integral como não-científicas, ou poéticas, ou panfletárias, ou ainda esotéricas. Seria esse o caso? As datas acima mostram o paralelismo que há entre a ciência e a cultura, as teorias e os movimentos sociais, o suposto realismo científico, os sonhos e as utopias. Afinal, separar esses lados em nós não seria também uma forma de reducionismo?

Considerações Finais

Palavras dizem muito sobre as transformações culturais. A palavra “natureza” em nenhum dos idiomas falados na Terra significa, na sua raiz etimológica, o “não-humano”^[5]. Da mesma forma, “biodiversidade” não exclui o humano, nem tampouco “biosfera”, ou “ecossistema”. O ser humano é natureza, é biodiversidade, compõe a biosfera, e tanto faz parte quanto é um ecossistema. Somos ecologia na medida em que o mundo é nossa casa comum e somos casa para o mundo. Somos natureza. Diante da crise sistêmica que o planeta atravessa, em grande medida causada pela impressão de controle que o ser humano tem sobre o próximo e sobre a natureza não-humana, talvez a coisa mais básica a se fazer seja também a mais aplicada: perceber, como dizia Sócrates, que para entendermos a nossa natureza, precisamos entender a natureza do todo. É nessa hora, que a Ecologia – a mais integral possível – poderá ajudar.

Fabio Rubio Scarano é titular da Cátedra Unesco de Alfabetização em Futuros do Museu do Amanhã, professor titular de Ecologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e professor do Mestrado Profissional em Ciência da Sustentabilidade da PUC-Rio.

Anna Carolina Fornero Aguiar é bióloga, pós-doutora da Cátedra Unesco de Alfabetização em Futuros do Museu do Amanhã, e professora do Mestrado Profissional em Ciência da Sustentabilidade da PUC-Rio.

“Diante da crise sistêmica que o planeta atravessa, em grande medida causada pela impressão de controle que o ser humano tem sobre o próximo e sobre a natureza não-humana, talvez a coisa mais básica a se fazer seja também a mais aplicada: perceber, como dizia Sócrates, que para entendermos a nossa natureza, precisamos entender a natureza do todo.”



Figura 2. A emergência e reemergência de zoonoses são fortemente associadas às mudanças e degradação ambiental.

(Foto: [Muhammad Mahdi Karim](#) / Reprodução)

Referências

- [1] LÜTTGE, U.; SCARANO, F. R. Ecofisiologia. *Revista Brasileira de Botânica* 27(1), 2004, p. 1-10.
- [2] KREBS, C. J. *Ecology*. Harper & Row, Nova Iorque, 1972.
- [3] PICKETT, S. T. A.; KOLASA, J.; JONES, C. G. *Ecological understanding*. Academic Press, Nova Iorque, 1994.
- [4] LIKENS, G. E. *Excellence in ecology 3: its use and abuse*. Ecology Institute, Oldendorf/Luhe, 1992.
- [5] SCARANO, F. R.; AGUIAR, A. C. F.; BRINK, E.; CARNEIRO, B. L. R.; HOLZ, V. L. Natureza: por que a palavra importa para a transição para a sustentabilidade? In: RUTA, C.; CONTINS, M. (eds.). *Concepções de Natureza: Debates Contemporâneos*. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 2023, no prelo.
- [6] MORTON, T. *Ecology Without Nature: Rethinking Environmental Aesthetics*. Cambridge: Harvard University Press, 2007.
- [7] THOMAS, C. G. Philosophy of research. In: THOMAS, C. G. (ed.). *Research Methodology and Scientific Writing*. Cham: Springer, 2021, p. 33-48. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64865-7_2
- [8] SHRADER-FRECHETTE, K. S., MCCOY, E. D. *Method in ecology: strategies for conservation*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993
- [9] FOUCAULT, M. *The Archaeology of Knowledge*. London: Routledge, 1972.
- [10] PETERS, R. H. *A Critique for Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- [11] IPBES. *Summary for Policymakers*. The Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn: IPBES Secretariat.
- [12] MURRAY, B. G. Jr. Are ecological and evolutionary theories scientific? *Biological Review* 76, 2001, p. 255-289.
- [13] KITCHER, P. (1985) Two approaches to explanation. *Journal of Philosophy* 82, 1985, p. 632-639.
- [14] STOKES, D. *O Quadrante de Pasteur – A Ciência Básica e a Inovação Tecnológica*. Campinas: Editora Unicamp, 2005.
- [15] JAHN, T.; BERGMANN, M.; KEIL, F. Transdisciplinarity: between mainstreaming and marginalization. *Ecological Economics* 79, 2012, p. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.04.017>
- [16] LEMOS, M. C. Usable climate knowledge for adaptive and co-managed water governance. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 12, 2015, p. 48-52. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.09.005>
- [17] HUNEMAN, P. How the modern synthesis came to Ecology. *Journal of the History of Biology* 52, 2019, p. 635–686. <https://doi.org/10.1007/s10739-019-09570-9>
- [18] MORSE, S. S.; MAZET, J. A. K.; WOOLHOUSE, M.; PARRISH, C. R.; CARROLL, D.; KARESH, W. B.; ZAMBRANA-TORRELIO, C.; LIPKIN, W. I.; DASZAK, P. (2012) Prediction and prevention of the next pandemic zoonosis. *Lancet* 380, 2012, p. 1956–1965 [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61684-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61684-5)
- [19] DESTOUMIEUX-GARZÓN, D.; MAVINGUI, P.; BOETSCH, G.; BOISSIER, J.; DARRIET, F.; DUBOZ, P.; FRITSCH, C.; GIRAUDOUX, P.; LE ROUX, F.; MORAND, S.; PAILLARD, C.; PONTIER, D.; SUEUR, C.; VOITURON, Y. (2018) The One Health concept: 10 years old and a long road ahead. *Frontiers in Veterinary Science* 5, 2018, p. 14. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00014>
- [20] WULF, A. *A Invenção da Natureza*. São Paulo: Planeta, 2016.
- [21] LOVELOCK, J. E.; MARGULIS, L. Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the Gaia hypothesis. *Tellus* 26, 1974, p. 2-10 <https://doi.org/10.3402/tellusa.v26i1-2.9731>
- [22] MARCUSE, H. *Psychoanalysis, Politics and Utopia*. London: Repeater Books, 1970.
- [23] ROELOFS, J. Charles Fourier: Proto-Red-Green. In: MACAULEY, D. (ed.) *Minding Nature: The Philosophers of Ecology*, London: The Guilford Press, p. 43-58
- [24] MICKEY, S.; KELLY, S.; ROBERT, A. (eds.) *A Variety of Integral Ecologies*. Albany: Suny Press, 2017



Capa. Construção de pontes entre ciência e sociedade é fundamental para redução das desigualdades e manutenção do meio ambiente.

(Foto por Marcel Bursztyn)

Sustentabilidade e redução das vulnerabilidades

A necessária construção de pontes entre as ciências e a sociedade

Marcel Bursztyn
Renata Távora

A degradação ambiental e seus impactos nos sistemas de suporte à vida estão entre os grandes desafios que a humanidade tem de enfrentar. Nossa criatividade e o desenvolvimento do conhecimento nos levaram a uma situação paradoxal: somos capazes de resolver grandes ameaças à vida (como a produção de vacinas), mas estamos sofrendo as consequências de nosso progresso material e existencial (poluição, aquecimento global, esgotamento de recursos naturais). A verdade é que quanto mais avançamos

na produção de conhecimentos e na aplicação destes à busca do bem-estar da humanidade, mais parece que precisamos encontrar soluções para os efeitos do nosso próprio avanço. E, na medida em que os problemas se agravam, fica evidente que

as pessoas mais vulneráveis a todos esses problemas são sempre as mesmas: aquelas que estão no polo mais frágil das desigualdades recorrentes em nossa sociedade.

Mas as questões ambientais, as mudanças climáticas e a degradação dos ecossistemas são apenas uma parte dos desafios que o mundo acadêmico tem pela frente. Em comum com outros grandes problemas, como a paz, a redução da pobreza, a educação e a saúde, os temas associados à sustentabilidade demandam abordagens integrativas: entre disciplinas, entre instituições e entre setores da sociedade, em diferentes escalas territoriais, do local ao global. A construção de pontes (interdisciplinaridade e transdisciplinaridade) é, portanto, um importante tema da agenda de prioridades para quem produz conhecimentos e quem formula e executa políticas públicas.^[1]

A Universidade, como fonte de conhecimento, tem importante responsabilidade nesse processo, como parte da solução, mas também como parte do problema. Novos campos e procedimentos para lidar com grandes e complexos desafios estão sendo construídos atualmente, em diferentes instituições acadêmicas. Como instituição, a Universidade

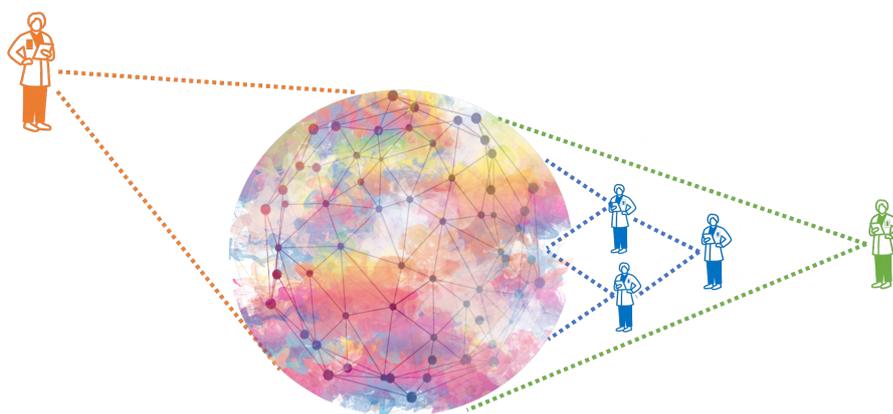


Figura 1. Modelo ilustrativo dos diferentes focos de pesquisa, que caracterizam abordagens especialistas e integradoras diante de objetos complexos.

(Fonte: elaborado pelos autores)

evoluiu e mudou substancialmente o seu perfil, desde os seus primórdios, há quase um milênio. Mas, em todo o mundo, desde as rebeliões estudantis de 1968 e as reformas que ela inspirou (abrindo-se à sociedade, mas também criando defesas), muito pouco mudou.

A menos que algumas mudanças sejam feitas no *modus operandi* da estrutura de produção de conhecimentos, a lacuna entre as demandas da sociedade por soluções e a limitada capacidade da Universidade para fornecê-las aumentará. Enquanto isso, parte da pesquisa geralmente realizada por universidades está sendo produzida em instituições não acadêmicas, públicas ou privadas. Essas últimas, ao contrário da Universidade, têm-se mostrado mais flexíveis e adaptáveis às novas e complexas demandas. Por serem orientadas para a solução de problemas (*problem-oriented*), por definição, e por não possuírem estruturas rígidas e fragmentadas em compartimentos disciplinares, as instituições de pesquisa não acadêmicas costumam funcionar por meio de forças-tarefas, cujos membros, uma vez atingido o objetivo, são redistribuídos em outros projetos. As instituições não acadêmicas estão se mostrando mais *responsivas* em atender às novas e complexas demandas científicas e tecnológicas,^[2] integrando, na prática, conhecimentos e profissionais das ciências básicas e aplicadas.^[3]

A Interdisciplinaridade como foco do debate

Práticas interdisciplinares têm um papel importante no debate sobre a crise e o futuro da Universidade. Embora não seja uma questão nova^[4], é altamente relevante para o presente e o futuro do *modus operandi* da produção de

conhecimentos. Muita coisa mudou desde as primeiras configurações da Universidade, ainda na idade média. Das formações científicas amplas, que cobriam campos como a medicina, a natureza e elementos do que hoje chamamos de humanidades, um longo caminho foi percorrido. Já não se formam mais generalistas, mas principalmente especialistas.

A especialização moldou o mundo acadêmico principalmente ao longo do último século, produzindo uma formidável gama de disciplinas^[5] em um número crescente de campos isolados e autocentrados. Esse processo tem sido respaldado pela proliferação de periódicos especializados e, também, pela estrutura institucional montada para o credenciamento, a avaliação e o financiamento de projetos de pesquisa e de cursos.

O século XX foi palco de um verdadeiro *big bang* disciplinar. Novos campos científicos e demandas tecnológicas levaram ao surgimento de novas disciplinas, como é o caso da engenharia aeroespacial e da informática. Há também um processo de subdivisão de antigos campos de estudos, como a fragmentação da formação em história natural em duas áreas acadêmicas: a biologia e a geologia. E há, também, agregação de disciplinas antes separadas, formando novos campos, como a biofísica e as neurociências.

A história recente das ciências nos mostra que algumas interseções de disciplinas surgiram como instrumentos necessários para a solução de questões como a bioética. Esse novo campo é consequência da evolução das ciências da vida (particularmente da engenharia genética) e das questões epistemológicas e éticas levantadas por cientistas de diferentes áreas.

A Figura 1 apresenta, de modo esquemático, a situação de diferentes tipos de foco de pesquisa, do particular (muito sobre pouco) ao integrador (pouco sobre muito). A amplitude da visão de quem está muito próximo do objeto é, naturalmente, menor. No entanto, permite a percepção de detalhes. Já quem está mais afastado consegue ver o problema com maior abrangência (ainda que com menos detalhe) e integrar conhecimentos especializados.

A integração, como requisito ao enfrentamento de desafios complexos, está na ordem do dia. Isso não significa negar a relevância da especialização, mas apenas a necessária construção de pontes para a colaboração entre *diferentes ciências*. Já há, inclusive, propostas de

organização de modos de integração sob a forma de uma disciplina em si, como é o caso da *Integration and Implementation Science* – I2S.^[6]

Riscos e alertas como motores da necessária integração

O fato de termos chegado a novos patamares quanto às possibilidades de intervir sobre os diferentes modos de vida renova o desencanto e o alerta lançado por Jacob Bronowski (1978)^[7] sobre as implicações da capacidade humana de destruir o seu próprio *habitat*, como ficou evidente após diversos desastres ambientais, entre eles, os bombardeios atômicos de Hiroshima e Nagasaki (1945). Outros eventos posteriores também servem de advertência, dentre

“Quanto mais avançamos na produção de conhecimentos e na aplicação destes à busca do bem-estar da humanidade, mais parece que precisamos encontrar soluções para os efeitos do nosso próprio avanço.”

eles a explosão de um reator da usina nuclear de Chernobyl (1986), vazamentos de navios petroleiros em diferentes locais no mundo e, também no Brasil, como o que ocorreu na Baía de Guanabara (2000) e na Bacia de Campos (2011), bem como os rompimentos das barragens de rejeitos de mineração ocorridos nas últimas duas décadas em Nova Lima (2001), Mirai (2007), Itabirito (2014), Mariana (2015) e Brumadinho (2019).

O debate sobre os riscos de um cataclismo planetário decorrente da ação humana foi tema importante nos fóruns científicos da década de 1970, após a crise do petróleo, a disseminação do uso da energia nuclear e o surgimento da “questão ambiental”. As implicações do avanço das técnicas aplicadas aos sistemas de vida também é uma preocupação central, que levou à formulação do *princípio da precaução*, uma preocupação ética e filosófica que deve muito ao *princípio da responsabilidade* de Hans Jonas (1984).^[8]

Alertas também foram incluídos nos escritos dos “autores rebeldes” que reagiram contra o estilo de vida que emergiu do industrialismo, particularmente nas três décadas do ciclo de crescimento econômico que se seguiu à Segunda Guerra Mundial. Consumismo, desperdício de energia e de

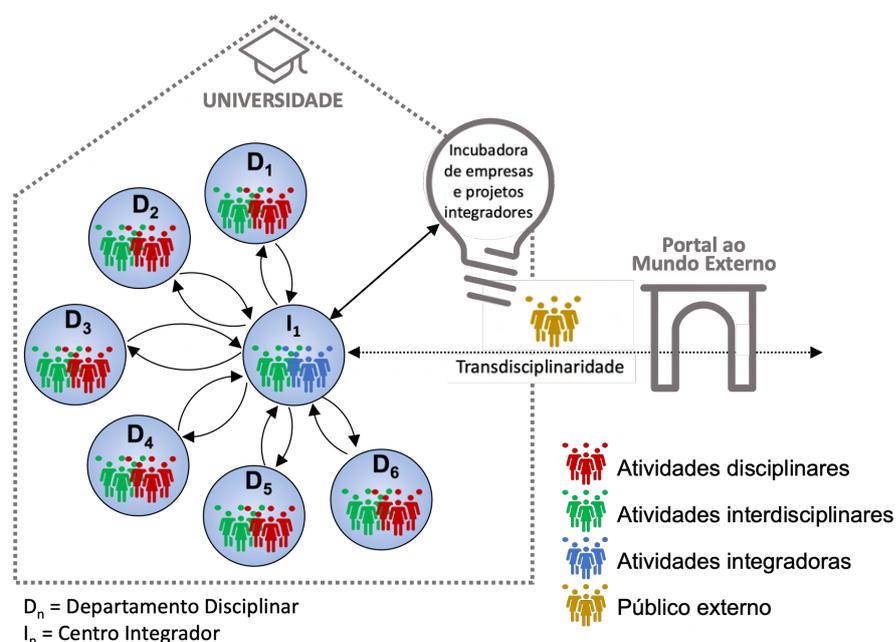


Figura 2. Modelo esquemático de organização da Universidade, com departamentos disciplinares, um centro integrador (*hub* interdisciplinar) e o portal para o mundo externo (transdisciplinaridade).

(Fonte: adaptado de Bursztyn e Drummond, 2013)^[15]

matérias-primas, geração de montanhas de lixo, exclusão social de um número crescente de pessoas em todo o mundo, degradação ambiental, necessidade de destruir o capital – por meio de guerras – como condição para o crescimento econômico e a crescente obsolescência de conhecimentos, técnicas e bens, entre outros aspectos, provocou uma onda de reações contra o papel e a dinâmica da evolução da tecnociência. Um desses rebeldes, Ivan Illich (1973),^[9] chamou a atenção para a inutilidade de acumular conhecimento desnecessário por meio da educação formal e para a importância do conhecimento que não é ensinado nas escolas.

Evocando o que chamou de *economia budista*, Ernst Schumacher (1973)^[10] dirigiu sua análise para o fato de que a ciência e a tecnologia (C&T) seguiam uma via em que a humanidade passava a adotar soluções cada vez mais complexas para problemas muitas vezes simples, destruindo ou desprezando o acervo de conhecimentos tradicionais. O ambiente da Universidade foi palco desse tipo de debate durante a década de 1970 e parte da década de 1980. O conceito de *tecnologia apropriada* tornou-se uma questão que seduziu pesquisadores de diversas áreas. A noção de *ecodesenvolvimento* foi resultado tanto desse processo quanto da importante *Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano*, realizada em Estocolmo, em 1972.^[11]

Edgar Morin deu uma importante contribuição ao debate, ao apresentar sua visão da *complexidade*. Sua prolífica produção acadêmica, em especial a série *O Método*, busca lançar novas bases epistemológicas para que a ciência possa restaurar sua capacidade de lidar com problemas complexos, de forma integrada, promovendo o diálogo entre as disciplinas^[12]. O autor pontifica que tal processo deve ser precedido por uma reforma no sistema educacional.

Embora muitos autores rebeldes ou reformistas tenham vindo das ciências humanas, o debate não se restringiu a seus campos de ciência. Importantes ingredientes desse debate foram produzidos no âmbito das ciências exatas, da vida e da natureza.

Edward Wilson (1998)^[13] evoca o conceito de *consilience* como uma forma de agregar e/ou integrar conhecimentos, ao vincular fatos e teorias relacionados, desenvolvidos em disciplinas, para produzir uma base comum de explicação de fenômenos. A obra lança uma sugestão de como (re)organizar as ciências da vida, com a biologia no centro. O desafio para a Universidade, entretanto, é muito mais amplo e exige outras centralidades.

Ilya Prigogine foi agraciado com o Prêmio Nobel de Química, em 1977, por sua contribuição no campo da termodinâmica. Mas foi além da sua zona de conforto disciplinar, ao publicar (com Isabelle Stengers) uma obra que postula a relevância de se transpor as barreiras disciplinares para a efetiva solução dos grandes desafios da humanidade.^[14]

Os autores acima citados são apenas uma amostra do quanto a interdisciplinaridade é relevante para um novo arranjo da organização das ciências, em sintonia com as grandes demandas da sociedade, sem deixar de lado o papel da imaginação e da especialização. Interdisciplinaridade pode, então, ser definida como mais do que a mera interação. É, principalmente, o diálogo, a integração e a síntese de conhecimentos disciplinares. Isso demanda mais do que vontade. É preciso também métodos, arranjos institucionais, critérios de avaliação, mecanismos de apoio e recompensa, dentre outros.

Na prática, muitas universidades já contam com espaços interdisciplinares de formação, pesquisa científica e desenvolvimento de tecnologias, onde convivem docentes de diferentes formações. Mas são casos isolados e há ainda muito a ser feito.

Interação com o mundo real (transdisciplinaridade)

Um dos efeitos da trajetória de especialização da Universidade em departamentos disciplinares é também a existência, ainda, de poucos espaços de interação com o chamado "mundo real", ou seja, com o que acontece fora dos *campi* e para além dos setores naturais de interlocução com cada disciplina.

Vale assinalar que o mesmo processo de

"A Universidade pode desempenhar um papel estruturante, ao criar espaços de interação e diálogo, não somente entre os diversos campos disciplinares (interdisciplinaridade) que formam sua organização departamental, como também reunindo atores de fora do mundo acadêmico (governo, organizações da sociedade e empresas): transdisciplinaridade."

compartmentalização dos conhecimentos se reproduz no seio das estruturas de tomada de decisão pública, o que representa um desafio ao enfrentamento de demandas sociais complexas. A organização do aparelho de estado em setores temáticos, que se traduz em ministérios e instituições com responsabilidades também temáticas, acaba reproduzindo o mesmo tipo de isolamento (e muitas vezes até de conflitos) entre as missões de cada organismo. Assim, por exemplo, é frequente a constatação de que uma ação visando a promoção da agricultura ou a construção de uma infraestrutura exponha um conflito de missões com a também responsabilidade pública de proteger o meio ambiente. Em princípio, organismos de governo devem seguir prioridades e diretrizes de planejamento definidas em planos de ação integrada, mas o fato de que cada um opera segundo suas lógicas disciplinares dificulta tal coordenação.

Um departamento de Universidade pode desenvolver um conhecimento que, se aplicado (no sistema produtivo ou em ação governamental), tende a gerar a necessidade da produção de algum "antídoto científico" no âmbito de outro departamento. Analogamente, o ministério pode adotar uma

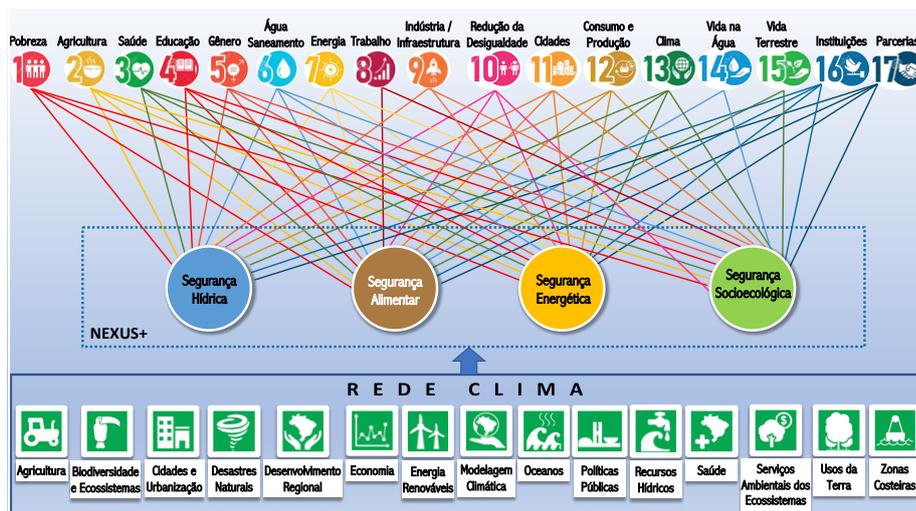


Figura 3. Esquema que ilustra as relações entre os 17 ODS, os quatro eixos da abordagem Nexus+ e as sub-redes temáticas da Rede Clima.

(Fonte: elaborado pelos autores)

política que implicará a necessidade de ação corretiva por outro ministério. São jogos de soma negativa, que conspiram contra o bom senso e a racionalidade. Nada mais razoável do que evitar ou reverter este tipo de prática. Nesse aspecto, a Universidade pode desempenhar um papel estruturante, ao criar espaços de interação e diálogo, não somente entre os diversos campos disciplinares (interdisciplinaridade) que formam sua organização departamental, como também reunindo atores de fora do mundo acadêmico (governo, organizações da sociedade e empresas): transdisciplinaridade. Trata-se, aqui, de *portais* que podem devolver à Universidade um protagonismo relevante na sociedade. Isso significa ampliar o *ethos* acadêmico, com a inclusão do compromisso com resultados e a responsabilidade com os efeitos do uso dos conhecimentos gerados. Vale assinalar que várias universidades já dispõem de estruturas institucionais de apoio à formação de empresas e ações voltadas a comunidades, na forma de incubadoras de projetos e de empresas, envolvendo iniciativas de estudantes e pesquisadores.

A Figura 2 mostra um esquema de organização da Universidade, com seus departamentos disciplinares, um espaço interdisciplinar (*hub* integrador), uma incubadora de projetos e de empresas e um portal de interface com o "mundo real" (pesquisas e ações transdisciplinares).

A coconstrução de conhecimento...

O encadeamento da pesquisa básica com a aplicada, em sintonia com as demandas da sociedade, pressupõe um

conjunto de procedimentos. Métodos, métricas, conceitos e metalinguagens precisam ser devidamente inteligíveis não apenas entre pesquisadores das diferentes disciplinas, mas também pelos demandadores/usuários do conhecimento gerado. Esse último grupo, na verdade, pode/deve ser também protagonista do processo de construção dos saberes.

A história das políticas públicas é rica em exemplos de “boas ideias” que fracassaram, pelo simples fato de que foram produzidas de cima para baixo (*top down*), sem a consideração da sua viabilidade e/ou aceitabilidade no “mundo real”. Frustrações nas ciências aplicadas, em experimentos de transferência de conhecimentos básicos a decisões executivas, têm levado à adoção do conceito de *coconstrução*.^[16] Trata-se, aqui, de práticas em que saberes e expectativas de atores não acadêmicos (tanto representantes das populações, quanto tomadores de decisões públicas e privadas) são integrados em todas as etapas da produção científica: desde a identificação do problema, até a implementação das fórmulas de enfrentamento, no “mundo real”.

Há que se ter em conta, ao abordar o tema da *coconstrução* de conhecimento, que o sistema tradicional de validação e de recompensas pela produção científica ainda não está devidamente ajustado a práticas que fogem ao *juízo pelos pares* e ao escrutínio de periódicos especializados. Publicar uma cartilha, com a divulgação dos conhecimentos científicos em linguagem acessível a não especialistas, não conta muito entre os critérios de avaliação das agências de fomento ou na pontuação para a progressão funcional no meio acadêmico. Mas pode contribuir bastante para a difusão de conhecimentos junto à população em geral. É nesse sentido que a transdisciplinaridade, praticada por meio de processos de *coconstrução* de conhecimentos, traz à tona o debate sobre ampliação dos mecanismos de *juízo por pares*, introduzindo também critérios que considerem a “avaliação pelos ímpares”, ou seja, por atores de fora do mundo acadêmico.

Um exemplo de *hub* (interdisciplinar) e portal (transdisciplinar) possível

As evidências de que muitos dos grandes problemas atuais não se restringem às fronteiras nacionais tem levado a

esforços no sentido de se definir agendas globais. Assim foi na construção da Agenda 21, assinada por 179 países, em 1992, no Rio de Janeiro. Foi, também, o foco dos 8 Objetivos do Milênio para 2015, da ONU, em 2000; e, mais recentemente, dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) para 2030. Enfrentar tais desafios requer unir esforços entre nações, entre setores das sociedades e entre especialistas.

Hubs acadêmicos têm surgido nas universidades, principalmente desde os anos 1990, com a criação de cursos interdisciplinares, que passaram (no caso do Brasil) a ser objeto de tratamento específico no sistema de credenciamento e avaliação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), a

“Muitas experiências recentes têm mostrado que o diálogo e a integração de especialistas de diferentes formações são possíveis; e são, também, cruciais para a resolução de problemas complexos.”

partir de 1999.^[17] São espaços onde temas complexos, que envolvem a convergência de conhecimentos de vários campos científicos, são estudados e onde profissionais são formados. Mais recentemente, na Universidade, tem surgido experiências pioneiras de portais abertos ao mundo exterior. Não se trata, necessariamente, de estruturas físicas restritas a um determinado campus. Podem ser redes de pesquisadores de diversas instituições, com interfaces com atores envolvidos em ações executivas e aplicadas no mundo real.^[18]

Um exemplo é a [Rede Clima](#) (Rede Brasileira de Estudos sobre Mudanças Climáticas Globais), estabelecida em 2007, que reúne profissionais de uma ampla gama de instituições, em diferentes localidades. Por meio de 15 sub-redes temáticas, a Rede Clima tem atuado em apoio à elaboração de estudos e documentos de referência do governo brasileiro, tanto ao nível nacional quanto internacional. Um deles foi a 4.^a Comunicação Nacional à *Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas* (4.^a CN/UNFCCC), concluída em 2020. Ali, grandes temas, como os destacados nos 17 ODS da ONU, e que tem

interface com as mudanças climáticas, foram tratados segundo um procedimento metodológico integrador, desenvolvido pela própria Rede Clima: a abordagem *Nexus+*.^[19, 20] Apoiado sobre quatro grandes eixos de segurança (hídrica, energética, alimentar e socioecológica), o *Nexus+* permitiu a elaboração da 4.^a CN/UNFCCC a partir de uma abordagem que fugiu à cultura anterior e recorrente, de fragmentação das análises segundo as especialidades dos seus autores. O resultado foi uma sintonia fina com o universo de políticas públicas afins, abrindo portas para enfrentamentos mais efetivos dos problemas tratados. A Figura 3 apresenta os 17 ODS, em suas correspondências às quatro seguranças da abordagem *Nexus+* e as contribuições das 15 sub-redes temáticas que compõem a Rede Clima.

Conclusão

Mais do que o já complexo problema da fragmentação em disciplinas, que às vezes opõe os universos das ciências básicas e aplicadas, é preciso também enfrentar o fosso que separa “o mundo das ciências” do “mundo real”. Há notáveis experiências em curso pelo mundo afora.^[21] É preciso abrir espaços para o diálogo entre as disciplinas e da academia com a sociedade. Sair da zona de conforto de falar apenas para os *pares*, abrindo-se também às demandas e ao escrutínio dos *ímpares*, é um desafio.

Muitas experiências recentes têm mostrado que o diálogo e a integração de especialistas de diferentes formações são possíveis; e são, também, cruciais para a resolução de problemas complexos. O descompasso entre a urgência da resolução dos grandes desafios da sociedade e, por outro lado, o relativamente lento processo de produção de conhecimentos básicos na fronteira da ciência é um aspecto a ser levado em conta. Mas há um acervo considerável de saberes disponíveis, que podem ser aplicados em prazos relativamente curtos. A produção de vacinas contra o covid-19 é um exemplo eloquente das possibilidades de encurtamento do *gap* entre os *timings* do mundo real e do mundo científico.

Universidades de ponta no panorama internacional já perceberam a relevância da criação de *hubs* interdisciplinares e portais transdisciplinares e isso tem produzido importantes resultados. No Brasil, esse tipo de prática e os necessários arranjos institucionais têm avançado, mas ainda encontram resistência em alguns ambientes

marcadamente dominados pela cultura e pelas estruturas de decisão baseadas na disciplinaridade. É hora de repensar isso.

Referências

- [1] Bursztyn, M. and Purushothaman, S. Interdisciplinary and transdisciplinary scholarship for a civilisation in distress: Questions for and from the Global South. *Global Social Challenges Journal*, Vol. 1, pp. 94-114, 2022. <https://bristoluniversitypressdigital.com/gsc/view/journals/gscj/1/1/article-p94.xml>
- [2] NAS. Facilitating Interdisciplinary Research. Committee on Facilitating Interdisciplinary Research, National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, Institute of Medicine, 1–332. 2004. <http://www.nap.edu/catalog/11153.html>
- [3] Kates, R. W. (Editor). *Readings in Sustainability Science and Technology*. Harvard CID Working Paper No. 213, 2010. <http://www.hks.harvard.edu/centers/cid/publications/faculty-working-papers/cid-working-paper-no.-213>
- [4] Klein, J. T. *Interdisciplinarity: History, Theory & Practice*. Wayne State University Press. Detroit 1990.
- [5] Max-Neef, M. A. Foundations of transdisciplinarity. *Ecological Economics*, num. 53, pp. 5-16, 2005. www.elsevier.com/locate/ecocon
- [6] Bammer, G. *Disciplining Interdisciplinarity Integration and Implementation Sciences for Researching Complex Real-World Problems*. Australian National University Press, Canberra, 2013. <https://library.oapen.org/viewer/web/viewer.html?file=/bitstream/handle/20.500.12657/33556/459901.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [7] Bronowski, Jacob. *The common sense of science*, Harvard University Press, Cambridge – MA, 1978.
- [8] Jonas, H. *The Imperative of Responsibility: In Search of Ethics for the Technological Age*. University of Chicago Press, Chicago, 1984.
- [9] Illich, I. *Celebration of awareness: a call for institutional revolution*. Penguin Education, Harmondsworth, UK, 1973.
- [10] Schumacher, E.F. *Small is beautiful: economics as if people mattered*. Harper & Row, New York, 1973.
- [11] Sachs, I. *Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir*. Vértice. São Paulo, 1986.
- [12] Morin, E. *O Método – Vida da Vida*. Ed. Europa-América, Cintra - Portugal, 1980.
- [13] Wilson, E. O. *Consilience: the unity of knowledge*. Knopf, New York, 1998.
- [14] Prigogine, I.; Stengers, I. *O Fim das Certezas - Tempo, Caos e as Leis da Natureza*. Ed. UNESP, São Paulo, 1996.
- [15] Bursztyn, M.; Drummond, J. Sustainability science and the university: pitfalls and bridges to interdisciplinarity. *Environmental Education Research*, v. 20, p. 1-20, 2013. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13504622.2013.780587>
- [16] Djenontin, I. N. S.; Meadow, A. M. The art of co-production of knowledge in environmental sciences and management: lessons from international practice. *Environmental Management*, 61(6), 885–903, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1028-3>
- [17] Litre, G., Lindoso, D. and Bursztyn, M. A long and winding road towards institutionalizing interdisciplinarity: lessons from environmental and sustainability science programs in Brazil, in B. Vienni Baptista and J.T. Klein (eds) *Institutionalizing Interdisciplinarity and Transdisciplinarity: Collaboration Across Cultures and Communities*, Abingdon: Routledge, pp 57–71, 2022.
- [18] Mertens, F., Távora, R., Santandreu, A., Luján, A., Arroyo, R., & Saint-Charles, J. (2022). Participação e transdisciplinaridade em Ecosaúde: a perspectiva da análise de redes sociais. *Saúde e Sociedade*, 31(3), 1–12. <https://doi.org/10.1590/s0104-12902022190903en>
- [19] Araujo, M. ; Ometto, J.; Rodrigues-Filho, S.; Bursztyn, M. ; Lindoso, D.; Litre, G.; Gaivizzo, L. ; Ferreira, J. ; Reis, R. ; Assad, E. . The socio-ecological Nexus+ approach used by the Brazilian Research Network on Global Climate Change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 39, p. 62-70, 2019.
- [20] Viggiani Coutinho, S. M.; Santos, D. V; Bursztyn, M.; Marengo, J. A.; Rodrigues-Filho, S.a; Lucena, A. F. P. ; Rodriguez, D. A.; MAIA, S. M. F.. The Nexus+ approach applied to studies of Impacts, vulnerability and adaptation to climate change in Brazil. *Sustainability in Debate*, v. 11, num. 3, pp. 24-56, 2020. [doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33514](https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33514)
- [21] Bammer, G., Browne, C.A., Ballard, C. et al. Setting parameters for developing undergraduate expertise in transdisciplinary problem solving at a university-wide scale: a case study. *Humanit Soc Sci Commun*, vol. 10 - 208, 2023.

Marcel Bursztyn é socioeconomista, professor titular (aposentado) no Centro de Desenvolvimento sustentável da Universidade de Brasília (UnB). Foi presidente da Capes e da FAP-DF. Coordena o INCT – Observatório das Dinâmicas Socioambientais.

Renata Távora é bióloga, doutora em Desenvolvimento Sustentável. É pesquisadora colaboradora do Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília (UnB) e coordena o componente de pesquisa “Governança e Políticas Públicas” do INCT – Observatório das Dinâmicas Socioambientais.



Capa. Ciência pode contribuir para o combate a fome, mas governo e sociedade precisam trabalhar juntos
(Foto: Reprodução)

Ciência básica, combate à fome e a nova equação alimentar

Apesar de ser uma potência agrícola global, o Brasil convive com 33 milhões de pessoas em situação de insegurança alimentar

Paulo Niederle

Introdução

No final de 2021, a assembleia geral das Nações Unidas (ONU) proclamou 2022 o Ano Internacional das Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável. A partir disso, uma série de ações foram colocadas em marcha com vistas a sensibilizar os líderes políticos e econômicos, bem como a sociedade em geral, sobre a importância da pesquisa básica para o cumprimento da Agenda 2030. Entre os múltiplos desafios está a superação da fome, um problema para o qual as respostas convencionais têm sido ineficazes e, além disso, repercutido em erosão da biodiversidade, aceleração das mudanças climáticas e proliferação de doenças associadas ao consumo exagerado

de alimentos ultraprocessados, por exemplo. A articulação sistêmica desses e outros problemas sugere a emergência de uma nova "equação alimentar",^[1,2] a qual exige respostas inovadoras, que conciliem o combate à fome com a promoção de sistemas alimentares sustentáveis, saudáveis e justos. Por sua vez, esse

desafio tem implicações sobre quais pesquisas básicas e aplicadas deverão ser estimuladas no futuro próximo.

Armas, germes e soja

Em 2018, a Academia Brasileira de Ciências (ABC) publicou seu *Projeto de Ciência para o Brasil*,^[3] um compilado de documentos analíticos e propositivos que resultou do trabalho de quase duas dezenas de renomados cientistas brasileiros. O primeiro capítulo é dedicado à ciência básica, considerada a raiz que “alimenta e nutre a pesquisa aplicada” (p. 42). Dentre as principais contribuições brasileiras para a pesquisa básica, o documento destaca que o país “é um dos principais produtores de conhecimento em ciências agrícolas e ciências de plantas e animais, respondendo por 8,8% e 6,6% da produção mundial nessas áreas” (p. 43). Por sua vez, entre os casos citados para ilustrar tal contribuição, o primeiro refere-se à descoberta, em 1957, pela agrônoma Johanna Döbereiner, das bactérias fixadoras de nitrogênio. Esse feito foi responsável por transformar “o Brasil no segundo maior produtor mundial de soja” (p. 50).

Um ano após a publicação, o Brasil se tornou o maior produtor mundial de soja, mas essa não é a questão mais relevante. O que nos interessa dessa discussão é a contribuição da ciência básica para o êxito da Revolução Verde e o desenvolvimento tecnológico do país.^[4] Os exemplos nessa direção vão muito além das bactérias. Em 1962, antes mesmo do governo militar colocar em marcha as políticas de modernização compulsória da agricultura brasileira, Rachel Carson já havia demonstrado que a mesma química básica que produziu as armas da Segunda Guerra Mundial estava presente nos agrotóxicos sintéticos que, de uma forma bem menos louvável, também foram responsáveis pelo sucesso do agronegócio brasileiro.^[5] Há ainda os exemplos relativos à contribuição da indústria bélica para o desenvolvimento da mecanização agrícola.

Por sua vez, as ciências sociais e humanas ofereceram suas contribuições para explicar como o destino da “sociedade do agro” foi traçado pelos formuladores dessas políticas públicas em parceria com os experts das organizações multilaterais e com o apoio de corporações transnacionais. Nos últimos anos, essas disciplinas têm sido novamente convocadas a explicar por que, ainda hoje, essa potência agrícola global convive com 33 milhões de pessoas em situação de insegurança alimentar grave, ou seja, fome.^[6] Afinal, como pode o terceiro maior produtor de alimentos do

mundo (atrás apenas de Estados Unidos e China), segundo maior exportador em volume total, que comercializa para 180 países, e diz ser responsável por [alimentar 1 bilhão de pessoas](#) no mundo, estar de volta ao Mapa da Fome das Nações Unidas? (Figura 1)

Similares a quase tudo que envolve as ciências sociais, as respostas para essa questão são variadas. Há quem insista, por exemplo, que o país está acometido por uma variante mais resistente da “Doença Holandesa”,^[7] o que pressupõem a existência de um problema estrutural de longo prazo. Outros preferem destacar os efeitos contextuais da crise econômica, política e

“Como pode o terceiro maior produtor de alimentos do mundo (atrás apenas de Estados Unidos e China), segundo maior exportador em volume total, que comercializa para 180 países, e diz ser responsável por alimentar um bilhão de pessoas no mundo, estar de volta ao Mapa da Fome das Nações Unidas?”

sanitária (covid-19), o que geralmente implica numa visão mais otimista sobre o futuro.^[8] Sem desconsiderar ambas as possibilidades, interessa nesse artigo ressaltar o fato de que as instituições que têm projetado soluções ineficazes para o problema da fome também ditam os rumos da ciência básica e seus usos para fins tecnológicos (tornando-a “aplicada”). Por instituições, compreendemos o conjunto de regras, valores e convenções que organizam e dão sentido às práticas dos atores e organizações sociais. Entre essas instituições está a própria imagem do “agro” como um projeto para as sociedades latino-americanas.^[9]

Desvirtuação ou escolhas institucionais

É comum nos depararmos com a ideia de que a ciência básica sofre pela desvirtuação dos seus objetivos iniciais. Tal ideia pode ser inclusive conveniente para muitos cientistas que não terão a mesma oportunidade que teve Robert Oppenheimer para pronunciar suas mais célebres palavras: “[*We knew the world would not be the same. A few people laughed, a few people cried, most people were silent. \[...\] Now, I am become Death, the destroyer of worlds*](#)” (“Nós

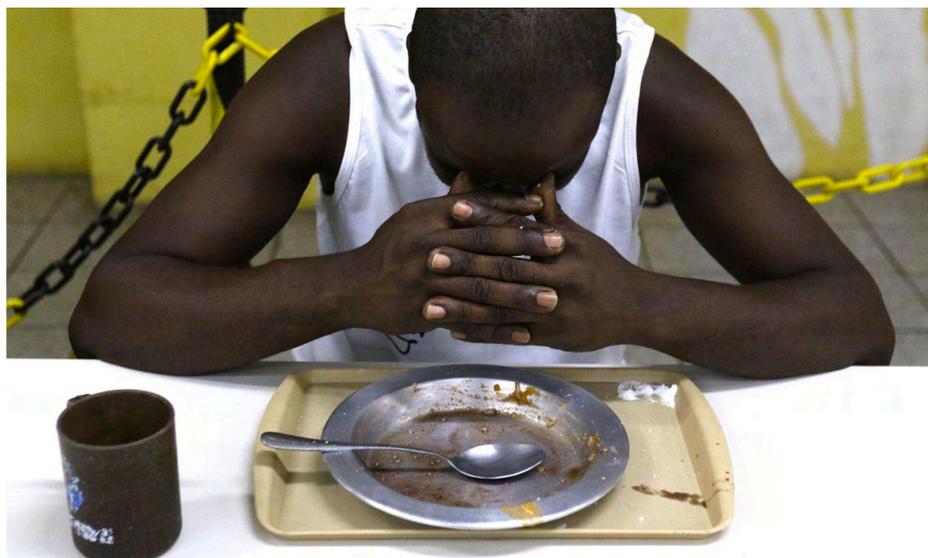


Figura 1. O Brasil voltou ao Mapa da Fome, com mais de 33 milhões de brasileiros em situação de insegurança alimentar

(Foto por Tânia Rego/ Agência Brasil. Reprodução)

sabíamos que o mundo não seria o mesmo. Algumas pessoas riram, outras pessoas choraram, a maior ficou em silêncio. [...] Agora, eu me tornei a morte, o destruidor de mundos”) Mas ela não se sustenta quando, por exemplo, lembramos que o objetivo inicial do 2,4-D, um herbicida altamente tóxico e de amplo uso na produção de soja, era servir de arma química (o famoso Agente Laranja) na Guerra do Vietnã.

Quase um século depois do Projeto Manhattan mudar dramaticamente o curso da história, o [Ano Internacional das Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável](#) pretende ser “um momento chave de mobilização para convencer os líderes econômicos e políticos, bem como todos os cidadãos, da importância de levar em conta e dominar as ciências básicas para garantir um desenvolvimento equilibrado, sustentável e inclusivo do planeta”. É importante notar que este desígnio estabelece uma nova rota: ao invés da guerra, os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) que, conjuntamente, se tornaram a principal orientação institucional para a ação de governos, empresas, movimentos sociais e quiçá também dos cientistas.

A questão, no entanto, é como articular a pesquisa básica aos 17 objetivos e 169 metas globais da Agenda 2030. Em primeiro lugar, é preciso ter em mente a imprescindível integração desses objetivos e metas, de tal modo que as ações para a promoção de um(a) não incorram no comprometimento de outros(as). E aqui reside um dos

principais dilemas na nova equação alimentar: a ciência (básica ou aplicada) precisará contribuir não apenas para suplantar o escárnio da fome, mas também para que isso se dê a partir da promoção de sistemas alimentares sustentáveis, saudáveis e justos. Com isso, as antigas respostas concebidas pela Revolução Verde já não podem ser repetidas, seja porque elas agravaram a crise ecológica (erosão da biodiversidade, por exemplo),^[10] seja porque elas promoveram problemas de saúde pública que, em alguns contextos, se tornaram mais mortais que a própria fome.^[11]

A sindemia global

Em 2019, antes da maioria de nós ouvirmos a expressão pandemia pela primeira vez, a Comissão Lancet publicou um importante relatório sobre a gravidade de uma “sindemia global” que associa subnutrição, obesidade e mudanças climáticas.^[11] Essa crise tem revelado efeitos devastadores, especialmente nos países mais pobres. Em 2015, o excesso de peso corporal afetava mais de dois bilhões de pessoas no mundo e era responsável por, aproximadamente, quatro milhões de mortes por ano. Os custos econômicos da obesidade representavam aproximadamente 2,8% do PIB mundial.^[11] Uma das estimativas mais conservadoras, publicadas no [Atlas Global da Obesidade](#) de 2022 sugere que, em 2030, um bilhão de pessoas estará com obesidade, o que implica que o número de indivíduos nessa condição duplicará em 20 anos. Segundo esse estudo, enquanto nas Américas a taxa de expansão deve ser de 1,5 entre 2010 e 2030, na África o número deve triplicar.

Bilhões de dólares têm sido gastos anualmente para financiar pesquisas que pretendem provar que as mortes ocasionadas por doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2 e certos cânceres não estão associadas à dieta alimentar, ao uso de agrotóxicos ou ao consumo de alimentos ultraprocessados, mas ao estilo de vida sedentário dos consumidores.^[12] Com um *modus operandi* similar aos negacionismos que marcaram as narrativas contra a covid-19, a ação desses “mercadores da dúvida” na guerra contra a regulamentação de determinados mercados (alimentos, tabaco, bebidas, agrotóxicos) tem sido um dos principais problemas para avançar em políticas alimentares que promovam saúde, sustentabilidade e justiça alimentar.

Um dos focos de embate são os Guias Alimentares, documentos que orientam a ação do Estado na regulação do

setor e na execução de políticas públicas. Nos Estados Unidos, em 2019, 933 relatórios foram produzidos para embasar o *lobby* da indústria alimentar. Em 2015, quando o Departamento de Agricultura (USDA) estava discutindo o Guia Alimentar 2015-2020, 1.176 relatórios foram financiados por empresas como PepsiCo, Coca-Cola, Monsanto, Nestle e McDonald’s.^[13] O modo como o dinheiro, o poder e a política influenciam o debate americano se revela em um Guia Alimentar que, por exemplo, condena o consumo excessivo de açúcares e sódio, mas não faz qualquer referência ao tipo de alimento que é a principal fonte destes ingredientes.

No Brasil, as corporações também buscaram desacreditar o Guia Alimentar atacando

“A ciência (básica ou aplicada) precisará contribuir não apenas para suplantar o escárnio da fome, mas também para que isso se dê a partir da promoção de sistemas alimentares sustentáveis, saudáveis e justos.”

principalmente o conceito de alimento ultraprocessado.^[14] Em 2020, tal ofensiva ganhou o Ministério da Agricultura como um aliado de primeira ordem, notadamente quando o Departamento de Análises Econômicas e Políticas Públicas (DAEP) publicou a Nota Técnica n. 42, questionando a legitimidade do Guia, afirmando que ele é confuso e incoerente, a tal ponto de defini-lo como “um dos piores do mundo”. Essa posição foi prontamente rechaçada pelos pesquisadores que participaram da construção do Guia. Desde então, [inúmeros estudos](#) têm ratificado os efeitos prejudiciais à saúde das dietas baseadas em alimentos ultraprocessados.

A estratégia de curto prazo das corporações agroalimentares já está desenhada. Além de contratar estudos que usam metodologias questionáveis para tentar desacreditar as evidências científicas,^[15] elas têm se engajado no financiamento de congressos acadêmicos e importantes fóruns internacionais, tais como a Conferência do Clima (COP 27), realizada em 2022, e a Cúpula dos Sistemas Alimentares das Nações Unidas, em 2021. Nesse caso, ao invés do negacionismo que questiona as pesquisas e a comunidade internacional, o objetivo é assegurar que o



Figura 2. A produção de carnes sintéticas mostra como grandes corporações da indústria alimentar concebem soluções para a sindemia global.

(Foto por [University of Colorado Boulder](#). Reprodução)

referencial utilizado para tratar dos problemas alimentares (e climáticos) seja compatível com suas estratégias comerciais. No longo prazo, por sua vez, as estratégias corporativas voltam-se à construção de tecnologias que prometem revolucionar o modo como nos alimentamos. A produção de carnes sintéticas talvez seja a principal expressão de como grandes corporações da indústria alimentar concebem soluções para a sindemia global.^[16] Em tese, tais produtos seriam capazes de reduzir drasticamente o desmatamento e a emissão de gases de efeito estufa, melhorar o padrão nutricional das dietas e acabar com a subnutrição, além de garantir o bem-estar animal, uma agenda que vem ganhando força nos debates alimentares em virtude da ação de movimentos antiespecistas. Essa imagem projetada sobre o futuro (um componente central das instituições) está no centro da disputa sobre a própria ideia do que é um sistema alimentar saudável e sustentável. (Figura 2)

Contra essa imagem, em outro lugar do espectro político desse embate, movimentos sociais que se articulam, por exemplo, em torno dos princípios da agroecologia e da segurança e soberania alimentar e nutricional oferecem outra perspectiva de saudabilidade e sustentabilidade. Esses movimentos têm pressionado de maneira contundente para que as políticas alimentares respondam de maneira sistêmica à sindemia global. Além disso, eles também são os principais responsáveis por incorporar uma dimensão de justiça alimentar, denunciando que a crise tem origem não apenas nas escolhas alimentares dos consumidores, mas nos fatores estruturais que reproduzem múltiplas desigualdades no

acesso a alimentos saudáveis e sustentáveis.

Políticas públicas, ciência básica e política científica

A construção de sistemas alimentares sustentáveis, saudáveis e justos depende, embora não exclusivamente, de políticas que induzam uma grande variedade de atores a se engajarem na construção de novas práticas. Mudanças na regulamentação da indústria alimentar, na estrutura de incentivos fiscais para a produção agrícola, e na legislação trabalhista que, atualmente, favorece o trabalho precarizado no segmento de *deliveries*, são algumas das inúmeras medidas já sugeridas.^[17] Mesmo assim, transformações mais substanciais “to fix a broken food system”^[18] também dependerão da indução de inovações científicas adequadas aos objetivos do desenvolvimento sustentável.

Essa questão tem sido objeto de preocupação dos formuladores de políticas científicas e tecnológicas, os quais, em geral, tendem a favorecer a pesquisa aplicada. Por mais que, como destacado acima, esta dependa da ciência básica, os editais de apoio à pesquisa recorrentemente reproduzem a cisão. Pressionados por eleitores, acionistas ou militantes, governos, empresas ou movimentos sociais reforçam a cobrança pela aplicabilidade direta do conhecimento. Assim, em um contexto de crise econômica, os poucos recursos para a pesquisa tendem a se voltar para os projetos que prometem resultados imediatos (vide os formulários de avaliação utilizados pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico [CNPq] nos últimos anos), ainda que eles geralmente ofereçam respostas insuficientes para a complexidade da nova equação alimentar. O problema é que sem o potencial disruptivo das descobertas geradas pela ciência básica, a pesquisa aplicada tende a reproduzir respostas com variações incrementais.

No setor alimentar, um número reduzido de grandes empreendimentos científicos, capitaneados por conglomerados transnacionais com ou sem apoio dos governos de países ricos, tem estado à frente das inovações que prometem revolucionar o sistema. Esse é o caso dos investimentos no desenvolvimento de proteínas alternativas.^[16, 19] Em junho de 2023, a JBS, maior produtora de carne do mundo, anunciou a construção da primeira fábrica em escala comercial de carne cultivada, na qual pretende produzir anualmente mais de mil toneladas. A

tecnologia utilizada foi gerada pela *BioTech Foods*, uma empresa espanhola que tem entre os fundadores a PhD em física de materiais Mercedes Vila Juárez, uma das maiores especialistas em materiais para biomedicina e vencedora, em 2010, do prêmio L'Oréal-Unesco para Mulheres na Ciência.

Em face das inúmeras dúvidas e questionamentos acerca da viabilidade e dos efeitos dessa tecnologia, ainda é cedo para afirmar se ela trará uma resposta efetiva para a sindemia global. No entanto, tendo em vista os atores capitaneando tais iniciativas, não é difícil imaginar que elas terão um resultado limitado em termos de justiça alimentar. Seus principais propagadores, a exemplo do [Good Food Institute](#) no caso da carne cultivada, asseguram que tal

“O direito humano à alimentação adequada é demasiadamente importante para deixá-lo nas mãos de algumas poucas corporações privadas, financiadas por capitais financeiros e atuando com inovações de alto risco.”

justiça será alcançada à medida que os avanços científicos permitirem cultivo em larga escala e preços competitivos. No entanto, esse argumento apenas reproduz a mesma ladainha que há décadas sustenta as já senis políticas de modernização da agricultura, as mesmas que tornaram o Brasil o maior produtor mundial de soja, mantendo-o no Mapa da Fome. Sem uma nova governança democrática do sistema alimentar, o controle oligopolista dessas inovações provavelmente acentuará a dependência das nações, a insegurança alimentar das populações e os conflitos geopolíticos globais.

Ademais, caso não se confirmem os futuros imaginados por novos empreendimentos, quais opções ainda estarão na mesa dos governos, empresas, agricultores e consumidores? O direito humano à alimentação adequada é demasiadamente importante para deixá-lo nas mãos de algumas poucas corporações privadas, financiadas por capitais financeiros e atuando com inovações de alto risco. Em face disso, além de reconhecer a importância da ciência básica, é urgente criar mecanismos institucionais (fundos públicos e privados, centros interdisciplinares, parcerias interinstitucionais, cooperações internacionais)

que viabilizem pesquisas com potencial disruptivo e orientadas para os desafios do desenvolvimento sustentável. Governos e sociedades terão que decidir, por exemplo, se continuarão com suas políticas de benefícios fiscais para a venda de agrotóxicos e refrigerantes, ou se vão taxar esses produtos para desincentivar o consumo e angariar recursos para promover uma efetiva transição para a sustentabilidade. Finalmente, permanece aberta a questão de como orientar a ciência básica para determinados objetivos. Em geral, os cientistas são céticos com a ideia de que o governo definirá o escopo das suas pesquisas – e a história de Robert Oppenheimer sugere que eles têm toda razão para sê-lo. Por isso também é fundamental fortalecer as instâncias colegiadas e interinstitucionais que deliberam sobre os rumos da pesquisa. O que não pode é um país como o Brasil estar desde 2020 sem um [Plano Nacional de Pós-Graduação](#) que oriente a pesquisa e a formação de pesquisadores. Uma das questões que precisa ser contemplada por esse tipo de plano diz respeito à interlocução não apenas entre diferentes áreas do conhecimento, mas entre ciências básicas e aplicadas. Ao invés de reforçar uma cisão, os exemplos mencionados acima sugerem que o potencial transformativo das inovações pode ser maior quando os/as cientistas articulam pesquisas básicas e aplicadas. Para os mais jovens, que talvez não tenham conhecido o Projeto Manhattan, a questão é sobre a possibilidade de fazer Sheldon Cooper e Howard Wolowitz trabalharem no mesmo projeto.

Paulo Niederle é professor do Departamento de Sociologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), onde coordena o [Grupo de Pesquisa em Sociologia das Práticas Alimentares \(Sopas\)](#). Atualmente, é coordenador da área de Sociologia da CAPES.

Referências

- [1] MELLOR, John W.; JOHNSTON, Bruce F. The world food equation: Interrelations among development, employment, and food consumption. **Journal of Economic Literature**, v. 22, n. 2, p. 531-574, 1984.
- [2] MORGAN, Kevin; SONNINO, Roberta. The urban foodscape: world cities and the new food equation. **Cambridge Journal of Regions, Economy and Society**, v. 3, n. 2, p. 209-224, 2010.
- [3] SILVA, J.L.; TUNDISI, J. G. (Coord.). **Projeto de Ciência para o Brasil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2018.
- [4] PATEL, Raj. The long Green Revolution. **Journal of Peasant Studies**, v. 40, n. 1, p. 1-63, 2013.
- [5] CARSON, Rachel. **Silent spring**. Boston: Houghton Mifflin, 1962.
- [6] REDE PENSSAN. **II Inquérito Nacional sobre Insegurança Alimentar no Contexto da Pandemia da Covid-19 no Brasil**. São Paulo, SP: Fundação Friedrich Ebert, Rede Penssan, 2022.
- [7] BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos. Tarifas de importação: o argumento da neutralização da doença holandesa. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 43, n. 1, p. 299-303, 2023.
- [8] SOENDERGAARD, Niels et al. **Impactos da covid-19 no agronegócio e o papel do Brasil**. In: Inper-Centro do Agronegócio Global. Texto para discussão, v. 2, 2020.
- [9] GERHARDT, Cleyton. Da Sociedade do Agronegócio à Cosmologia Agro: subjetivação e conquista de novos territórios. **Contemporânea**, v. 11, n. 3, 2021.
- [10] WAGNER, David *et al.* Insect decline in the Anthropocene: Death by a thousand cuts. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 118, n. 2, p. 1-10, 2021.
- [11] SWINBURN, Boyd *et al.* The global syndemic of obesity, undernutrition, and climate change: the Lancet Commission report. **The Lancet**, v. 393, n. 10173, p. 791-846, 2019.
- [12] BARLOW, Pepita *et al.* Science organisations and Coca-Cola's 'war' with the public health community: insights from an internal industry document. **Journal of Epidemiology and Community Health**, v. 72, n. 9, p. 761-763, 2018.
- [13] KARLAN-MASON, Galen; SHI, Rebecca. The food pyramid & how money influences USDA Dietary Guidelines. **The Green Choice**, 2020. Disponível em <https://www.greenchoicenow.com/v/food-pyramid-usda-dietary-guidelines>. Acessado em 07/01/2023.
- [14] LOUZADA, Maria Laura da Costa et al. Consumo de alimentos ultraprocessados no Brasil: distribuição e evolução temporal 2008–2018. **Revista de Saúde Pública**, v. 57, p. 12, 2023.
- [15] BES-RASTROLLO, Maira et al. Financial Conflicts of Interest and Reporting Bias Regarding the Association between Sugar-Sweetened Beverages and Weight Gain: A Systematic Review of Systematic Reviews. **PLOS Medicine**, v. 10, n. 12, 2013.
- [16] WILKINSON, John. **O mundo dos alimentos em transformação**. Curitiba: Appris, 2023.
- [17] NIEDERLE, Paulo. **Políticas alimentares integradas e a construção de sistemas alimentares saudáveis, sustentáveis e justos**. Porto Alegre: Sopas, Ibirapitanga, 2023.
- [18] SCHMIDT-TRAUB, Guido; OBERSTEINER, Michael; MOSNIER, Aline. Fix the broken food system in three steps. **Nature**, v. 569, n. 7755, p. 181-183, 2019.
- [19] [ABRAMOVAY, Ricardo](#). Desafios para o sistema alimentar global. **Ciência e Cultura**, v. 73, p. 53-57, 2021.



Capa. Saúde coletiva envolve não apenas medicina, mas a saúde humana, animal e ambiental em conjunto (Imagem por Freepik.com. Reprodução)

Saúde coletiva, desenvolvimento e qualidade de vida no contexto latino-americano atual

A saúde ambiental, animal e humana estão interligadas e precisam ser consideradas em conjunto na busca de soluções para os problemas atuais.

Rosana Onocko-Campos

Introdução

Nos países latino-americanos, compartilhamos de algumas características fundamentais: na maioria deles existe uma desigualdade flagrante, nossas democracias são jovens e têm algumas fragilidades institucionais, e todos fomos marcados de alguma forma pela violência colonizadora.

Nossas dívidas não são exclusivamente financeiras

(sejam elas externas ou com as elites internas), mas são também dívidas sociais. Precisamos incrementar a inclusão social na região e diminuir as inequidades. Precisamos de um modelo de

desenvolvimento que seja também inclusivo, respeitoso das diferenças e que não agrida o meio ambiente.

No campo da Saúde Coletiva, que é ao mesmo tempo um campo de produção de conhecimento, de intervenção para a produção de saúde e de produção de subsídios para a formulação de políticas públicas, essas características têm um impacto importante. Nunes ^[1] afirmava que a Saúde Coletiva possui uma tríplice dimensão: como corrente de pensamento, como movimento social e como prática teórica. Atravessamos um século XXI marcado pelo aquecimento global, recentemente submetido a uma crise pandêmica provocada pela covid-19 e a uma agudização dos movimentos migratórios (que a guerra europeia só nos permite imaginar que se agravará).

É nesse contexto que a ideia de "uma só saúde" (*One Health*)^[2,3,4] começou a ser defendida na saúde pública mundial. O que esse conceito significa? Que a saúde ambiental, animal e humana estão inevitavelmente interligadas e que não haverá solução isolada para nenhuma delas.

A trajetória da Saúde Pública

Ao longo da história, houve mudanças importantes na concepção sobre a produção de doenças.^[5,6] Na antiguidade, as doenças significavam problemas com os deuses. Em "Ares, águas e lugares" de Hipócrates já apareciam essas questões. Os gregos utilizavam essas ideias para escolher a localização das novas cidades. A Higeia (higiene) teria sido uma das filhas de Esculápio, sendo a outra a Panaceia. Nesse marco paradigmático, a produção de saúde dependeria de realizar agrados aos deuses: jejuns, sacrifícios, rezas, respeito de regras e interdições alimentares, etc.

Essa teoria demiúrgica dos povos antigos pressupunha intervenções coletivas e individuais. Rituais coletivos, obediência individual. Ainda que nos pareça uma teoria antiga e superada, tem sido reavivada na atualidade em alguns ambientes de fanatismo religioso.

Com a industrialização europeia, grandes parcelas da população na Inglaterra e outros países passaram a viver em condições de vida miseráveis. As cidades não tinham condições mínimas de moradia, água, esgoto. As doenças começaram a ser relacionadas a problemas com miasmas e com os pobres. Acreditava-se que os eflúvios e fedores contaminavam os humores do corpo. Assim, deram-se as

condições para que uma teoria errada desse certo, e em vários países começaram a se implantar medidas de saúde pública vinculadas ao saneamento e à higiene. Chadwick em Londres, Virchow na Alemanha, socialistas utópicos na França promoveram verdadeiras revoluções urbanas em prol da prevenção das epidemias e doenças.^[7] Os registros de óbitos e doenças – e, junto com eles, a estatística – tiveram nessa época seu grande impulso.^[8] Diríamos, então, que a produção de saúde teve um modelo assistencial urbanístico, com intervenções efetuadas fora do setor saúde. Essa trajetória permite afirmar que a saúde pública nasceu sem grande relação com a medicina e já portadora de uma contradição fundamental: entre controle

"Precisamos incrementar a inclusão social na região e diminuir as inequidades. Precisamos um modelo de desenvolvimento que seja também inclusivo, respeitoso das diferenças e que não agrida o meio ambiente."

sanitário e higiênico das populações e as reivindicações de direito humanitário. Essas tensões são constitutivas do campo da saúde pública e até hoje não estão resolvidas.

Em 1876, o artigo de Koch sobre o antraz marcou a entrada e o reconhecimento da era microbiana. Essas descobertas deram nascimento à parasitologia e à bacteriologia. Suas intervenções técnicas (ainda

antes do reconhecimento científico de sua relação causal com as doenças) foram incorporadas ao mundo da produção industrial alimentar na França e na Alemanha. O

desabrochar da teoria dos germes deu grande impulso a teoria da unicausalidade (um germe - uma doença). Nascia assim uma esperança iluminista: a de que a produção de saúde dependeria da descoberta dos agentes etiológicos e de agentes terapêuticos ou de procedimentos que evitassem a contaminação. Vacinas, eliminação de vetores, bloqueios de focos etc. desde finais do século XIX e ao longo do século XX se constituíram em grandes avanços. A saúde pública se vinculava cada vez mais à medicina (preventiva) e a clínica ganhou destaque. A descoberta das bactérias trouxe nova força a ideia de uma autoridade pública encarregada de zelar pelo



Figura 1. Edward Jenner (1749-1823), aplicando a primeira vacina contra a varíola em James Phipps. Vacinas, eliminação de vetores, bloqueios de focos, etc. desde finais do século XIX e ao longo do século XX se constituíram em grandes avanços (Imagem: Óleo sobre tela por Ernes Board, Dea Picture Library. Reprodução)

bem-estar da comunidade (campanhas, ações compulsórias: vacinas). (Figura 1)

Em 1965 Leavell, H. & Clark E. G.^[9] elaboram a teoria da multicausalidade. O modelo ecológico por eles apresentado trata das doenças como processo. A "história natural do processo de saúde-doença" estabeleceu os períodos de pré-patogênese e de patogênese. Também se apresenta nesse modelo a tríade ecológica, que destaca a relevância da relação entre agente, hospedeiro e ambiente para que se desenvolva uma doença. Surgem dali também os conceitos de prevenção primeira, segunda e terceira. A clínica (diagnóstico e terapêutica) seria, então, uma forma de prevenção secundária.

Cada uma dessas teorias causais produziu formas de intervir para evitar doenças, intervenções que abrangiam tanto o plano do individual quanto o coletivo.

Mais recentemente, nos anos 1990, no mundo anglo-saxão, cunhou-se a expressão *Syndemic approach* ^[10,11] para se referir ao estudo dos agravos que as relações entre várias infecções concomitantes, as relações entre doenças e ambiente social ou as relações entre condições psicossociais e doenças podem implicar nas condições de saúde. Essas interações adversas, segundo alguns autores, vão além das já muito conhecidas comorbilidade ou multi-morbidade, pois a abordagem sindêmica pretende focar e aprofundar as

relações desses agravos com o ambiente e a piora das condições de saúde das comunidades. A abordagem sindêmica prega o estudo exaustivo do ambiente e das relações sociais em diferentes agrupamentos e busca melhorar a eficácia dos tratamentos e reduzir os custos das intervenções.^[12]

“Issues such as global warming, environmental degradation, global health disparities, human rights violations, structural violence, and wars exacerbate syndemics with damaging impacts on global health. A syndemic understanding of disease is now gaining recognition in the public and global health research spheres.”^[11]

Uma abordagem sem dúvida mais complexa que a da saúde pública clássica, e que teve rápida aceitação no nosso meio. Mas, chama a atenção – quase como uma forma de neocolonialismo – que nós latino-americanos devamos esperar que venha do Norte um modelo explicativo funcionalista, que apenas engatinha em direção ao que desenvolvemos na região desde os anos 1970 do século passado.

A medicina social latino-americana e a saúde coletiva brasileira

Qual é a diferença entre a Saúde Coletiva brasileira e a Saúde Pública clássica mundial? A Saúde Coletiva é uma criação brasileira, nascida no final dos anos 1970, no marco de um contexto latino-americano que se encontrava em ebulição e fervilhante e que tratava das questões sociais associadas à saúde por meio do que se chamava de “medicina social”.^[1]

A Medicina Social latino-americana centrou suas análises na desigualdade do sistema social vigente (determinada pela macroestrutura produtiva), chamando a atenção para a necessidade ética e política de mudar as condições de produção como principal determinante do processo de saúde-doença. Claramente ancorada no estrutural marxismo, essa argumentação clássica se renova na atualidade em tempos de aquecimento global.

Nesse marco disciplinar da medicina social latino-americana, as desigualdades foram apontadas não somente como produtoras de doença, mas também como obstáculo para a recuperação da saúde. Assim, o acesso à atenção, à

qualidade de assistência, e as formas que assume – ou não – a política pública passaram a se constituir em objeto de estudo e preocupação. (Figura 2)

Para alguns autores, a singular articulação entre elaborações teóricas e o engajamento na construção do Sistema Único de Saúde (SUS) são características *sui generis* da Saúde Coletiva brasileira.^[13]

Há consenso entre vários autores^[1,13] sobre o fato de a Saúde Coletiva ter nascido do encontro da Saúde Pública com as Ciências Sociais, num momento histórico muito marcado nas ciências sociais locais pela sustentação teórica no estrutural-marxismo: assim, desde as suas origens, a

“A Saúde Coletiva é uma criação brasileira, nascida no final dos anos 1970, no marco de um contexto latino-americano que se encontrava em ebulição e fervilhante e que tratava das questões sociais associadas à saúde por meio do que se chamava de ‘medicina social’.”

Saúde Coletiva reconhece o sujeito como um ser histórico e social.

A Saúde Coletiva Brasileira produziu – em seus quase 50 anos de existência – importantes contribuições críticas em relação aos efeitos da hegemonia da biomedicina. Relevantes análises sobre os efeitos das desigualdades na distribuição de doenças e agravos. E manteve uma clara ênfase na determinação sócio-histórica e cultural dos objetos estudados. Desta forma, quando falamos em saúde coletiva, não estamos em um campo que coincide totalmente com o da biomedicina, ainda que se superponha parcialmente com ela.

Isso é importante de se ressaltar, e às vezes nos custa que seja compreendido por nossos colegas de outras partes do mundo. Mas posicionar-se no campo da saúde coletiva implica uma proximidade com as ciências sociais e certa crítica da biomedicina como forma hegemônica de reflexão sobre a saúde.

Para muitos de nós, sanitaristas formados na saúde coletiva, temas como os dos sistemas produtivos, questões energéticas e desenvolvimento regional tornaram-se temas estratégicos e próximos de nossa disciplina. Assim,



Figura 2. As desigualdades sociais são não apenas produtoras de doença, como também obstáculo para a recuperação da saúde.

(Imagem: Nailana Thiely/ Ascom UEPA. Reprodução)

também sabemos desde o advento de nossa disciplina, da necessidade da interdisciplinaridade e da insuficiência das ciências duras para explicar, compreender e resolver problemas epidemiológicos. As interações entre patógenos, entre questões sociais e distribuição e/ou agravos de doenças caracterizam o campo da Saúde Coletiva desde seus primórdios.

A atual conjuntura na região

Vivemos um mundo globalizado e marcado pelas desigualdades. As marcas da pandemia só exacerbaram a concentração da riqueza e a exclusão. Sequelas podem ser detectadas na piora de indicadores de saúde, no incremento das desigualdades de acesso à educação e no aumento da violência doméstica.^[14,15]

Grande parte da alimentação mundial é produzida na nossa região. Isso poderia nos dar uma vantagem estratégica significativa ou, ao contrário, nos deixar sujeitos aos desígnios do norte global. A América Latina tem condições de transformar a produção mundial de alimentos em cadeias produtivas limpas, ecologicamente sustentáveis e respeitadas com o meio ambiente de nossos povos. (Figura 3)

Também temos – como região – uma necessidade urgente de sair do papel de produtor global de commodities que sempre nos coloca em desvantagem nas balanças comerciais, e poderíamos muito bem planejar cadeias produtivas mais limpas e interligadas regionalmente. Elas existem hoje entre alguns países para a montagem de

automóveis, por exemplo. Por que não expandir essas negociações para outras áreas e incorporar mais tecnologia? Todos os nossos países sofreram desesperadamente devido à falta de suprimentos básicos de saúde causados pela pandemia de covid-19. Máscaras foram importados da China, países ricos correram para comprar vacinas em quantidades que às vezes quadruplicavam sua população, e até hoje temos regiões da África com taxas de vacinação muito baixas.

Precisamos assumir que podemos atingir a soberania sanitária. No Brasil, o que chamamos de Complexo Econômico Industrial da Saúde ^[16] tem sido amplamente estudado. Podemos e devemos produzir e desenvolver medicamentos, vacinas e insumos para a saúde de maneira autônoma.

Em suma, a produção de um setor (como o da saúde) que consome e demanda muita tecnologia e capacitação para seu desenvolvimento, que estimula o desenvolvimento científico e que ativa uma grande cadeia de valor, aumentando o PIB, poderia se tornar um grande mobilizador das nossas economias. Hoje, grande parte dos insumos que consumimos no Sul Global vem da Índia. Contudo, temos em solo latino-americano importantes centros de pesquisa e importantes Universidades que poderiam realizar fantásticos trabalhos conjuntos de colaboração.

Precisamos – sim – que esses benefícios do desenvolvimento econômico sejam utilizados para reduzir as iniquidades e parte delas também pode ser enfrentada por meio do setor saúde. Por isso, temos insistido em que a conquista de “One Health” esteja também indissociavelmente ligada ao desenvolvimento dos nossos sistemas de saúde, que defendemos como públicos e de acesso universal. Grande parte da população de nossos países acessa benefícios essenciais às suas próprias custas, o gasto do próprio bolso representa uma grande parte das despesas de muitas famílias latino-americanas.

Temos dívidas históricas com nossos povos. Arrastamos marcas de racismo, machismo e colonialismo. Precisamos avançar em prol da dignidade de nossos povos, única forma de combater a violência e a exclusão crescentes que se arrastam pela região. Temos defendido que a mudança de uma sociedade segregada para uma sociedade tolerante à diferença e razoavelmente integrada não se dará “naturalmente”. Muito esforço concreto deverá ser empreendido pelas políticas públicas para a superação

empreendido pelas políticas públicas para a superação desse *status quo*.^[17]

Bhabha ^[18] destaca que na contemporaneidade só é possível pensar na mudança política a partir de um momento híbrido, que enfatiza a necessidade de heterogeneidade e de negociações agonísticas porque não existe uma comunidade unitária que possa afrontar a necessidade de articulação de interesses. Os equipamentos das políticas públicas deveriam ser amplamente reformados para evitar a tentativa neocolonial de produzir identidades homogêneas. Longe de ser um problema para o caminho progressista (como as leem alguns setores da esquerda) as reivindicações identitárias poderiam ser, assim, o caminho metonímico da mudança social.

Precisamos ser atores na promoção de *advocacy* na defesa da vida, da dignidade, da equidade e ativos também em recusar qualquer posição de subalternidade, seja ela epistemológica, linguística ou tecnológica.^[18]

“Podemos e devemos produzir e desenvolver medicamentos, vacinas e insumos para a saúde de maneira autônoma.”

A troca de experiências, colaboração e aconselhamento e assessorias também podem nos fortalecer neste campo dos Sistemas Integrados de Saúde. Em nome das gerações futuras, tomara que saibamos como fazê-lo!

Ou, como apontam outros autores, ^[19] a saúde coletiva, ao introduzir as ciências humanas no campo da saúde, reestrutura as coordenadas desse campo, trazendo para o seu interior as dimensões simbólica, ética e política, o que somente poderá revitalizar o discurso biológico

Rosana Onocko-Campos é professora da Faculdade de Ciências Médicas (FCM) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Assumiu a chefia do Departamento de Saúde Coletiva da FCM da Unicamp e a presidência da Associação Brasileira de Saúde Coletiva (Abrasco) em 2021. Participa ativamente da formação de médicos e é Coordenadora do Programa de Residência Multiprofissional em Saúde Mental e Coletiva e do grupo de pesquisa Saúde Coletiva e Saúde Mental: Interfaces desde 2003.

Notas

[i] Tradução: “Questões como aquecimento global, degradação ambiental, disparidades na saúde global, violações dos direitos humanos, violência estrutural e guerras exacerbam as zoonoses com impactos prejudiciais à saúde global. Uma compreensão sindêmica da doença agora está ganhando reconhecimento nas esferas de pesquisa em saúde pública e global”.

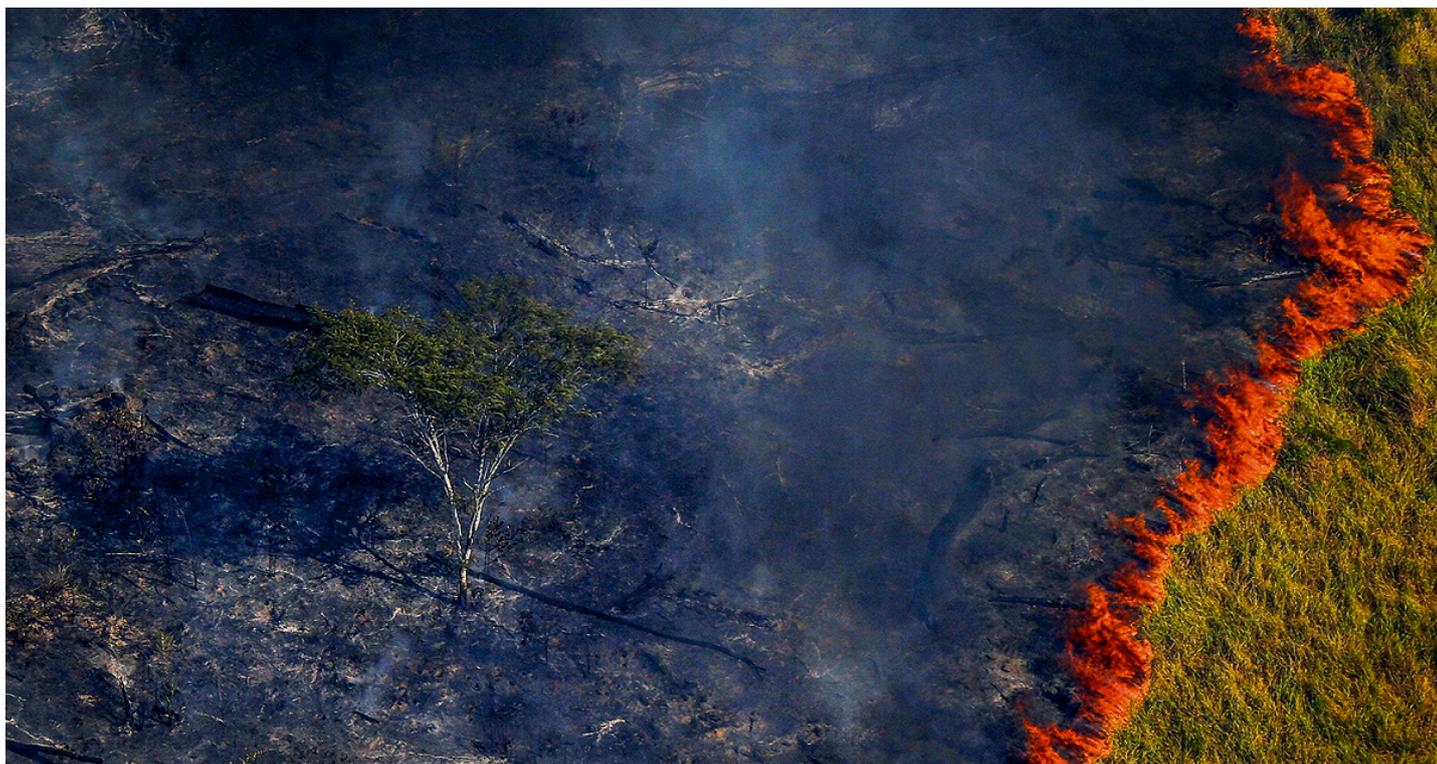


Figura 3. A América Latina tem condições de transformar a produção mundial de alimentos em cadeias produtivas limpas, ecologicamente sustentáveis e respeitadas com o meio ambiente.

(Imagem: Embrapa. Reprodução)

Referências

- [1] Nunes Everardo Duarte, 1994. SAÚDE COLETIVA: HISTÓRIA DE UMA IDÉIA E DE UM CONCEITO. In: Saúde e Sociedade 3 (2) 5-21
- [2] Zinsstag, J., Schelling, E., Waltner-Toews, D., Whittaker, M. and Tanner, M. (2015) One Health: The Theory and Practice of Integrated Health Approaches. CABI, Wallingford, United Kingdom
- [3] Rüegg, S.R., Häsler, B. and Zinsstag, J. (2018) Integrated Approaches to Health: A Handbook for the Evaluation of One Health. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands.
- [4] World Health Organization. (2019) Taking a Multisectoral, One Health Approach. A Tripartite Guide to Addressing Zoonotic Diseases in Countries. World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Organization for Animal Health, Geneva, Switzerland. Available from: https://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Media_Center/docs/EN_TripartiteZoonosesGuide_webversion.pdf. Retrieved on 22-02-2020
- [5] Rosen, G., 1958. Uma história da Saúde Pública. Ed. Unesp – Hucitec – Abrasco (1994).
- [6] Rosen, G., 1980. Da polícia médica à medicina social. Tradução de Ângela Loureiro. Graal Ed. Rio de Janeiro.
- [7] Snow, J., 1990. Sobre a maneira de transmissão do cólera. 2ª Ed Brasileira, revista por J.R Alcantara Bonfim. São Paulo- Rio de Janeiro. Ed Hucitec-Abrasco.
- [8] Sigerist, H.E., 2011. Civilização e doença. Tradução de Marcos Fernandes da Silva Moreira. São Paulo. Editora Hucitec- Sobravime- Sindicato dos médicos de Campinas.
- [9] Leavell, H.; Clark, E.G. Medicina Preventiva São Paulo: McGraw-Hill, 1976.
- [10] Merrill Singer, Nicola Bulled, Bayla Ostrach, Emily Mendenhall Syndemics and the biosocial conception of health. In: The Lancet Vol 389 March 4, 2017
- [11] Laura Hart, Richard Horton Syndemics: committing to a healthier future (comment) In: The Lancet Vol 389 March 4, 2017
- [12] Singer M. Introduction to syndemics: a systems approach to public and community health. San Francisco, CA: Jossey-Bass, 2009
- [13] Ligia Maria Vieira-da-Silva and Patrice Pinell. The genesis of collective health in Brazil. In: Sociology of Health & Illness Vol. 36 No. 3 2014 ISSN 0141-9889, pp. 432–446 doi: 10.1111/1467-9566.12069
- [14] Souza, L. de J., & Farias, R. de C. P.. (2022). Violência doméstica no contexto de isolamento social pela pandemia de covid-19. Serviço Social & Sociedade, (144), 213–232. <https://doi.org/10.1590/0101-6628.288>
- [15] Kim, B., & Royle, M. (2023). Domestic Violence in the Context of the COVID-19 Pandemic: A Synthesis of Systematic Reviews. Trauma, violence & abuse, 15248380231155530. Advance online publication. <https://doi.org/10.1177/15248380231155530>
- [16] Gadelha, C. A. O complexo industrial da saúde e a necessidade de um enfoque dinâmico na economia da saúde In: Ciênc. saúde coletiva 8 (2) 2003 <https://doi.org/10.1590/S1413-81232003000200015>.
- [17] Onocko-Campos, R. Em busca de explicações para os massacres nas escolas. Outra saúde. <https://outraspalavras.net/outrasaude/em-busca-de-explicacoes-para-os-massacres-nas-escolas/>
- [18] Bhabha, Homi, 2013. O lugar da cultura. Tradução de Myriam Ávila, Eliana Lourenço de Lima Reis e Gláucia Renate Gonçalves. 2. Ed. Belo Horizonte: Editora UFMG.
- [19] Birman, J. A physis da saúde coletiva. Physis - Rev. Saúde Coletiva, 1 (1): 7-11. 1991.



Capa. Exploração de recursos naturais, destruição do meio ambiente, desrespeito aos direitos humanos traz graves consequências sociais e econômicas para a sociedade
(Foto por Bruno Kelly/Reuters. Reprodução)

Desafios da ciência básica para o alcance do desenvolvimento sustentável

Como a ampliação do conhecimento pode auxiliar no manejo prudente dos recursos naturais

Priscylla Almeida

2023 foi definido pela [Unesco](#) e pelas [Nações Unidas](#) (ONU) como o [ano internacional da ciência básica para o desenvolvimento sustentável](#), visando avançar e alertar sobre a [Agenda 2030: um plano de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável \(ODS\) e 169 metas adotado em 2015 pela Assembleia Geral da ONU](#). Dentre os objetivos estipulados para os países-membros, diversos estão explicitamente ligados a avanços científicos. Entre eles estão a erradicação da pobreza e da fome, a saúde e o bem-estar, a educação de qualidade, a

energia limpa e acessível, a ação contra a mudança global do clima, a paz, a justiça e a igualdade de gêneros.

“O futuro da humanidade e a ciência são indissociáveis. Sem o investimento no conhecimento dos mais variados processos, como dos ecossistemas, por

exemplo, não temos como avançar na mitigação dos efeitos provocados pelo homem para atender às suas próprias necessidades”, declara Luciana Gomes Barbosa, professora do Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais (DFCA) da [Universidade Federal da Paraíba](#) (UFPB) e coordenadora do GT Meio Ambiente da [Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência](#) (SBPC).

Desde 2014, mais de 30 países aumentaram seus investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de forma a alinhar seus compromissos com os ODS's, [segundo o Relatório de Ciências da Unesco publicado em 2021](#). Houve inclusive, um aumento de 20% nos investimentos globais em ciência e tecnologia entre os anos de 2013 e 2018, sendo a China e os Estados Unidos, juntos, os responsáveis por 63% desse aumento. Apesar do avanço, oito em cada dez países ainda aplicam menos de 1% de seu Produto Interno Bruto (PIB) em P&D. No Brasil, cerca de 1,15% do PIB é destinado ao setor. Entre o período de 2014 e 2018, o total aplicado em ciências diminuiu quase 16%, com queda de 50% no orçamento do Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e

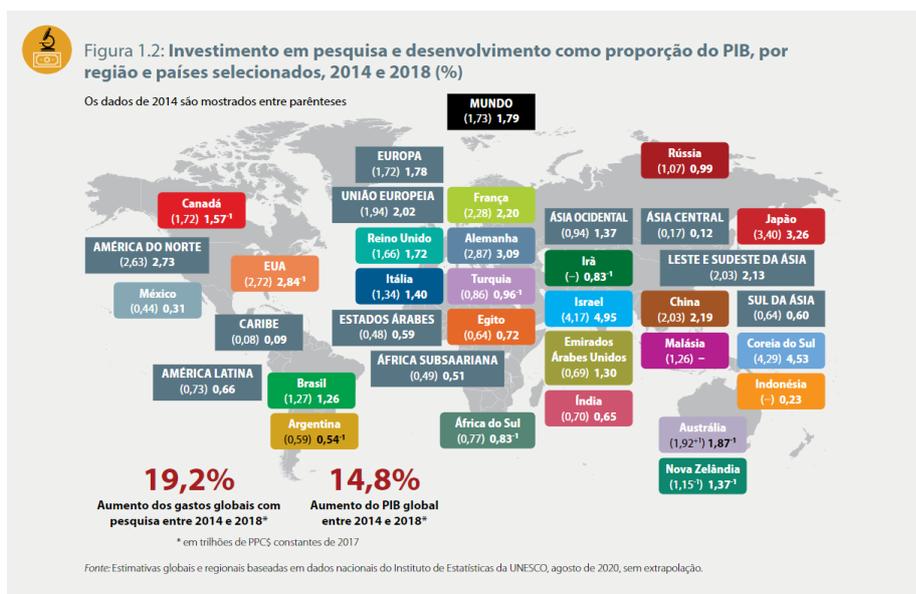


Figura 1. Investimento em pesquisa e desenvolvimento como proporção do PIB, por região e países selecionados, no período de 2014 a 2018 (%)
(Fonte: [Relatório de Ciências da Unesco](#))

Comunicações (MCTI). (Figura 1)

Desenvolvimento sustentável

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu em 1983 na ONU com o visando atender às necessidades do presente sem comprometer o futuro. Baseado em três princípios básicos interligados – ambiental, econômico e social – o desenvolvimento sustentável destaca o meio ambiente e alerta para a finitude dos recursos naturais. O princípio ambiental diz respeito à preservação e conservação dos ecossistemas, à utilização racional dos recursos naturais e à redução do impacto ambiental das atividades humanas. Já o princípio econômico se refere à geração de riqueza, emprego e renda, à distribuição equitativa dos benefícios e à promoção da inovação e da competitividade. E o princípio social se relaciona à garantia dos direitos humanos, à promoção da igualdade e da diversidade, à melhoria da qualidade de vida e à participação democrática da população.

Para que haja um desenvolvimento sustentável é preciso que governos, sociedade civil e empresas caminhem juntas. “Não pode haver desenvolvimento sem planejamento. Por isso, o papel das ciências, principalmente as básicas, é fundamental no manejo preventivo e precaucional, incluindo uma importância ímpar da ciência em

trazer informação ancorada visando mitigar os problemas provocados pela má gestão da natureza e dos bens comuns”, declara José Rubens, professor dos cursos de graduação e pós-graduação em Direito da [Universidade Federal de Santa Catarina](#) (UFSC) e coordenador do Grupo de Pesquisa Direito Ambiental e Ecologia Política na Sociedade de Risco do [Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico](#) (CNPq).

Adoção dos ODS's

Apesar de empresas e governos se dizerem comprometidos com a temática, na prática, ainda é possível observar que a adoção e implementação dos ODS's caminham a passos lentos, onde a falta de dados dificulta um monitoramento mais preciso por parte dos órgãos internacionais. Além disso, a exploração de recursos naturais, o desrespeito aos direitos humanos e as consequências sociais e econômicas são alguns dos fatores que fazem os países entrarem literalmente em uma corrida contra o tempo para repensar seus modelos de desenvolvimento até 2030. (Figura 2)

“Muitas empresas de combustíveis fósseis, por exemplo, que se comprometem a reduzir as emissões de gases nocivos e a fazer a transição para energias renováveis, avançam em uma velocidade excessivamente lenta, sendo mais um discurso para a venda de uma ideia do que as ações em si”, declara o professor e climatologista Carlos Nobre, coordenador do [Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia \(INCT\) para Mudanças Climáticas](#) e um dos autores do Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que foi agraciado com o Prêmio Nobel da Paz em 2007.

Para Larissa Bombardi, professora da Faculdade de Geografia da [Universidade de São Paulo](#) (USP): “é preciso desmistificar a maneira como a sociedade e o capitalismo se reproduzem sem limites, já que não é possível em um planeta finito haver uma reprodução infinita. Incluindo expressões que escondem atrás de si contradições dos próprios termos para tentar dar uma ‘casca verde’ a algo que não vai ser verde nunca”, alerta. “Como uma sociedade com recursos finitos lidará com essa finitude e com a justiça social ao mesmo tempo? É este desafio e esta amplitude que precisamos discutir”.

Autora do Atlas [“Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União](#)

[Europeia](#)” publicado em 2019 e com atualização prevista para este ano, Bombardi cita um exemplo observado em suas pesquisas: “empresas da União Europeia exportam cotidianamente para o Brasil os agrotóxicos proibidos em seu próprio território. E quando indagados sobre este ‘[duplo padrão europeu](#)’, os representantes argumentam que não há nada de errado, já que os países que importam é que são livres para decidir o que querem ou não importar. Ou seja, é uma forma de atribuir os males às próprias vítimas”.

“A exploração de recursos naturais, o desrespeito aos direitos humanos e as consequências sociais e econômicas são alguns dos fatores que fazem os países entrarem literalmente em uma corrida contra o tempo para repensar seus modelos de desenvolvimento até 2030.”

Guerra na Ucrânia e o retrocesso no desenvolvimento sustentável

Não bastando o lento crescimento aplicado por parte dos países ao desenvolvimento sustentável, a Guerra na Ucrânia é outro fator que influencia diretamente no aumento da emissão de gases nocivos, no impacto de políticas de desenvolvimento sustentável e na cooperação climática. A instabilidade política derivada da guerra fez com que os países buscassem fornecimento de combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás natural, gerando assim uma diminuição nos esforços para a redução das emissões, aplicados por eles em suas matrizes energéticas. “Antes da guerra na Ucrânia nós já vínhamos observando o aumento das emissões de gases nocivos, com exceção do período da pandemia onde houve uma redução de 5% a

“O Brasil, apesar de ter assumido o compromisso com a Agenda 2030, não avançou satisfatoriamente em nenhuma dos ODS’s.”



Figura 2. Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU
(Fonte: ONU)

7%, devido aos *lockdowns* em 2020”, explica Nobre. “Mas, depois do fim da pandemia, infelizmente, as emissões voltaram a aumentar e se tornaram as mais altas em 2022, já que o início da guerra na Ucrânia desempenhou um papel direto no que vínhamos tentando reduzir até então”.

Segundo o [relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas \(IPCC\) publicado neste ano](#), a temperatura média mundial já subiu 1,1 grau Celsius, aumentando assim a frequência e a intensidade das ocorrências dos eventos climáticos extremos. As emissões precisam cair imediatamente e serem cortadas quase pela metade para se chegar até 1,5 grau Celsius considerado acima dos níveis pré-industriais (meta estipulada no Acordo de Paris) até 2030. “É muito difícil imaginar que conseguiremos não aumentar ou estabilizar todas as emissões até este prazo, já que, tais medidas e políticas de redução já deveriam ter sido tomadas há pelo menos 10 anos”, declara Nobre. (Figura 3)

Cenário brasileiro para o alcance dos ODS’s

O Brasil, apesar de ter assumido o compromisso com a Agenda 2030, não avançou satisfatoriamente em nenhuma dos ODS’s, segundo apontamento realizado pelo [Relatório Luz produzido em 2021 pelo Grupo de Trabalho da Sociedade Civil](#) formado por 106 especialistas de organizações não-governamentais, movimentos sociais, fóruns e universidades. Das 169 metas previstas nos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável a serem atingidos até 2030, 54,4% estão em retrocesso, 16% estão estagnadas, 12,4% ameaçadas por cortes de verbas e descontinuidade de políticas públicas e 7,7% tiveram progresso insuficiente.

Ainda, quinze metas não puderam ser avaliadas por falta de informações disponíveis. Fatores como pandemia, desmatamento, poluição e o enfraquecimento de investimentos em áreas sociais e pesquisas científicas influenciam diretamente neste cenário. “O Brasil precisa incentivar muita educação ambiental e consciência ecológica. A ciência básica precisa se preparar, saindo de uma visão linear dos problemas ambientais, para uma visão sistêmica e integrativa das questões ambientais”, menciona Rubens.

O país tem qualidade científica comprovada para produzir conhecimento rumo ao avanço de políticas públicas e sustentáveis, contudo, é indiscutível a necessidade de investimento nas áreas sociais e ambientais para avançar nos ODS's. “Em escala internacional, o Brasil sempre foi liderança e referência em estudos associados à sustentabilidade e inovação, não apenas tecnológica, mas também social”, comenta Barbosa. “Um exemplo é o potencial que esses objetivos propostos pela ONU tem para o setor de inovação. Estamos diante de uma crise climática que nos afeta como sociedade e a sustentabilidade não está na agenda prioritária de vários governos e empresas. Se priorizarmos algumas dessas metas, como água potável e saneamento, contribuiríamos para a melhoria da saúde populacional e da desigualdade também associada a vulnerabilidade e isolamento que a poluição hídrica provoca. Ou seja, isso poderia ser viabilizado através da junção de setores e investimentos em ciência básica.”

Desafios

Não é de hoje que cientistas de diferentes áreas, principalmente os relacionados às disciplinas básicas, concentram esforços para que seus trabalhos possam desempenhar um papel mais significativo na corrida por um futuro mais sustentável. Contudo, os desafios são muitos, impactando na perda de profissionais qualificados nas áreas científicas. Como o caso do fenômeno conhecido como “fuga de cérebros”, que consiste na saída de profissionais qualificados de países menos desenvolvidos em busca de melhores condições de emprego e renda. Condições insatisfatórias e escassez de novas oportunidades no mercado de trabalho, cenário político-econômico, qualidade de vida e baixo estímulo para setor de P&D são alguns dos motivos. “As ciências humanas carecem obviamente de recursos. O que temos conquistado tem muito mais a ver

com comprometimento do corpo científico do que a disponibilidade de recursos que sabemos que não temos no país. Não dá para fazer pesquisa com a precariedade que ainda existe nos setores da ciência”, afirma Bombardi. Para Rubens, não há dúvida que os desafios são muitos face ao que lidamos com problemas altamente complexos e interconectados e que afetam o equilíbrio ecológico do planeta. “O importante é que a ciência continue a buscar um conhecimento plural, interdisciplinar, reflexivo e sistêmico, tendo como alvo uma justiça para um futuro melhor”, declara.

O desenvolvimento sustentável só será atingido

“O desenvolvimento sustentável só será atingido com ações integradas, destacando as preocupações ambientais, dando voz e vez às minorias e lutando contra as desigualdades para ampliação de um conhecimento realista do uso dos processos e recursos naturais.”

com ações integradas, destacando as preocupações ambientais, dando voz e vez às minorias e lutando contra as desigualdades para ampliação de um conhecimento realista do uso dos processos e recursos naturais, permitindo assim, uma gestão mais eficiente e sobretudo responsável.

Para Bombardi “é necessário dar um basta no tipo de consumo sem fim que essa sociedade tem, onde novas invenções são feitas em um mecanismo que nos faz crer que tudo isso é necessário, quando na verdade não é. Necessário é a gente viver em uma sociedade que seja justa e igualitária, do ponto de vista social e também ambiental”.



Figura 3. A temperatura média mundial já subiu 1,1 grau Celsius, aumentando assim a frequência e a intensidade das ocorrências dos eventos climáticos extremos

(Foto: Gil Leonardi/ Imprensa MG. Reprodução)

Priscylla Almeida é jornalista e produtora de conteúdo para áreas de saúde e ciência, marketing e publicidade. Apaixonada por filmes, gatinhos e pela rotina dinâmica que a comunicação traz: o contato com gente, a curiosidade de assuntos diversos, a troca.



Capa. Um dos objetivos do Ano Internacional da Ciência Básica para o Desenvolvimento Sustentável é promover a educação e a formação científica.

(Foto: Divulgação/Agência Brasil)

Fronteiras borradas: quando a ciência básica encontra a realidade social brasileira

Quando as disciplinas da ciência básica saem dos laboratórios, seus contornos tornam-se porosos pela força da transdisciplinaridade e de novas perspectivas coletivas que atravessam os campos da educação, saúde e meio ambiente.

Bruno Cesar Dias

Produto primeiro da curiosidade humana, chave para a compreensão do mundo, acervo do conhecimento para as próximas gerações. São várias as poéticas utilizadas ao se dissertar sobre as ciências básicas. Essa forma de classificar e compartimentar o conhecimento científico está no centro dos debates do Ano Internacional das Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável (IYBSSD 2022, na sigla em inglês). A proposta foi lançada por Michel Spiro, presidente da [União Internacional de Física Pura e Aplicada](#)

(IUPAP) e abraçada pela [Organização das Nações Unidas](#) (ONU) e pela [Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura](#) (Unesco), embalando uma vasta agenda de atividades desde seu lançamento, em 8

de julho de 2022, até julho deste ano.

As ciências básicas, contudo, têm suas fronteiras borradas quando convergem e encontram com as vivências da educação, da saúde e do meio ambiente diretamente impactados pela realidade social de um país de renda média e grande desigualdade como o Brasil.

As ciências básicas na escola: da organização gradual e seriada à complexa e ininterrupta integração do conhecimento

Galáxias consideradas as mais antigas do universo são descobertas pela emissão de luz e radiação captadas por super telescópios; proteínas terapêuticas são ativadas por meio de vacinas feitas com material genético e complexos modelos de linguagem em Inteligência Artificial (IA) tornam-se acessíveis em telefones celulares. Ainda é válido explicar e ensinar esse complexo mundo a partir da separação dos conhecimentos de base lógica, apoiados na ideia de *physis*, dos pragmáticos, orientados pela ideia de *techne*?

Naomar de Almeida Filho, professor do Instituto de Saúde Coletiva da



Figura 1. Projeto de pesquisa em saúde e ambiente Construindo Comunidades Saudáveis, integrado ao Periferias em Todos os Cantos (PETOC)
(Foto: Nana Moraes. Reprodução)

[Universidade Federal da Bahia](#) (UFBA), vê nessa distinção as marcas históricas da Revolução Industrial, de uma visão processual fatiada e linear da organização do trabalho e do mundo, que além de não representar mais o conhecimento contemporâneo, impacta negativamente a educação ao manter uma antiga ideia de complexificação gradual, na qual é preciso ensinar o mais simples primeiro para que o complexo venha somente numa etapa posterior. “Isto traz um desafio de como formar sujeitos capazes de pensar na complexidade e expõe uma certa mitologia, uma aplicação da visão linear como se fosse necessário às disciplinas serem tratadas em separado para depois se somarem. Só que não tem um depois, pois a integração do conhecimento acontece o tempo inteiro”.

O titular da Cátedra de Educação Básica da USP localiza no arcabouço educacional brasileiro a origem dessa visão linear, num desenho curricular cujas matérias do ensino fundamental passam a se organizar em áreas no ensino médio. Na universidade, quando seria esperado um novo olhar sobre a especialização do conhecimento para a formação profissional, o mesmo processo reticulado e fragmentado é novamente rerepresentado em cadeiras seriadas, presentes na maioria dos currículos dos cursos superiores. “O curioso a se pensar é que, pelo menos na organização curricular atualmente vigente no Brasil, é

justamente na educação infantil em que se aplica essa indiferenciação necessária para o pensamento da complexidade, quando se estimula um pensamento mais rico e sofisticado”, reforça Almeida Filho.

Essa sofisticação e riqueza do pensamento científico, para Adriana Mohr, professora do Departamento de Metodologia de Ensino e Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica da [Universidade Federal de Santa Catarina](#) (UFSC), acontece quando os estudantes são apresentados a problemas, sejam eles cotidianos, práticos ou abstratos, e que, para solucioná-los, consigam ir além das fronteiras disciplinares, transformando informação científica em conhecimento. “O central é fazer o conhecimento significativo para aquele grupo de alunos e problematizá-lo. Ao trabalhar com problema de um esgoto em frente à rua, por exemplo, poder pensar esse mesmo esgoto e transformá-lo num modelo do mundo microbiano, num problema intelectual para os alunos, e assim discutir o que são microrganismos e articular outros conhecimentos, como compreender a distribuição territorial da cidade pelas redes pluviais. É pensar num problema intelectual para além do operativo”.

A pesquisadora destaca que essa articulação está na base do papel primeiro das ciências na formação de cidadãos mais críticos e precisa dialogar com as realidades e a diversidades do ambiente escolar. “Então, química, física e biologia, assim como geografia e história precisam ser trabalhadas no contexto da escola, onde se encontram sujeitos distintos, um ambiente muito rico em termos de diversidade, com crianças, jovens e adultos com outras expectativas, com outras realidades”, completa Mohr.

As ciências básicas na saúde e no meio ambiente: coletividade e solidariedade na produção de novos sentidos para a sociedade

Os conhecimentos em saúde e em meio ambiente quando em contexto social também exigem uma ciência que queira ser mais do que básica.

Yeimi Alzate López, antropóloga sanitária e docente do Instituto de Saúde Coletiva da UFBA, coordena o Construindo Comunidades Saudáveis. O projeto de pesquisa em saúde e ambiente é integrado ao Periferias em Todos os

Cantos (PETOC), articulação interdisciplinar e intradisciplinar de diversos projetos de extensão liderados pela UFBA e presente nas comunidades soteropolitanas. Ela e sua equipe realizam um trabalho há mais de cinco anos em duas localidades que, por meio de metodologias como mapeamento colaborativo, cartografia afetiva, memorial comunitário e inquérito sorológico conseguem produzir dados científicos consistentes e debater conceitos básicos da biologia e da saúde, como noções como risco, prevenção, vetor e transmissão de doenças

“Isto traz um desafio de como formar sujeitos capazes de pensar na complexidade e expõe uma certa mitologia, uma aplicação da visão linear como se fosse necessário às disciplinas serem tratadas em separado para depois se somarem. Só que não tem um depois, pois a integração do conhecimento acontece o tempo inteiro.”

infecciosas como a leptospirose. “Conseguimos ampliar a visão e perceber que, mesmo falando de saúde e ambiente, a gente ficava correndo atrás da doença. No entanto, as comunidades têm outras questões relacionadas à saúde que não são necessariamente as doenças, que são importantes e estão ligadas aos processos de vulnerabilização, às questões das desigualdades sociais e da formação das periferias”. (Figura 1)

Por motivos alheios à pandemia, mas sincrônicos a ela, as comunidades Alto do Cabrito e Pau da Lima foram escolhidas para um

“Química, física e biologia, assim como geografia e história, precisam ser trabalhadas no contexto da escola, onde se encontram sujeitos distintos, um ambiente muito rico em termos de diversidade, com crianças, jovens e adultos com outras expectativas, com outras realidades.”



Figura 2. Quilombolas, lideranças comunitárias, indígenas e movimentos sociais devem ter ampla participação como integrantes de copesquisa, coautoria, colaboração e composição das bancas.

(Foto: Emerson Silva / Governo do Tocantins. Reprodução)

aprofundado de pesquisa participante com os princípios freireanos, envolvendo todas as ciências, incluindo as mais duras, como epidemiologia e ecologia. A mudança provocou um embate sério nas relações entre as disciplinas, e todos os participantes, de pesquisadores a mobilizadores comunitários, tiveram de fazer treinamentos e vivências em Educação Popular em Saúde. Para López, foi a partir dessas escolhas e tensões que os “cliques” sobre as melhores formas de se debater ciência aconteceram. “Não adianta ficar empurrando conteúdo, por exemplo, se uma questão é da ciência básica, pois assim não vão ter interesse. Quando a gente falava de mapeamento colaborativo, parecia uma coisa de brincadeira, isso já despertou o olhar. Depois, a gente explicou que aquilo era uma técnica de pesquisa, que eles estavam sendo pesquisadores com a gente, entrevistando as pessoas da comunidade, tornou-se uma brincadeira legal e foram chamando outros jovens. É uma forma de as pessoas voltarem a ter um sonho da ciência, porque a ciência foi ficando excludente, a educação foi ficando distante de muitas realidades. Então, as pessoas já não sonham mais com a ciência”, conclui.

Trazer as experiências da comunidade para o debate da ciência também é um movimento vivenciado nas ações em meio ambiente, como aponta Celso Sánchez, atual presidente da [Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências](#) (Abrapec). Biólogo de formação e doutor em educação e com atuação nas temáticas do meio

ambiente, o pesquisador vai além e reivindica uma mudança de compreensão epistêmica e de protocolos nos processos metodológicos da produção acadêmica para uma ampla participação de quilombolas, lideranças comunitárias, indígenas e movimentos sociais como integrantes de copesquisa, coautoria, colaboração e composição das bancas. “Isso significa uma mudança paradigmática bastante significativa. Não é fácil, não é um projeto simples, mas estou absolutamente convencido de que é fundamental, se a gente quiser de fato fazer com que a ciência básica seja um espaço de reverberação e de sentido”, defende Sánchez. (Figura 2)

Independentemente da radicalidade da proposta, o que Yeimi Lopéz e Celso Sánchez sinalizam é a centralidade de uma perspectiva transdisciplinar e coletiva – para além dos tradicionais pares – no fazer científico. Esta forma de compreensão vai em direção contrária ao individualismo e empreendedorismo hegemônicos, como analisa Naomar de Almeida Filho. “A inter-transdisciplinaridade é o grande desafio e precisa ser tratada como uma estratégia de transversalidade. As discussões sobre essa forma de envolver os conhecimentos são debatidas no campo da educação como se fossem uma referência meramente individual. Só que essa interpretação tem a premissa equivocada, de que a promoção de uma prática inter-transdisciplinar trata de uma síntese individual, enquanto essa é uma premissa que precisa articular as ideias de coletivo e solidariedade”, reforça, defendendo a incorporação de tais práticas como a ideia de ciência, entendida como um modo de produzir conhecimento, dentre vários outros, e não como um conjunto maior ou menor de conteúdos e conclusões estanques e segmentados.

Para que o conhecimento científico produza sentido para a sociedade, faz-se necessária a superação das divisões tradicionais do conhecimento, entre básicas e aplicadas, ou duras e leves, ou exatas, agrárias, da natureza e humanidades. Acima de todas as segmentações, precisamos de uma ciência cidadã.

“As comunidades têm outras questões relacionadas à saúde que não são necessariamente as doenças, que são importantes e estão ligadas aos processos de vulnerabilização, às questões das desigualdades sociais e da formação das periferias.”



Capa. Ciência pode contribuir também para diagnosticar, monitorar, analisar a efetividade e corrigir a implementação de políticas públicas.

(Imagem: Freepik.com/ Reprodução)

Os desafios de consolidar políticas públicas baseadas em ciência

Em tempos de negacionismo e fake news é ainda mais crucial ampliar o diálogo entre formuladores de políticas públicas e a ciência básica

Patricia Mariuzzo

“A história da vida na Terra tem sido uma história de interação entre os seres vivos e seu ambiente. Apenas no período representado pelo século presente uma das espécies – o ser humano – adquiriu poder significativo para alterar a natureza de seu

mundo”, escreveu a bióloga Rachel Carson em “Primavera Silenciosa”. Publicado em 1962, o livro foi a semente de um processo de conscientização do quanto a natureza é vulnerável à ação humana, um processo que acabou colocando o meio ambiente na agenda de políticas públicas em todo o mundo. Mais recentemente, a pandemia de covid-19 trouxe à tona o quanto medidas sanitárias baseadas em dados científicos salvam vidas. “A ciência, por meio da investigação sistemática, fornece valor, segurança e

confiabilidade às escolhas e ao processo de tomada de decisão, formulação e implementação de política pública. Além disso, uma política pública baseada em evidência tende a ser mais efetiva e eficiente, reduzindo tempo e energia com medidas que pouco alteram o problema social em si. Claro que, a ciência não sendo neutra, a definição do problema, os métodos e os dados denotam escolhas e visão de mundo. A diferença é que essas escolhas estão explícitas e alicerçadas em racionalidades objetivas”, afirma Milena Pavan Serafim, professora da Faculdade de Ciências Aplicadas (FCA) da [Universidade Estadual de Campinas](#) (Unicamp). Em tempos de negacionismo e *fake news*, o desafio de ampliar o diálogo entre formuladores de políticas públicas e a ciência básica ainda é significativo, a despeito de inúmeros exemplos da relevância dessa interação.

No caso brasileiro, um exemplo em que a ciência foi preterida aconteceu na tramitação de três grandes alterações na regulamentação ambiental no Congresso Nacional entre 2005 e 2015, o código florestal, a lei de acesso a recursos genéticos e a regulamentação de pesticidas. Ao analisar esse processo, Flávia Donadelli, professora de políticas e administração pública na [Victoria University of Wellington](#), na Nova Zelândia, conclui que houve baixa incorporação de evidências científicas pelos parlamentares. O motivo, segundo ela, está relacionado ao equilíbrio de poder do Congresso, com predominância da coalizão ruralista. “No Brasil, tais instituições são caracterizadas como gerando uma necessidade média de consenso entre os atores e como pouco inclusivas ou abertas a opiniões divergentes. As decisões são relativamente centralizadas, ou seja, o Congresso é capaz de tomar decisões que contradizem evidências científicas sem grande ônus político e institucional”, pontuou a pesquisadora. Para Donadelli, as barreiras que dificultam a interação entre a ciência e políticas públicas vão além da oferta de evidências. “No caso brasileiro, havia oferta de evidências científicas, mas não houve incorporação”, concluiu Donadelli. (Figura 1)

Em outro exemplo, também no âmbito federal, Natalia Koga, diretora-adjunta de Estudos e Políticas do Estado das [Instituições e da Democracia do Instituto de Pesquisas Aplicadas](#) (Ipea), detectou que a produção científica tem uma influência baixa sobre as decisões dos servidores envolvidos em políticas públicas. “Sobre esses

achados, é importante considerar dois aspectos inicialmente. O primeiro é que estamos falando da influência direta da ciência na decisão dos servidores públicos, isto é, não significa que indiretamente (por exemplo, pelos conhecimentos acumulados ao longo da trajetória educacional dos servidores ou por outras fontes como recomendações de organismos internacionais que talvez sintetizem ou considerem conhecimentos científicos) ela não possa influenciar. E o segundo é que esse fenômeno do baixo uso direto da produção científica não é exclusividade no Brasil. Vemos isso em outros países que fizeram pesquisas similares como Austrália e República Checa”, esclarece. Para Koga, é necessário explorar formas indiretas de influência da ciência e quem seriam potenciais intermediadores desses conhecimentos. “Os servidores e formuladores de política não costumam procurar artigos científicos ou

“Outros tipos de conhecimento e outros fatores, para além da ciência, interagem quando as políticas são formuladas.”

relatórios de pesquisa quando vão tomar decisões, mas o que eles procuram? Por quê? Será que esses outros recursos têm respaldo científico? Nossos resultados mostraram que eles e elas, em geral, buscam diretamente recursos como normas, estatísticas oficiais, notas técnicas, recomendações dos entes do controle como Tribunal de Contas, entre outros recursos produzidos pela própria Administração Pública. Isto pode indicar uma forma de atuar do nosso Estado que se vale mais de um lastro normativo do que científico para justificar suas ações”, detalha.

Diversas formas de interação

Sem descartar a importância da ciência como fonte informacional e de conhecimento para a produção das políticas públicas, Koga lembra que, no dia-a-dia das políticas e dos tomadores de decisão, ela não é a única fonte e não é utilizada apenas de uma mesma forma. “O conhecimento científico certamente contribui para ampliar o entendimento sobre os problemas públicos e pode ajudar a identificar rumos e fundamentar decisões. Contudo, temos que reconhecer que a ciência pode ser utilizada para justificar a

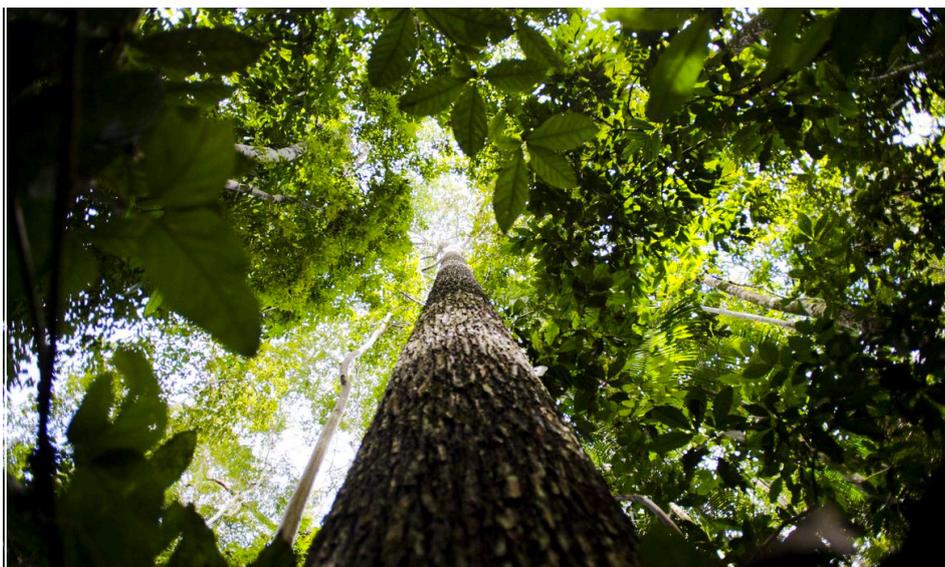


Figura 1. Um exemplo em que a ciência foi preterida aconteceu no Brasil na tramitação de três grandes alterações na regulamentação ambiental no Congresso Nacional entre 2005 e 2015: o código florestal, a lei de acesso a recursos genéticos e a regulamentação de pesticidas.

(Imagem: Marcelo Camargo/ Agência Brasil. Reprodução)

posteriori decisões já tomadas, ou seja, não com a finalidade de aprimorar definições e decisões, mas apenas para dar o lastro científico a algo já decidido”, diz. Outros tipos de conhecimento e outros fatores, para além da ciência, interagem quando as políticas são formuladas. “A construção da legitimidade é tão relevante quanto a garantia da racionalidade no processo de formulação de uma política pública. Isto é, não basta uma política pública ser produzida calcada em comprovações científicas, ela precisa ser entendida como legítima por aqueles e aquelas que serão por ela atingidos”, pondera a pesquisadora.

Para o biólogo Marcos Buckeridge, professor do Instituto de Biociências da [Universidade de São Paulo](#) (USP), foi o que aconteceu no processo de concessão de áreas de preservação do Estado de São Paulo, casos da Serra do Mar e a Cantareira, política pública elaborada com base em dados produzidos pelo [Biota-FAPESP](#). “O processo foi feito através de planos muito bem-feitos e discutidos com cientistas e com a comunidade em geral através de conversas com lideranças e audiências públicas. Só depois é que cada concessão foi colocada em licitação”, afirmou. “A ciência é uma importante fonte de informação que deve ser usada em parceria com outras fontes de informação e técnicas, processos participativos, por exemplo, para auxiliar no processo decisório relativo a políticas públicas. É importante ressaltar que a ciência é uma

fonte apenas e não deve ser tratada como única ferramenta decisória”, afirma Donadelli. (Figura 2)

“O que vi acontecer na Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente e do Estado de São Paulo (SIMA) mostra que é possível desenhar e implantar políticas públicas embasadas em conhecimento”, contou Buckeridge, que acompanhou os processos de concessão como membro do Conselho do [Sistema de Informação de Gestão de Áreas Protegidas e de Interesse Ambiental do Estado de São Paulo](#) (SIGAP). O projeto BIOTA foi lançado em março de 1999 com objetivo de conhecer, mapear e analisar a biodiversidade do Estado de São Paulo, incluindo a fauna, a flora e os microrganismos. Próximo de completar 25 anos, o escopo do Programa também inclui avaliar as possibilidades de exploração sustentável de plantas ou de animais com potencial econômico e subsidiar a formulação de políticas de conservação dos remanescentes florestais.

No caso das concessões de áreas de preservação do Estado de São Paulo, os investimentos da [Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo](#) (Fapesp) – e também do [Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico](#) (CNPq) e da [Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior](#) (Capes) principalmente no Programa BIOTA, propiciaram a formação de um banco de conhecimentos inédito na área de biodiversidade. Além disto, a SIMA manteve uma equipe com especialistas capazes de trocar informações de alto nível com a comunidade de pesquisadores relacionada ao tema da conservação. Para Serafim, a profissionalização da gestão pública, com formação e capacitação contínua de seus servidores é justamente um dos desafios para consolidar políticas públicas baseadas em ciência. “Não basta termos os dados, é importante que os servidores públicos saibam fazer boas perguntas e saibam interpretar esses dados”, disse a pesquisadora.

Medir, monitorar, melhorar

“É claro que, uma vez em ação, poderão ocorrer mudanças no plano, mas o embasamento científico, na minha opinião, tem maior probabilidade de diminuir erros. Provavelmente também diminui os custos das operações posteriores. Temos que continuar observando e avaliar a eficiência dessa forma inovadora de operar”, explica

Buckeridge. Ele destaca ainda a importância de fazer investimentos em pesquisa básica: “Quando tentamos usar somente a pesquisa orientada por problemas, podemos acabar encontrando falta de conhecimento básico que impede o avanço da pesquisa aplicada. Nesses casos, será necessário realizar primeiro as pesquisas básicas, para entender os sistemas e somente depois iniciar a integração dos conhecimentos em um módulo de pesquisa orientada por problemas para subsidiar as políticas públicas. Em outras palavras, se tivermos grande quantidade e variedade de resultados de pesquisa básica, fica muito mais fácil eleger problemas centrais e compilar conhecimentos que levam à ciência orientada por problemas. Só assim se chega nas políticas públicas embasadas”, enfatiza o

“O conhecimento científico pode contribuir também para produzir diagnósticos, monitorar e corrigir a implementação, e, por vezes, para analisar a efetividade das políticas.”

biólogo.

O conhecimento científico pode contribuir também para produzir diagnósticos, monitorar e corrigir a implementação, e, por vezes, para analisar a efetividade das políticas. “Especialmente aquelas pesquisas baseadas em instrumentos informacionais de políticas públicas, como registros administrativos e estatísticas oficiais, colaboram para gerar mapeamentos e diagnósticos sobre a capacidade de atendimento dos serviços públicos e para acompanhar e avaliar as políticas adotadas pelo poder público na resolução de problemas como a pobreza, trabalho infantil, desmatamento e baixa qualidade educacional”, aponta Koga. Para a pesquisadora, um exemplo de como a ciência apoia a produção de políticas é o caso da [Comissão Nacional de Incorporação de Tecnologia](#) (Conitec), que recomenda os medicamentos e tratamentos a serem utilizados pelo Sistema Único de Saúde (SUS). A escolha dessas tecnologias em saúde passa por uma análise complexa que segue padrões internacionais de avaliação de evidências que garantam a eficácia e a segurança das tecnologias disponíveis e, ainda, considera a relação de

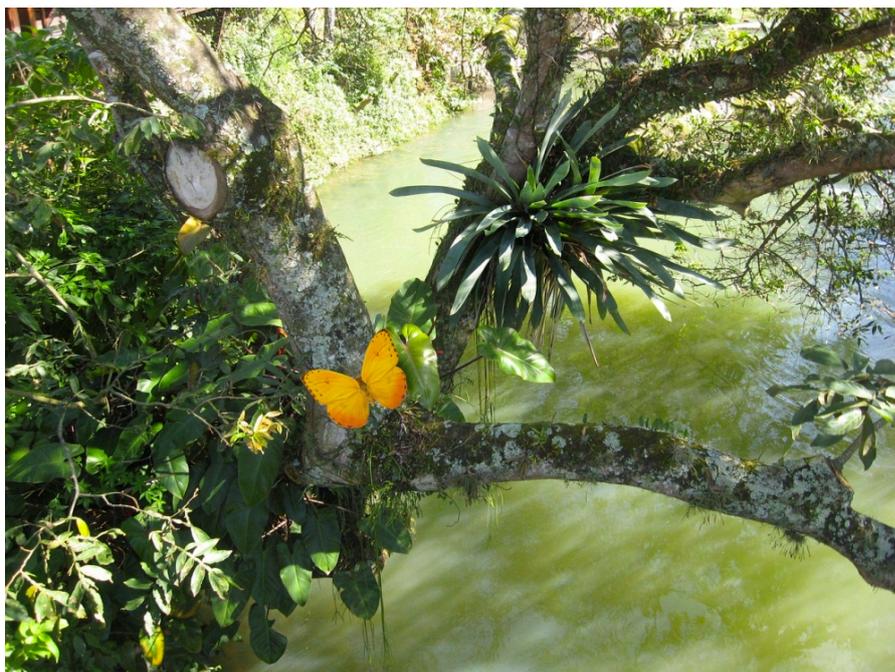


Figura 2. O projeto BIOTA visa conhecer, mapear e analisar a biodiversidade do Estado de São Paulo e já contribuiu para a tomada de decisões em políticas públicas.

(Imagem: Iva Castro/Pixabay. Reprodução)

e tratamentos a serem utilizados pelo Sistema Único de Saúde (SUS). A escolha dessas tecnologias em saúde passa por uma análise complexa que segue padrões internacionais de avaliação de evidências que garantam a eficácia e a segurança das tecnologias disponíveis e, ainda, considera a relação de custo para o SUS. “O processo de análise envolve consulta a especialistas externos, representantes dos pacientes, da indústria farmacêutica e da sociedade em geral. Podemos dizer que as centenas de recomendações geradas pela Conitec na última década têm possibilitado escolhas mais racionais e legítimas na prestação dos serviços de saúde à população brasileira”, pontua Koga. (Figura 3)

Encurtando distâncias

Seja na fase de elaboração, em diagnósticos ou no monitoramento, políticas públicas baseadas em ciência têm mais chance de ser bem-sucedidas com a participação de vários atores. Nesse sentido, é correto dizer que sua implementação inclui uma boa comunicação. No caso das concessões feitas pela SIMA, em São Paulo, o processo envolveu um planejamento estratégico discutido interna e externamente. “Os planejadores se expuseram a vários conselhos e depois fizeram as audiências públicas. O processo como um todo possui uma série de fases que eu

chamo de 'diplomáticas', em que o plano é explicado, discutido e ajustado através de diálogos com vários atores. É preciso ter equipes muito bem montadas na gestão de governo, capazes de explicar os planos para políticas públicas para vários atores. Os próprios cientistas, como eu, são atores que farão críticas quando o plano de política pública for apresentado", descreve Buckeridge. "A sociedade deve ser consultada no âmbito das pessoas que serão afetadas direta e indiretamente. Não adianta só ter a ciência se não houver compreensão e aceitação – mesmo que parcial – pelos atores na sociedade. Sem nenhuma dúvida, o elemento transversal mais importante no processo é a comunicação", complementa o pesquisador.

Outra forma de aproximação entre a produção científica e os formuladores de políticas públicas é a valorização e o incentivo dos programas de extensão universitária. "A extensão é um caminho profícuo para aproximar as universidades dos problemas e questões práticas vivenciados pelos governos e sociedade. E isso passa inevitavelmente pela discussão sobre os sistemas de avaliações e de destinação de recursos dos programas acadêmicos", destaca Koga. Ainda de acordo com ela, uma segunda frente de ação estaria na reflexão e exploração das ações de comunicação e popularização da ciência. "A pandemia da covid-19 trouxe muitos desafios, mas também novidades nessa área, especialmente com o surgimento de mais atores, ferramentas e dinâmicas de intermediação do conhecimento (*knowledge brokerage*), como a expansão do jornalismo científico, podcasts especializados, observatórios, etc. Mobilizar e avaliar os resultados dessas iniciativas trarão subsídios para gerar boas ações com essa finalidade".

Já para Donadelli, a presença de cientistas no governo, de forma institucionalizada, aumentaria o equilíbrio de poder e também teria uma função simbólica importante em indicar prioridades governamentais. "Na Nova Zelândia existe a figura do *'Prime Minister's Chief Science Advisor'*, uma pessoa encarregada de aconselhar o primeiro-ministro em questões relacionadas ao uso e incorporação da ciência na formulação de políticas. União Europeia e Estados Unidos também mantêm consultores de ciência no governo", explica.

Foi buscando ampliar o impacto da pesquisa na sociedade e encurtar a distância entre a produção

acadêmica e a geração de políticas públicas que a Fapesp criou o Núcleo de Pesquisas Orientadas por Problemas (NPOP). Segundo Wagner Caradori do Amaral, assessor da Diretoria Científica da Fapesp, "não se trata somente de usar resultados de pesquisa estocados anteriormente para aplicá-los a problemas emergentes. Trata-se, também, de orientar certa fração da pesquisa para ser concebida, projetada e realizada tendo em mente, desde o início, problemas específicos enfrentados pela sociedade".

Essa consideração fundamenta a abordagem de Centros de Ciência para o Desenvolvimento (CCD) da Fapesp que visa estimular e facilitar a interação e a colaboração entre pesquisadores e lideranças de setores como Institutos de Pesquisa com missão dirigida, Universidades ou Instituições de Ensino Superior, empresas

"Não adianta só ter a ciência se não houver compreensão e aceitação – mesmo que parcial – pelos atores na sociedade."

e/ou organizações não governamentais, e órgãos governamentais. Os CCDs têm a missão de abordar grandes desafios públicos enfrentados pelo governo e, a partir deles, concatenar diversos atores para avançar nas possibilidades de solução correspondentes. Em 2022, foram aprovados 15 CCDs, com investimentos que ultrapassam os R\$ 400 milhões. A expectativa é que haja transferência dos resultados para as secretarias do Estado de São Paulo e também para o setor privado.

Um deles é o **Centro de Estudos sobre Urbanização para o Conhecimento e a Inovação (CEUCI)** cuja missão contribuir para a implantação de áreas urbanas do conhecimento e inovação, em particular aquelas situadas em zonas de franjas ou de expansão urbana, tendo como diretrizes os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da **Organização das Nações Unidas (ONU)**. Para Serafim, que também é diretora de parcerias do CEUCI, trata-se de uma iniciativa com bom potencial de ampliar a formulação de políticas públicas baseadas em ciência na medida em que esse reconhece a ciência como alicerce fundamental para enfrentarmos os

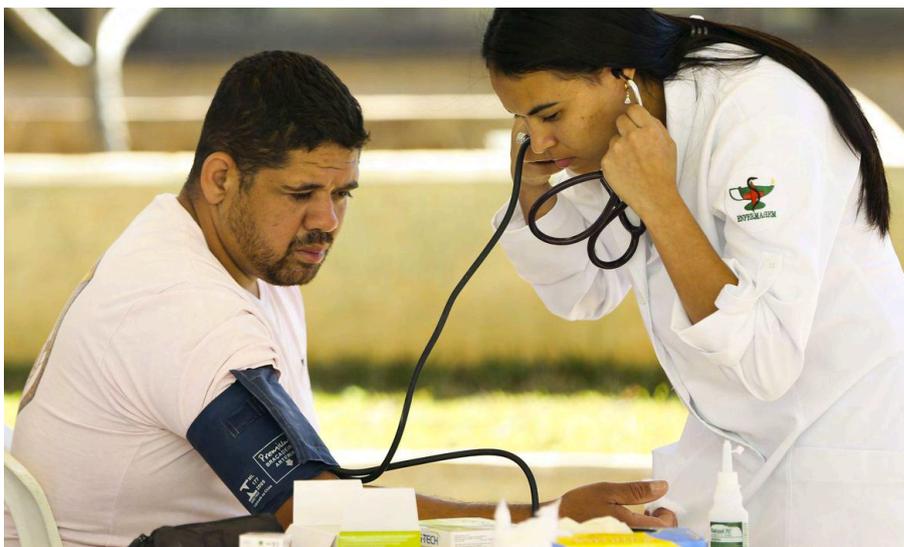


Figura 3. A Comissão Nacional de Incorporação de Tecnologia (Conitec), que recomenda medicamentos e tratamentos a serem utilizados pelo SUS, é um exemplo de como a ciência apoia a produção de políticas.
(Imagem: Marcelo Camargo/ Agência Brasil. Reprodução)

problemas sociais, incentivando maior engajamento por parte da comunidade científica em relação aos problemas locais e regionais. “Além disso, enquanto na Academia temos uma tendência de fragmentar o conhecimento em disciplinas, o formato do CCD propicia a interdisciplinaridade e o aprendizado mútuo, algo muito positivo quando sabemos que a realidade não é fragmentada”, finaliza.

Patrícia Mariuzzo é divulgadora de ciência e coordenadora de comunicação do projeto HIDS Unicamp (Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável).



Capa. Lutas sociais e políticas públicas contribuíram para diversificar o perfil da universidade brasileira.
(Imagem de rawpixel.com no Freepik)

Diversidade na ciência: a necessidade de borrar fronteiras

Diversidade é fundamental para trazer novos olhares – e novas soluções – para a ciência e a sociedade

Leonor Assad

Olhando a História da Ciência no século XIX, podemos identificar relações entre nomes como George Morton, que propôs a Teoria da Inferioridade das Raças, e Charles Darwin, autor da Teoria da Seleção Natural; e entre Morton e fatos como perseguição a indígenas e a populações negras e mestiças nas Américas. Morton, em seu livro "*Crania americana*",^[1] de 1839, expôs a teoria de que o crânio caucasiano seria mais avançado do que os de raças (como ele as classificava) mongol, malaia, americana (na qual

agrupou crânios de populações nativas do continente) e etíope (na qual abrigou crânios de origem africana). E fez isto partindo da medição do volume interior de centenas de crânios de diferentes origens. Ao ler o *Crania americana*, Darwin

considerou Morton uma autoridade na discussão racial e, em seu livro “*A origem das espécies*” publicado pela primeira vez em 1859, se apoiou na teoria de Morton para tentar explicar a exploração de raças não brancas por raças brancas, ainda que sem concordar com a escravidão.

Durante mais de um século, o determinismo biológico sustentou que as diferenças sociais e econômicas são herdadas. E mais, o chamado racismo científico influenciou – e influencia – de forma explícita ou subjetiva, o comportamento de grande parte da população brasileira. Foi somente em 1981, com o livro “*A Falsa Medida do Homem*”, de Stephen Jay Gould, professor da Universidade de Harvard, que o racismo científico começou a ser desmontado. Nesse trabalho, Gould defende a tese de que, ao longo da história da ciência, os cientistas que estudavam seres humanos permitiram, com base no próprio preconceito, que suas crenças sociais influenciassem suas análises e coleta de dados. Ainda que Gould admitisse que sua visão política influenciasse sua visão científica de mundo, ele demonstrou não haver relação entre as raças e seus níveis de inteligência.



Figura 1. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj) e o Instituto Serrapilheira divulgaram em janeiro de 2023 um Edital que prevê R\$ 10,2 milhões, entre pagamento de bolsas e investimento, visando apoiar projetos de pesquisa conduzidos por cientistas negros e indígenas e promover a diversidade científica.

(Foto: Raphael Pizzino/SGCOM/UFRJ. Reprodução)

O determinismo biológico envolve também outras facetas: homens seriam mais competentes em atividades científicas do que mulheres; populações tradicionais não têm habilidades em ciência; populações da Europa, dos Estados Unidos, e de alguns países asiáticos são mais inteligentes do que populações da América do Sul e da África. Mas não faltam exemplos que contestam esses dogmas. Em 2018, a rede de televisão americana *Public Broadcasting Service*, mais conhecida como PBS, um contraponto às grandes redes comerciais que operam no país, publicou uma lista de dez cientistas negros que os professores de ciências deveriam conhecer ([Ten Black Scientists that Science Teachers Should Know About](#)). Nela constam nomes de homens e mulheres norte-americanos – alguns identificados como *African-American*, ainda que tenham nascido nos Estados Unidos – que desenvolveram atividades destacadas de pesquisa científica em diferentes ramos. A lista se inicia com George Washington Carver, um escravo nascido nos anos 1860, que se tornou botânico e professor, e inventou mais de 300 usos para o amendoim. Carter desenvolveu vários métodos, incluindo um para evitar o esgotamento do solo.

Também em 2018, a Revista Galileu publicou uma lista de “23 cientistas negros que enfrentaram o racismo e entraram para a história da ciência”. Dentre esses, constam o senegalês Léopold Sédar Senghor e cinco brasileiros; todos

os demais são estado-unidenses. Os brasileiros Milton Santos e Luiza Bairros já faleceram. Mas Sônia Guimarães, Viviane dos Santos Barbosa e Simone Maia Evaristo, que também constam da lista, são provas vivas de que é um mito a ciência ser branca e masculina.

A paulista [Sônia Guimarães](#) foi a primeira mulher negra brasileira a se tornar doutora em Física e a lecionar no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Na adolescência, trabalhava para poder pagar um cursinho e prestar vestibular para engenharia civil. Apesar de ser excelente aluna, um de seus professores a orientou a buscar os cursos menos concorridos. Guimarães possui uma patente de detectores utilizados em mísseis para identificar aviões em movimento. Em [entrevista](#) concedida em 2018, comentou que “mais de 20 anos depois, o número de mulheres é ainda restrito – entre os 110 aprovados em 2018 no ITA, apenas sete eram meninas”. E acrescentou: o ITA “é uma instituição conservadora, masculina e branca... O conservadorismo pode até desacelerar nosso processo, mas hoje já não é mais capaz de nos parar”.

A baiana de Salvador [Viviane dos Santos Barbosa](#) é bióloga e cursou Química industrial na Universidade Federal da Bahia (UFBA), mas apenas por dois anos. Em 1990, Barbosa foi para a Holanda estudar engenharia química e bioquímica na *Delft University of Technology*, onde concluiu o bacharelado em Engenharia Química e Bioquímica e o Mestrado em Engenharia Química, com foco em Nanotecnologia. Lá, desenvolveu uma pesquisa com catalisadores que, por meio de uma mistura de paládio e platina, podem ser usados na produção de energia alternativa e no controle ambiental, reduzindo emissões de gases tóxicos. Em 2010, seu trabalho foi apresentado na *International Aerosol Conference*, em Helsink, na Finlândia, e recebeu a premiação máxima entre 800 trabalhos concorrentes.

Simone Maia Evaristo, bióloga, mestre em Infecção HIV/Aids e especialista em Citologia Clínica, é um exemplo de mulher negra e cientista que percebe claramente que a ciência reflete a visão de mundo do cientista. Ela aponta: “um machista, por exemplo, não consegue incorporar a visão feminina; uma pessoa racista não consegue visualizar a contribuição de uma pessoa negra. Ela fica no seu mundo, desenvolve seu trabalho e perde a grandiosidade das diferenças entre olhares e contribuições distintas”. E acrescenta “no período da escravidão era ‘normal’ um

cientista achar que uma pessoa podia ser escravizada”.

Desenvolvimento da ciência reflete a história; e vice-versa

Se nos séculos XVIII e XIX houve um grande desenvolvimento científico, com importantes avanços na Química, na Física e na Biologia, e com popularização da ciência,^[2] o século XX foi marcado por avanços tecnológicos, que caracterizaram a Segunda Revolução Industrial (1850 até o fim da Segunda Guerra Mundial) e a Terceira Revolução Industrial, também conhecida como Revolução Tecno-científica (após a Segunda Guerra Mundial). Grandes avanços científicos transformaram o setor produtivo agrícola e principalmente o industrial. Após a Segunda Guerra, o processo produtivo foi impulsionado pelo desenvolvimento tecnológico, Alemanha, França e Inglaterra

“No final do século XX, alertas com relação a mudanças climáticas começaram a pôr em questão a ciência e o desenvolvimento tecnológico vigente.”

perderam a centralidade na ciência, e o desenvolvimento científico se espalhou pelo mundo, em particular pelos Estados Unidos, Rússia e Japão. A diversidade de culturas começou a influenciar a ciência.

Até o início da década de 1970, o pensamento global predominante na ciência era de que o meio ambiente seria uma fonte inesgotável de recursos e, consequentemente, o aproveitamento dos recursos naturais seria infinito. Todos os ramos das ciências básicas e aplicadas contribuíram para isso. Porém, no final do século XX, alertas com relação a mudanças climáticas começaram a pôr em questão a ciência e o desenvolvimento tecnológico vigente: as temperaturas médias do planeta Terra estavam aumentando, devido à intensificação do efeito estufa.^[3] Um marco divisor foi a Primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Rio 92 ou Eco-92. A ciência e o desenvolvimento apregoado por um seletivo grupo masculino, branco e europeu foi posta em xeque. Mas somente 20 anos depois, mais uma vez no Rio de Janeiro, a discussão sobre impactos no clima, inicialmente limitada a percepções técnicas e



Figura 2. Universidades se mobilizaram para realizar ações que contribuísse para a entrada de negros e indígenas no ensino superior.

(Foto: Beto Monteiro/Secom UnB. Reprodução)

científicas, se estendeu para o contexto muito mais amplo de sustentabilidade

Os movimentos sociais, que surgiram como consequência da Revolução Francesa e da Revolução Industrial ainda no século XIX, vinham crescendo pouco a pouco e se viram fortalecidos. Afinal, todos, independentemente de gênero, cor, opção sexual e nacionalidade, estavam correndo sérios riscos. Portanto, os impactos no ambiente não poderiam ser tratados de forma isolada das questões políticas, econômicas e sociais. E mais: a ciência realizada por um seletivo grupo (masculino e branco) não estava dando conta de resolver a crise ambiental que se anunciava.

As ciências básicas, em particular as Ciências Biológicas e as Ciências Sociais (Antropologia, Sociologia e História, por exemplo), se viram fortalecidas por movimentos sociais, como os movimentos Negro, LGBT (atualmente LGBTQIA+) e Feminista. E mais, os movimentos visando a inclusão de todos permitiram a inclusão da cultura e da cosmovisão e epistemologia indígenas na produção de dissertações, teses e artigos científicos; homens negros e mulheres, de todas as origens, passaram a ter acesso ao ensino superior por meio de ações afirmativas. Pouco a pouco, a diversidade começou a invadir a academia. (Figura1)

Ações afirmativas: lutas, conquistas e desafios

Ações afirmativas são políticas públicas focadas em grupos que sofrem discriminação (étnica, racial, de gênero, religiosa). Elas têm por objetivo promover a inclusão socioeconômica de populações historicamente privadas do acesso a oportunidades. A premissa básica de ações afirmativas é promover igualdade de acesso a oportunidades e são particularmente importantes em sociedades desiguais.

Com a promulgação da Constituição Federal de 1988 houve substituição de políticas assistencialistas contra a pobreza por uma legislação baseada na dignidade da pessoa (o artigo 1º, inciso III da Carta Magna) e da igualdade (caput do artigo 5º). E mais, o Preâmbulo da Constituição Federal de 1988, assegura “direitos sociais e individuais, a liberdade, a segurança, o bem-estar, o desenvolvimento, a igualdade e a justiça como valores supremos de uma sociedade fraterna, pluralista e sem preconceitos”; o Capítulo VIII inclui os direitos coletivos dos povos indígenas e os direitos quilombolas se encontram no Artigo nº 68 das Disposições Constitucionais Transitórias.

Mas eram necessárias ações afirmativas efetivas. A Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) saiu na frente e em 2001, com base na Lei 3.524/2000 aprovada na Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro (ALERJ), reservou 50% das vagas para estudantes egressos de escolas públicas. Em setembro de 2001, a Lei 3.708 da ALERJ estabeleceu a cota mínima de até 40% das vagas dos cursos de graduação da UERJ e da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) para as populações negra e parda, incluindo nesta cota mínima negros e pardos beneficiados pela Lei nº 3524/2000. Em 2003, foi a vez da Universidade do Estado da Bahia (UNEB), que reservou 40% das vagas nos cursos de graduação para candidatos afrodescendentes que cursaram o Ensino Médio em escolas públicas. Em 2004, a Universidade de Brasília (UnB) tornou-se a primeira universidade federal do Brasil a reservar 20% das vagas para negros. (Figura 2)

Entretanto, não havia uma lei que regulamentasse nem tornasse esse tipo de ação afirmativa uma política de Estado. E em 2009, o Partido Democratas (DEM), herdeiro do Partido Arena que apoiou o regime militar, entrou no Supremo Tribunal Federal (STF) com uma Arguição de Descumprimento de Preceito Fundamental (ADPF), para que

todos os estabelecimentos de ensino superior suspendessem imediatamente os processos que envolvessem a aplicação do tema “cotas raciais” para ingresso em universidades. A resposta do STF saiu apenas três anos depois, mas abriu o caminho para a aprovação da lei 12.711/2012, conhecida como Lei de Cotas, que instituiu ações afirmativas para ingresso no ensino superior federal.

Empatia para lidar com as diferenças

Elizabeth Fernandes Macedo, professora titular do Departamento de Estudos Aplicados ao Ensino da UERJ, aponta que é preciso reconhecer que a visibilidade

“As ciências básicas, em particular as Ciências Biológicas e as Ciências Sociais (Antropologia, Sociologia e História, por exemplo), se viram fortalecidas por movimentos sociais, como os movimentos Negro, LGBT (atualmente LGBTQIA+) e Feminista.”

que estas comunidades (quilombolas, extrativistas, povos indígenas e outras comunidades tradicionais) vêm conquistando, com muita luta política pelo direito de simplesmente existir, colocou em xeque o universalismo da ciência ou do erudito, que se transforma em conteúdo escolar. “Ao ecoar o grito dessas outras formas de existir no mundo, torna qualquer pretensão universalista uma impossibilidade em si”, afirma. “Por outro lado, quando esses grupos saíram do lugar de silenciamento em que os colocamos por séculos, tivemos contato com cosmologias que podem nos ajudar muito a re-entender e re-encantar nossa ciência e nossa educação. E aí não se trata de ‘conteúdos’, mas de outras perspectivas onto-epistemológicas, ou seja, uma tentativa de articular epistemologia e ontologia,^[4] sob o argumento de que são mutuamente implicadas”, finaliza.

Macedo acrescenta que “pensar o mundo de forma relacional, uma novidade na discussão teórica ocidental, é uma característica muito forte de cosmologias indígenas, de povos da floresta, da cultura negra e quilombola”. Ou seja, para que a pesquisa científica, básica ou aplicada, se mantenha relevante, é necessário romper com o



Figura 3. Ailton Alves Lacerda Krenak, líder indígena, ambientalista, filósofo, poeta e escritor brasileiro da etnia indígena Krenak, professor Honoris Causa pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)

(Foto: Garapa - Coletivo Multimídia, www.garapa.org. Reprodução)

antropocentrismo, com essa ideia de uma ciência que explora o mundo/natureza para o bem do humano.

Apesar das violências a que os sujeitos “outrificados pela norma” são submetidos cotidianamente e, desconsiderando os últimos anos quando houve um dismantelamento das poucas políticas que a sociedade brasileira tinha conseguido erigir nas duas últimas décadas, Macedo considera que temos políticas importantes para as populações de baixa renda. Mas a desigualdade social no Brasil é enorme. Presidente da *International Association for the Advancement of Curriculum Studies*, a pesquisadora aponta que essa desigualdade não é apenas social: “o Brasil é estruturalmente racista, oligárquico, machista e homofóbico. O muito que precisa ser feito não depende apenas de governos, ainda que uma maior representatividade da diversidade da população no sistema político e jurídico seja imperativa”. Coordenadora do grupo de pesquisa *Currículo, cultura e diferença*, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) ela acrescenta que a centralização curricular, na forma de currículos e/ou de livros/apostilas, não contribui para a redução de desigualdades; testagens nacionais centralizadas também não têm se mostrado um instrumento poderoso no sentido de reduzir desigualdades, muitas vezes servindo para cristalizá-las.

Simone Evaristo, a partir de sua vivência de mulher negra, destaca que quando o cientista não consegue aceitar as diferenças, a ciência que faz fica baseada nos seus questionamentos dentro daquilo que acredita. Falta-lhe empatia, afirma Evaristo. Ela explica que “a natureza em si é diversa para contribuir, embelezar e estimular a criação de ideias”. O cientista arrogante, que é aquele se supõe superior, acha que a sua ideia e a sua perspectiva são absolutas. Com uma vasta experiência, Evaristo teve um caminho marcado pela invisibilidade, mas hoje se vê mais livre: [“Eu vejo que a mulher na ciência é batalhadora. Não é derrotista! E a minha força vem da paixão pelo que eu faço”](#).

Essa força pouco a pouco se faz cada vez mais presente no cotidiano de universidades e centros de pesquisa brasileiros. [Ailton Alves Lacerda Krenak](#), líder indígena, ambientalista, filósofo, poeta e escritor brasileiro da etnia indígena Krenak, professor *Honoris Causa* pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF); [Anita Canavarro Benite](#), professora de química na Universidade Federal de Goiás (UFG) e fundadora do grupo de Estudos sobre a Descolonização do Currículo de Ciências (CIATA), do Instituto de Química da UFG, com a proposta de descolonizar o estudo de ciências; [Enedina Alves Marques](#) (1913-1942), primeira mulher negra a se formar em engenharia no Brasil; [Gersem José dos Santos Luciano](#), indígena do povo Baniwa, de São Gabriel da Cachoeira (AM), professor do Departamento de Antropologia da UnB, que atua nas áreas de educação indígena e diversidade, movimento indígena e direitos indígenas; [João dos Santos Vila da Silva](#), pesquisador da Embrapa Agricultura Digital, com pesquisas na interface Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) e Geotecnologias; [Katemari Diogo da Rosa](#), professora de Física da UFBA, membro da *American Association of Physics Teachers*, da *National Organization of Gay and Lesbian Scientists and Technical Professionals* (NOGLSTP) e da Associação Brasileira de Pesquisadoras/es Negras/os (ABPN); e [Maria Beatriz do Nascimento](#) (1942-1995), historiadora e ativista no movimento negro, que fez pesquisa independente em quilombos, vistos como sistemas alternativos à estrutura escravagista, com continuidade em favelas, particularmente no caso do Rio de Janeiro, são alguns exemplos. (Figura 3)

Macedo é precisa ao afirmar que “não se trata de juntar ou articular os polos, mas buscar outras formas de conceber nossa relação com o mundo, de conceber as

relações que nos produzem, assim como ao que chamamos de mundo, na defesa da necessidade de borrar as fronteiras entre natureza e cultura; entre homem, mundo natural e máquina; entre conhecimento e afetos”.

“Para que a pesquisa científica, básica ou aplicada, se mantenha relevante, é necessário romper com o antropocentrismo, com essa ideia de uma ciência que explora o mundo/natureza para o bem do humano.”

Notas

[1] *Crania Americana: or a Comparative View of the Skulls of the Various Aboriginal Nations of North and South America*, de Samuel George Morton (1799-1851). Disponível em <<https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/51431>>.

[2] Todos os 1.250 exemplares da primeira edição de *Sobre a origem das espécies por meio da seleção natural ou a preservação de raças favorecidas na luta pela vida*, de Charles Darwin, foram vendidos no dia de seu lançamento em 24 de novembro de 1859. O título foi reduzido para *A Origem das Espécies*, na 6ª edição lançada em 1872. Fonte: J. E. Domingues, *Ensinar História*. Disponível em: <https://ensinarhistoria.com.br/linha-do-tempo/lancada-a-origem-especies-charles-darwin/>

[3] Trata-se de um fenômeno natural responsável pela manutenção do calor na Terra, mas que vem apresentando uma maior intensidade em razão da poluição do ar resultante das práticas humanas. A descoberta do efeito estufa envolve quatro cientistas europeus: o matemático e físico francês Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), o físico britânico John Tyndall (1821-1893), o meteorologista sueco Nils Gustaf Ekholm (1848-1923) e o químico sueco Svante Arrhenius (1859-1927).

[4] A ontologia tem sido, tradicionalmente, um ramo da filosofia que trata do problema do ser e da realidade. A epistemologia tem por objeto o processo de conhecimento do sujeito, suas fontes e suas formas de produzir conhecimento científico. (Masson, G., 2022. 10.5212/PraxEduc.v.17.20169.059).

Leonor Assad é engenheira agrônoma, doutora em Ciência do Solo, especialista em divulgação científica, professora titular aposentada da Universidade Federal de São Carlos, e apaixonada por trabalhar e escrever sobre Ciência.



Capa. O combate efetivo das notícias falsas passa pela ampliação do acesso da população ao ambiente acadêmico (Imagem de rawpixel.com no Freepik. Reprodução)

Uma aliada invisível

Como a Ciência Básica pode ajudar no combate a notícias falsas

Paula Gomes

Quando se fala em negacionismo científico, logo pensamos no movimento antivacina ou então na parcela da população que não acredita no colapso climático. É pouco provável que a ciência básica seja lembrada nesse debate, mas ela pode desempenhar um papel importante no enfrentamento da máquina de desinformação presente nas redes sociais e aplicativos de mensagens.

A ciência básica desperta pouco interesse de grandes veículos jornalísticos e das mídias sociais mediadas por algoritmos, mais interessadas em notícias sobre as

descobertas da ciência aplicada. Em decorrência da pouca visibilidade pública, muitos acreditam que a ciência básica seja menos relevante do que a ciência aplicada, ou que não tenha a capacidade de causar impacto significativo em nossas vidas. Bruno Rezende Souza,

neurocientista e professor do Departamento de Fisiologia e Biofísica da [Universidade Federal de Minas Gerais](#) (UFMG), explica que na realidade as duas estão tão conectadas a ponto de ser impossível falar dos avanços da ciência aplicada sem considerar as descobertas da ciência básica que as precederam: “Sem ciência básica, não existe ciência aplicada. Durante a pandemia utilizamos a PCR (Reação em Cadeia da Polimerase, tecnologia que consiste na amplificação de uma região específica de DNA) para testar se a pessoa estava infectada ou não. Uma das bases da PCR é a enzima Taq polimerase, descoberta por cientistas que tinham a curiosidade em saber como bactérias extremófilas sobrevivem e se reproduzem em ambientes hostis.” (Figura 1)

Por não ter impacto imediato em nossas vidas, a

“A falta de visibilidade e, por consequência, de financiamento adequado às ciências básicas, podem limitar o progresso da pesquisa.”



Figura 1. É impossível falar dos avanços da ciência aplicada sem considerar as descobertas da ciência básica que as precederam.

(Foto: Pressfoto/ Freepik.com. Reprodução)

ciência básica vira alvo fácil quando se trata de realizar cortes de financiamento no setor. Thaiane Moreira de Oliveira, professora do Departamento de Estudos Culturais e Mídia da [Universidade Federal Fluminense](#) (UFF), acredita que as redes sociais potencializam esse problema: “Vivemos hoje em um regime de visibilidade no qual temas de grande interesse público para a sociedade tendem a definir a alocação de recursos de investimento em ciência e tecnologia. A falta de visibilidade e, por consequência, de financiamento adequado às ciências básicas, podem limitar o progresso da pesquisa”.

O apagamento da ciência básica no debate público não gera impactos negativos somente para comunidade científica, mas para toda a sociedade. Indivíduos que apresentam um nível baixo de letramento científico são mais suscetíveis a acreditar em notícias falsas. Glaucius Oliva, professor do Instituto de Física da [Universidade de São Paulo](#) (USP) acredita que quanto mais cedo introduzirmos as crianças aos fundamentos da ciência básica, melhor: “A ciência básica, se ensinada precocemente e de forma participativa e lúdica (‘mão na massa’) é o principal instrumento para o letramento científico das pessoas, que certamente vão adotar, por toda sua vida, a compreensão da realidade baseada na evidência dos fatos e no método científico”. O pesquisador aponta ainda que é preciso esse esforço na infância, pois entre as crianças e jovens o

interesse pela ciência básica é o predominante, movido pela curiosidade exploratória típica dessa fase. (Figura 2)

No entanto, Souza alerta que a exposição a notícias falsas pode gerar um ruído no processo de aprendizagem de crianças e jovens, que são bombardeadas cotidianamente com notícias falsas na internet: "Muitos trabalhos demonstram que a primeira exposição ao conhecimento é a que geralmente fica, depois é muito difícil mudar. Por isso, dificilmente um sujeito muda de opinião se recebe uma informação falsa antes de um conteúdo acadêmico. Vejo isso como um grande problema para professoras(es) do ensino fundamental e médio, pois além de ensinar o conteúdo científico, têm que desconstruir a desinformação levada para a sala de aula".

Mas talvez o maior desafio da ciência básica seja interno. Katemari Rosa, professora do Instituto de Física da [Universidade Federal da Bahia](#) (UFBA), pondera que não basta só melhorar o acesso da população aos fundamentos da ciência básica, é preciso um esforço mais amplo no sentido de reestruturar e reparar deficiências históricas do campo científico.

Um dos principais problemas que afeta o campo é o perfil socioeconômico de quem faz ciência hoje no Brasil. O acesso às universidades ainda é reservado a uma minoria privilegiada da população, e os esforços para democratizar a entrada e permanência de estudantes e pesquisadores no ambiente acadêmico trazem resultados lentos e graduais. Neste sentido, a comunidade científica ainda é vista como um grupo social apartado da sociedade. "O que a gente produz de conhecimento enquanto conhecimento científico, as verdades que a gente produz, as falas que a gente faz sobre ciência acabam não reverberando, não interagindo com essa grande parte da população", afirma Rosa.

Oliveira também acredita que o combate efetivo das notícias falsas passa pela ampliação do acesso da população ao ambiente acadêmico: "Combater esses movimentos e essas crenças implica em investir em iniciativas que promovam o acesso ao conhecimento científico, sobretudo incentivando a participação da população no próprio processo de produzir conhecimento científico".

Rosa acredita que, por ser elitizada, nossa comunidade científica produz uma comunicação científica desconectada da realidade da maioria das pessoas. Isso impede que ela seja bem-recebida e compreendida. No polo oposto, temos os propagadores de notícias falsas, que

dialogam com a população por meio da linguagem acessível e da utilização de referências do seu cotidiano. "Não adianta eu trazer a informação certa sem erros científicos e conceituais se eu não consigo me conectar com quem está recebendo essa mensagem. Essas conexões são do nível pessoal, das representações sociais. Eu preciso me conectar com quem está recebendo essa mensagem. Esse distanciamento que existe acaba influenciando na propagação do negacionismo científico. As notícias falsas tem um apelo de falar não só a linguagem da maioria da população mas também de falar acerca de suas vivências".

"A ciência básica, se ensinada precocemente e de forma participativa e lúdica ('mão na massa') é o principal instrumento para o letramento científico das pessoas, que certamente vão adotar, por toda sua vida, a compreensão da realidade baseada na evidência dos fatos e no método científico."

Além disso, Rosa lembra que a própria comunidade científica, ao longo da sua história, praticou o negacionismo científico, sobretudo em algumas áreas da ciência básica, como a Física. Tais práticas, chamadas hoje de “epistemicídio”, consistiam em negar, escamotear ou roubar conhecimentos produzidos por comunidades sociais vulneráveis. “Quando a gente nega o conhecimento e as produções das populações negras ao longo da história (ou de populações de outros grupos historicamente vulnerabilizados), estamos produzindo um negacionismo científico. Hoje existe uma preocupação com a ciência atual, mas a comunidade científica parece esquecer que ela mesma produz negacionismo em relação a conhecimentos de determinados grupos historicamente vulneráveis e oprimidos”.

“Alterar essa imagem da ciência, assumindo que ela possui suas falhas e limitações, pode posicionar a população mais perto da ciência e mais distante das notícias falsas.”



Figura 2. Entre as crianças e jovens o interesse pela ciência básica é o predominante, movido pela curiosidade exploratória típica dessa fase
(Foto: Jardel Rodrigues. Reprodução)

A pesquisadora acredita que a autocrítica pode trazer benefícios para a ciência, sobretudo em relação à percepção pública. Para isso, é preciso abandonar o discurso propagado pela própria comunidade científica, que caracteriza a ciência como uma verdade absoluta, superior e à prova de falhas. Alterar essa imagem da ciência, assumindo que ela possui suas falhas e limitações, pode posicionar a população mais perto da ciência e mais distante das notícias falsas.

Paula Gomes é escritora, doutora em cinema e especialista em divulgação científica.



Ciência&Cultura

VOLUME 75 – NO. 2 | ABRIL – MAIO – JUNHO 2023

Uma publicação da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência

Rua Maria Antônia, 294, 4º andar
CEP: 01222-010, São Paulo – SP
Fone: (11) 3259-2766
E-mail: cienciaecultura@sbcnet.org.br